

*М. С. Ларкин, А. В. Поспелов*

## КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ТАНГАЖА И КРЕНА «УИТК»

*M. S. Larkin, A. V. Pospelov*

## COMPENSATION FOR THE TEMPERATURE INSTABILITY OF THE ZERO OFFSET UNIT OF MEASUREMENT OF PITCH AND ROLL UITK

**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 нестабильность выходных значений в зависимости от температуры. Предметом исследования является температурная нестабильность устройства измерения углов тангажа и крена. **Материалы и методы.** Рассмотрены варианты уменьшения температурной нестабильности устройства измерения углов тангажа и крена за счет изменения конструкции устройства, оснастки и коррекцией выходных значений в микроконтроллере, входящем в конструкцию устройства. **Результаты.** Расчетным и опытным путем было подтверждено уменьшение температурной нестабильности устройства. **Выводы.** Подтверждено снижение температурной нестабильности 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.** We consider the construction of angles measurement device pitch and roll production of JSC "NIIFI". One of the problems with the device is the instability of output values depending on the temperature. The subject of research is the temperature instability measurement device pitch and roll angles. **Materials and methods.** Considered the option reduce temperature instability measurement devices, pitch and roll angles due to changes in device design, tooling and correction of output values in the microcontroller, which is part of the unit. **Results.** Calculated and experimentally was confirmed by reducing the thermal instability of the device. **Conclusions.** Confirmed by reducing temperature instability measurement devices, pitch and roll angles due to changes in device design, tooling and correction of output values.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** устройство измерения углов тангажа и крена, температурная нестабильность.

**К e y w o r d s:** flow measuring device pitch and roll angles, temperature instability.

Датчик угла наклона широко используется в различных областях техники для обеспечения возможности ориентации объектов относительно вектора гравитационного поля Земли. Существует множество так называемых жидкостных уровней, в которых индуктором угла положения служит пузырек воздуха. Их основным недостатком является невозможность использования в широком диапазоне температур. Для подобных условий разрабатываются электрон-

ные уровни, в основе построения которых лежит использование емкостных акселерометров или гироскопов.

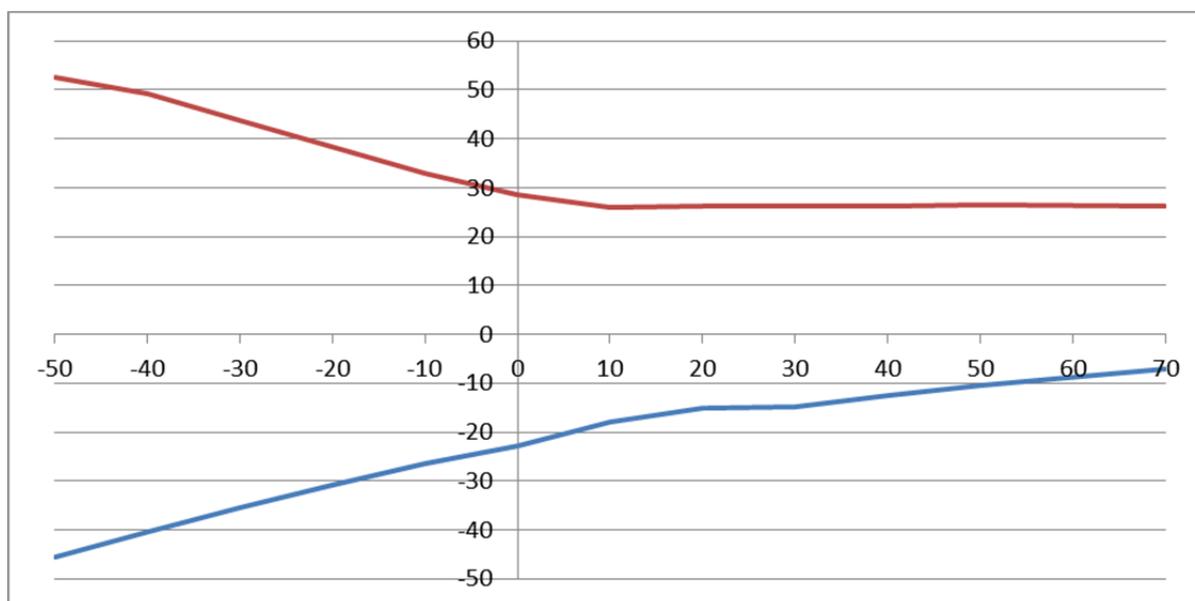
Современное развитие микромеханики позволило конструировать миниатюрные твердотельные акселерометры, существенно превосходящие по многим характеристикам гироскопы, что и определило приоритетность их использования в уровнях и датчиках углов наклона.

Акселерометры представляют собой датчики линейного ускорения и в этом качестве широко используются для измерения углов наклона тел, сил инерции, ударных нагрузок и вибрации. 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. При измерении углов тангажа и крена два акселерометра со взаимно перпендикулярными измерительными осями измеряют проекции вектора гравитационного ускорения [1].

Основными частями устройства измерения углов тангажа и крена УИТК производства АО «НИИФИ» являются два акселерометра типа АЛЕ и микроконтроллер серии 1986ВЕ9х, обеспечивающий цифровой канал для приема и передачи данных. Устройство разрабатывается в двух вариантах с диапазоном измерения  $3^\circ$  и  $6^\circ$ . Абсолютное значение среднеквадратической погрешности измерений для каналов тангажа и крена не более  $\pm 20$  угл. мин для исполнения с диапазоном измерения  $3^\circ$  и  $\pm 40$  угл. мин для исполнения с диапазоном измерения  $6^\circ$ .

В процессе испытаний УИТК определялась стабильность смещения нуля в интервале изменения температуры окружающей среды от  $-50$  до  $+70$   $^\circ\text{C}$ . Для производства испытаний устройство закрепляется на установочной плоскости, зафиксированной в делительной головке в камере тепла и холода, в камере устанавливается требуемое значение температуры, после ее набора производится запись выходных данных устройства в горизонтальном положении.

Испытания показали, что в устройстве происходит смещение нуля при изменении температуры окружающей среды ( $\approx 1,4$  угл. мин). График зависимости смещения нуля от температуры представлен на рис. 1.



— смещение нуля по каналу крена; — смещение нуля по каналу тангажа

Рис. 1. Зависимость смещения нуля от изменения температуры:  
ось  $X$  — значение температуры ( $^\circ\text{C}$ ); ось  $Y$  — смещение нуля (угл. секунд)

Анализ данной проблемы позволил выявить факторы, влияющие на смещение нуля:

- 1) изменение геометрических размеров приспособления при изменении температуры окружающей среды;
- 2) нестабильность опорного напряжения;

3) нестабильность выходного напряжения акселерометра.

В процессе испытаний устройства было замечено искажение установочной плоскости плиты от изменения температуры окружающей среды. Для устранения этой причины была изменена конструкция установочного приспособления для оптической делительной головки путем увеличения толщины плиты для установки и крепления устройства.

Проблема нестабильности опорного напряжения была решена путем установки в схему устройства прецизионного стабилизатора.

Несмотря на устранение вышеуказанных факторов, температурная нестабильность устройства выходит за заданные пределы точности.

Известным способом компенсации температурной нестабильности является использование в конструкции датчика температуры, выходной сигнал которого служит исходной информацией для корректировки отклонений значений. Наличие встроенного в микроконтроллер датчика температуры позволяет корректировать нестабильность смещения нуля программным путем. Данная корректировка требует выявления зависимостей смещения нуля от изменения температуры. Проверка на достоверность и стабильность методов коррекции смещения нуля подтверждалась пересчетом исходных данных по выведенным функциям.

Для получения зависимости проводятся первичные измерения, по которым были построены графики. Полученные кривые подвергаются разбиению на более подходящие отрезки для аппроксимации, т.е. по осязательным переломам на графике для каждого канала персонально. Далее полученные отрезки аппроксимируются полиномом со степенью, позволяющей наиболее уменьшить разность между максимальным и минимальным значением.

В первом устройстве с диапазоном измерения  $3^\circ$  осязательный перелом для обоих каналов измерения проявился на  $+20^\circ\text{C}$ , и дальнейшая аппроксимация позволила повысить точность коррекции смещения нуля до  $\approx 0,08$  угл. мин, что полностью удовлетворяет требованиям к устройству. График разбиения, аппроксимирующие кривые и результаты коррекции для устройства № 1 представлены на рис. 2.

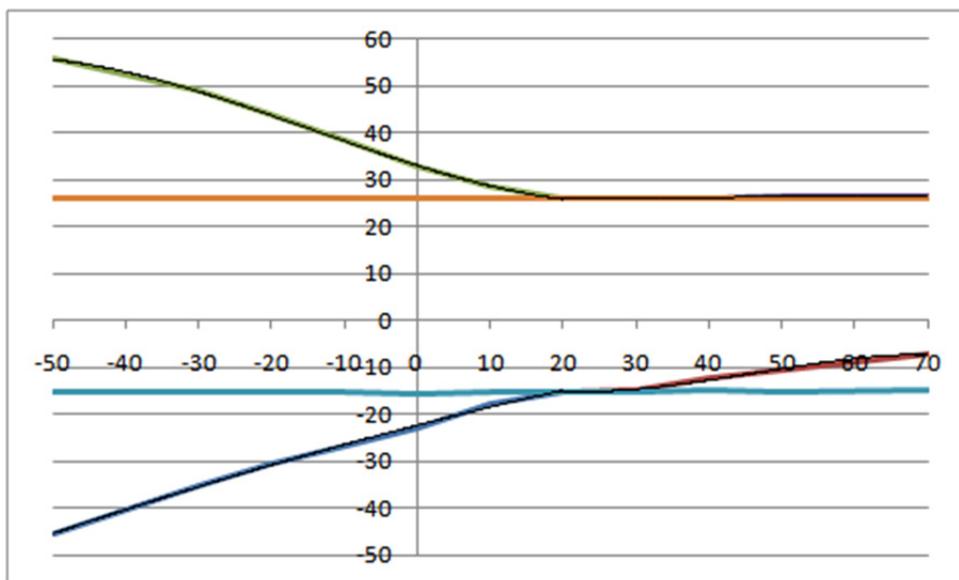


Рис. 2. Зависимость смещения нуля от изменения температуры для устройства № 1

Для подтверждения приемлемости метода для других устройств данный алгоритм был применен на втором устройстве с диапазоном измерения  $6^\circ$ . В данном случае разбиение производилось для канала крена на температуре 0 и  $+40^\circ\text{C}$ , а для канала тангажа на  $+30$  и  $+40^\circ\text{C}$ . Данное разбиение и аппроксимация полиномом до третьей степени позволило наиболее минимизировать разницу между максимумом и минимумом и повысить точность коррекции смещения нуля до  $\approx 0,3$  угл. мин, что также удовлетворяет требованиям к устройству. График разбиения и аппроксимирующие кривые для второго устройства представлены на рис. 3.

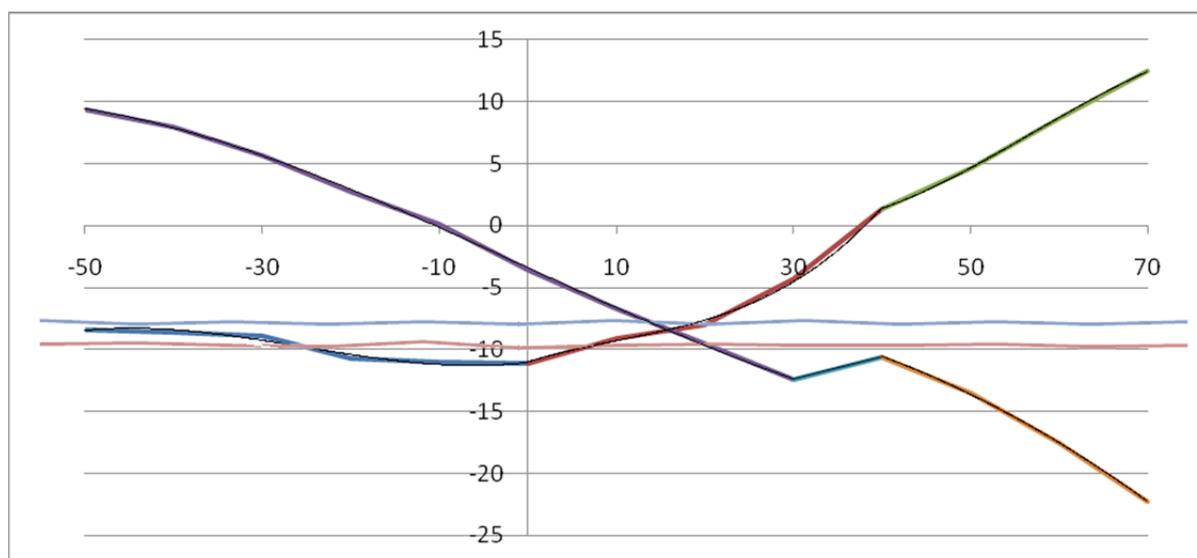


Рис. 3. Зависимость смещения нуля от изменения температуры для устройства № 2

Для реализации метода в программу микроконтроллера устройства вносятся коэффициенты коррекции на заданных температурных диапазонах с последующим экспериментальным подтверждением эффективности коррекции. Подтверждено, что предложенный метод коррекции обеспечивает уменьшение нестабильности смещения нуля более чем на порядок, что позволяет применять в дальнейшем метод температурной компенсации полиномом  $n$ -й степени на других устройствах для коррекции смещения нуля.

#### Заключение

Изменения в конструкции приспособления и устройства, а также коррекция полиномом  $n$ -й степени, зависящим от температуры, позволило максимально приблизить смещение нуля к минимуму, что делает стабильным устройство измерения тангажа и крена при изменении температуры окружающей среды и повышает точность измерений.

#### Библиографический список

1. Пospelov, А. В. Системы горизонтирования и наведения подвижных объектов на основе прецизионных акселерометров / А. В. Пospelov, Е. А. Макаров, Д. А. Скаморин // Информационно-управляющие и измерительные системы – 2016 : тезисы докладов Отраслевой науч.-техн. конф. приборостроительных организаций Роскосмоса. – Королев, 2016. – С. 114–116.

#### **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)

#### **Пospelov 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 температурной нестабильности смещения нуля устройства измерения углов тангажа и крена «УИТК» / М. С. Ларкин, А. В. Поспелов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 3 (21). – С. 55–59. DOI 10.21685/2307-5538-2017-3-8.**