

М. С. Ларкин, А. В. Поспелов

КОМПЕНСАЦИЯ ВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ТАНГАЖА И КРЕНА

M. S. Larkin, A. V. Pospelov

COMPENSATION OF TEMPORARY INSTABILITY OF SHIFT OF ZERO DEVICE OF MEASUREMENT OF PITCH AND ROLL

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Рассмотрена конструкция устройства измерения углов тангажа и крена производства АО «НИИФИ». Одной из проблем устройства является неустойчивость выходных значений в зависимости от времени. Предметом исследования является временная неустойчивость устройства измерения углов тангажа и крена. **Материалы и методы.** Рассмотрены варианты уменьшения временной неустойчивости устройства измерения углов тангажа и крена за счет изменения конструкции устройства, оснастки и коррекции выходных значений в микроконтроллере, входящем в конструкцию устройства. **Результаты.** Расчетным и опытным путем было подтверждено уменьшение временной неустойчивости устройства. **Выводы.** Подтверждено снижение временной неустойчивости устройства измерения углов тангажа и крена за счет изменения конструкции устройства, оснастки и коррекции выходных значений.

A b s t r a c t. Background. The design of the device of measurement of corners of pitch and a list of production of JSC "RI PM" is considered. One of problems of the device is the instability of output values depending on time. An object of research is the temporary instability of the device of measuring device pitch and roll angles. **Materials and methods.** The option of reduction of temporary instability of the device of measuring device pitch and roll angles due to change of a design of the device, the equipment and correction of output values in the microcontroller entering a device design are considered. **Results.** Settlement reduction of temporary instability of the device has also been by practical consideration confirmed. **Conclusions.** Decrease in temporary instability of the device of measuring device pitch and roll angles due to change of a design of the device, the equipment and correction of output values is confirmed.

К л ю ч е в ы е с л о в а: устройство измерения углов тангажа и крена, устройство измерения углов тангажа и крена, временная неустойчивость.

Key words: flow measuring device pitch and roll angles, device of measurement of corners of pitch and list, temporary instability.

Управление движением летательных аппаратов и объектов, устанавливаемых на подвижные шасси, осуществляется с помощью систем горизонтирования и наведения. Процессы установки объекта в заданное положение называют горизонтированием, а измерения траектории подвижного объекта, направленные на уменьшение расстояния между объектом и целью, – наведением. В процессе эксплуатации данные измерений, полученные системой управления положением платформы, используются для компенсации начальных ошибок и определения абсолютных координат подвижного объекта. Принципы автономного наведения применяются также для формирования команд для рулей управления летательных аппаратов [1, 2]. Неотъемлемой частью систем горизонтирования и наведения являются инерциальные системы,

предназначенные для измерения углов крена, тангажа, угловой скорости и формирования управляющих воздействий для устройств установки платформ в заданное положение. Инерциальные системы наведения могут иметь различный состав, но в основном включают в себя гировертикали на основе трех акселерометров, датчики угловой скорости и вычислительные блоки. При этом эффективность работы систем напрямую связана с точностью измерения углов тангажа и крена [3, 4].

Системы горизонтирования для наземных условий эксплуатации строятся на основе двух акселерометров уравнивающего преобразования [4, 5]. В отличие от традиционных датчиков угла использование акселерометра не требует механической связи между чувствительным элементом и подвижным основанием. Акселерометры измеряют углы наклона конструкций относительно вектора гравитационного ускорения g на основе энергетического взаимодействия с ним (рис. 1). При измерении углов тангажа и крена два акселерометра устанавливаются на платформу измерительными осями X перпендикулярно. При этом они измеряют проекции вектора гравитационного ускорения, равные $g_\theta = g \sin \theta$ и $g_\gamma = g \sin \gamma$. Для каждого из них выходной сигнал без учета смещения нуля будет равен

$$U_{\text{вых}(\theta)} = K_g \arcsin \frac{g_\theta}{g}, U_{\text{вых}(\gamma)} = K_g \arcsin \frac{g_\gamma}{g}.$$

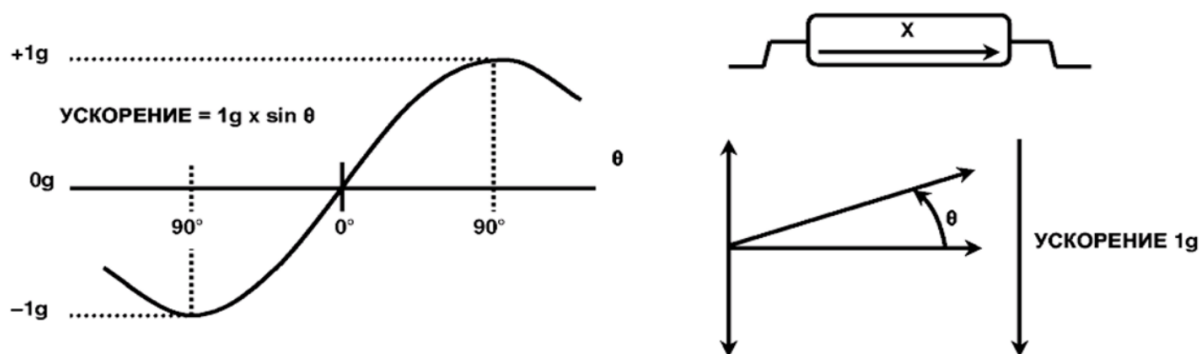


Рис. 1. Измерение крена и тангажа с использованием акселерометра

Устройство горизонтирования разработки АО «НИИФИ» – устройство измерения углов тангажа и крена УИТК – состоит из двух акселерометров и микроконтроллера, применяемого для организации цифрового канала приема и передачи данных. Производится два варианта устройства с различным диапазоном измерения: 3° и 6°. Основное требование к устройству: значения абсолютной среднеквадратической погрешности измерений для каналов тангажа и крена должны быть не более ± 20 угл. мин для исполнения с диапазоном измерения 3° и ± 40 угл. мин для исполнения с диапазоном 6°.

Одним из контролируемых параметров устройства является стабильность смещения нуля устройства во временном диапазоне. Для произведения испытаний устройство устанавливается на установочную плоскость, закрепленную в делительной головке в камере тепла и холода (в горизонтальном положении), и производится запись выходных значений на жесткий диск ПК, начиная с момента включения в течение 30 мин.

При проведении испытаний было выявлено, что в устройстве происходит скачок значения нуля при запуске устройства, а также изменяется ноль в течение заданного промежутка времени ($\approx 8,4$ угл. мин). График зависимости смещения нуля от температуры представлен на рис. 2.

Для компенсации нестабильности самым подходящим вариантом было применение таймера в конструкции устройства. Получение значения времени работы после момента включения позволяет анализировать и корректировать отклонение значений, начиная с момента включения и в течение всего времени работы устройства. Наличие встроенного в микроконтроллер таймера позволяет корректировать нестабильность смещения нуля программным путем без внесения изменений в конструкцию устройства. Данная корректировка требует выявления зависимостей смещения нуля от времени. Проверка на допустимую точность коррекции смещения нуля подтверждалась пересчетом исходных данных по выведенным функциям.

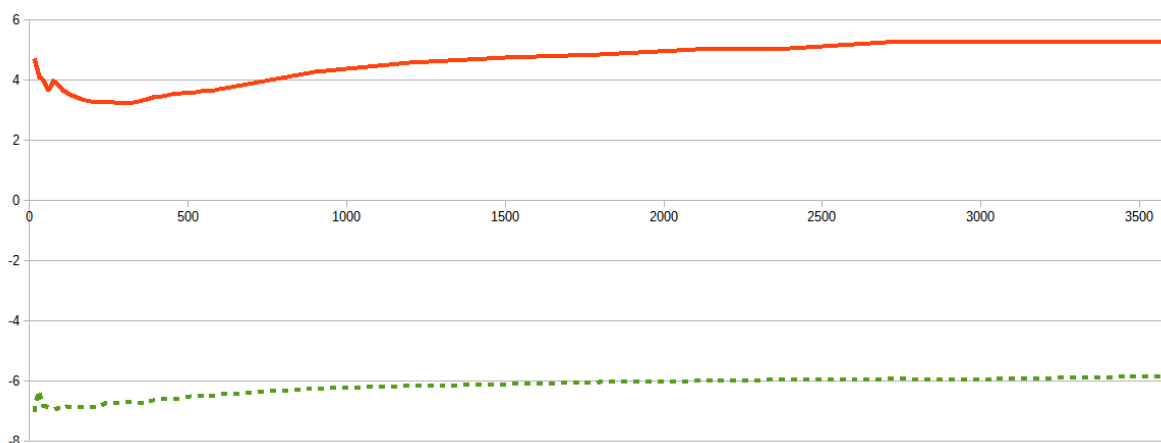


Рис. 2. Зависимость смещения нуля в течение 30 мин:
 ось X – значение времени (секунда); ось Y – смещение нуля (угл. секунда);
 — смещение нуля по каналу крена; ■ ■ ■ — смещение нуля по каналу тангажа

Для получения зависимости было произведен первичный замер, по которому построены графики. Полученные кривые подвергаются аппроксимации полиномом со степенью, позволяющей более значительно уменьшить разность между максимальным и минимальным значением, и были подставлены в формулу

$$MO = MO_0 - (at + b),$$

где MO – пересчитанное математическое ожидание для заданной температуры; MO_0 – полученное математическое ожидание с акселерометра (до преобразования); $at + b$ – полином, наиболее приближенный к исходным данным, зависящий от времени.

В первом устройстве с диапазоном измерения 3° аппроксимация позволила повысить точность коррекции смещения нуля до $\approx 0,54$ угл. мин, что удовлетворяет требованиям к устройству. График и аппроксимирующие кривые для первого устройства представлены на рис. 3.

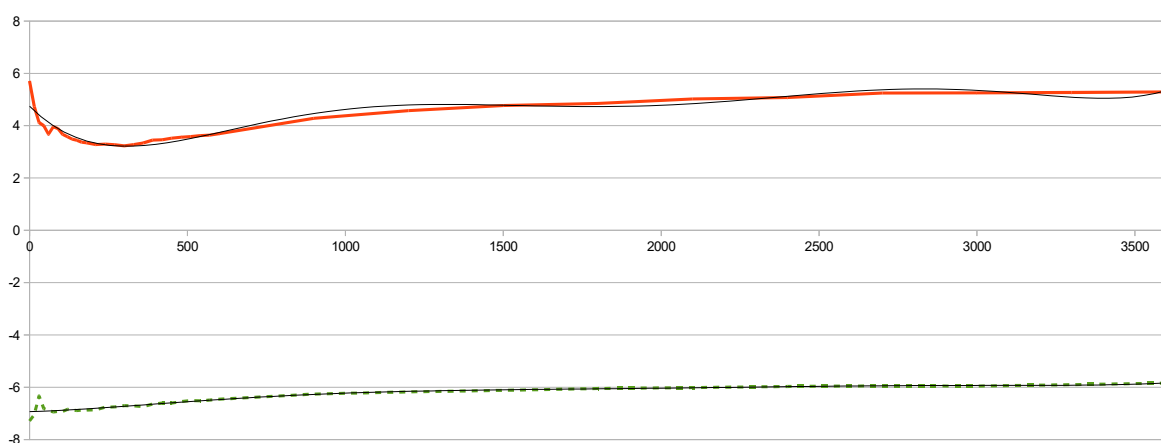


Рис. 3. Зависимость смещения нуля от времени для устройства № 1

Для подтверждения возможности применения рассмотренного метода для других устройств данный алгоритм был применен на втором устройстве с диапазоном измерения 6° . Данная аппроксимация полиномом 2-й степени позволила наиболее минимизировать разницу между максимумом и минимумом, это повысило точность коррекции смещения нуля до $\approx 0,66$ угл. мин, данное отклонение полностью удовлетворяет требованиям к устройству. График разбиения и аппроксимирующие кривые для второго устройства представлены на рис. 4.

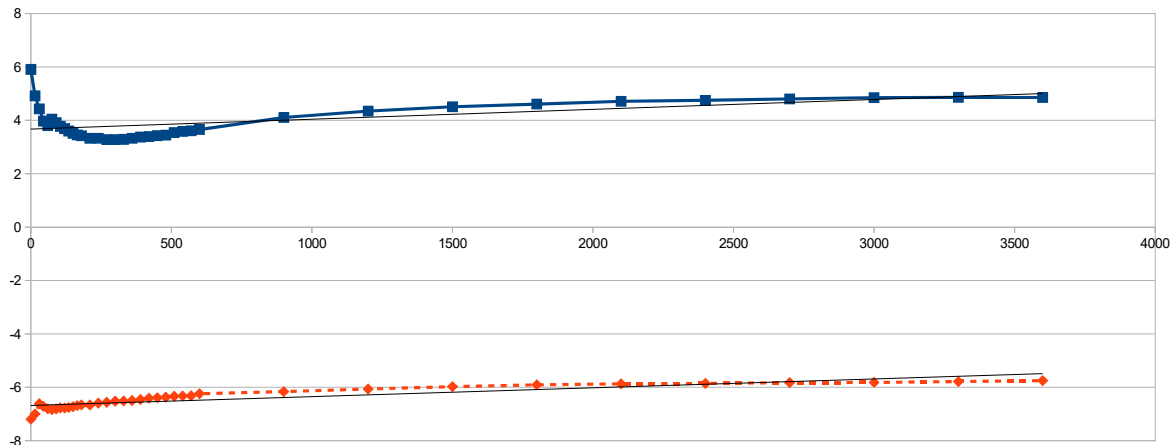


Рис. 4. Зависимость смещения нуля от времени для устройства № 2

Для подтверждения рассмотренного метода был применен практический подход, для этого в программу микроконтроллера были записаны коэффициенты коррекции зависимости выдаваемого значения от времени и произведены замеры выдаваемых устройством значений в течение 30 мин. Практический метод подтвердил расчетный с максимальным отклонением от него не более чем на 0,5 угл. мин, что позволяет применять в дальнейшем метод временной компенсации полиномом n -й степени на других устройствах для коррекции смещения нуля.

Выводы

Исследования, отработка и внедрение предложенных путей совершенствования устройства измерения углов тангажа и крена позволило максимально приблизить смещение нуля к минимуму, что делает стабильным устройство при изменении температуры окружающей среды и повышает точность измерений.

Библиографический список

1. Мокров, Е. А. Статико-динамические акселерометры для ракетно-космической техники / Е. А. Мокров, А. А. Папко. – Пенза : ПАИИ, 2004. – С. 164.
2. Куприянов, М. С. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – 2-е изд., перераб. и доп. / М. С. Куприянов, Б. Д. Матюшкин. – СПб. : Политехника, 2000. – С. 592.
3. ГОСТ 32108–2013. Измерения вибрации, передаваемой машиной через упругие изоляторы. Двигатели внутреннего сгорания поршневые высокоскоростные и среднескоростные.
4. Лушпа, И. Л. Модели интенсивности отказов виброизоляторов для электронных средств / И. Л. Лушпа, В. В. Жаднов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 50–57.
5. ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации.

Ларкин Максим Сергеевич

инженер-конструктор,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: inercial@niifi.ru

Larkin Maksim Sergeevich

design engineer,
Scientific-research Institute
of physical measurements
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

Поспелов Алексей Владимирович

главный специалист,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: inercial@niifi.ru

Pospelov Aleksey Vladimirovich

chief specialist,
Scientific-research Institute
of physical measurements
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

УДК 531.717.35

Ларкин, М. С.

Компенсация временной нестабильности смещения нуля устройства измерения углов тангажа и крена УИТК / М. С. Ларкин, А. В. Поспелов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 4 (26). – С. 48–52. – DOI 10.21685/2307-5538-2018-4-8.