

СИСТЕМЫ ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ И НАВЕДЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ТАНГАЖА И КРЕНА

А. В. Поспелов, М. С. Ларкин, Д. А. Скаморин

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 положения платформы, используются для компенсации начальных ошибок и определения абсолютных координат подвижного объекта (ПО). Принципы автономного наведения применяются также для формирования команд для рулей управления летательных аппаратов [1–3].

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 [4].

Системы горизонтирования для наземных условий эксплуатации строятся на основе двух акселерометров уравнивающего преобразования [5–7]. 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

$$U_{\text{вых}}(\theta) = K_g \arcsin \frac{g_\theta}{g}, \quad U_{\text{вых}}(\gamma) = K_g \cdot \arcsin \frac{g_\gamma}{g}. \quad (1)$$

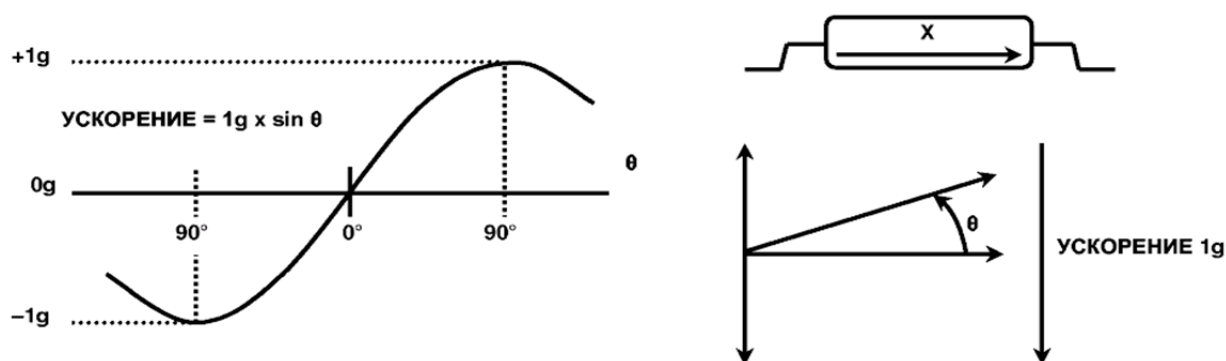


Рис. 1. Измерение крена и тангажа с использованием акселерометра

При малых значениях углов вид функции преобразования акселерометров с некоторой погрешностью нелинейности может быть представлен в виде

$$\theta(\text{рад}) \approx \sin \frac{g_\theta}{g}, \quad \gamma(\text{рад}) \approx \sin \frac{g_\gamma}{g}. \quad (2)$$

Например, у акселерометра с диапазоном измерений $\pm 180'$ нелинейность функции преобразования в конечной точке составит $\approx 0,1\%$, что соответствует углу наклона, равному ± 10 угловых секунд. В случае, когда среднеквадратическое значение погрешности, включающее в себя погрешности средств градуировки (не менее ± 10 угловых секунд), нелинейности функции преобразования, составляющие от нестабильности метрологических характеристик в условиях эксплуатации, не превышает значения ± 20 угловых секунд, в процессе обработки акселерометрической информации необходимо использование модели по формуле (1). Следствием применения модели является необходимость цифровой обработки сигналов и использование высокостабильных акселерометров уравнивающего преобразования.

Функциональная схема системы горизонтирования на основе акселерометров уравнивающего преобразования показана на рис. 2.

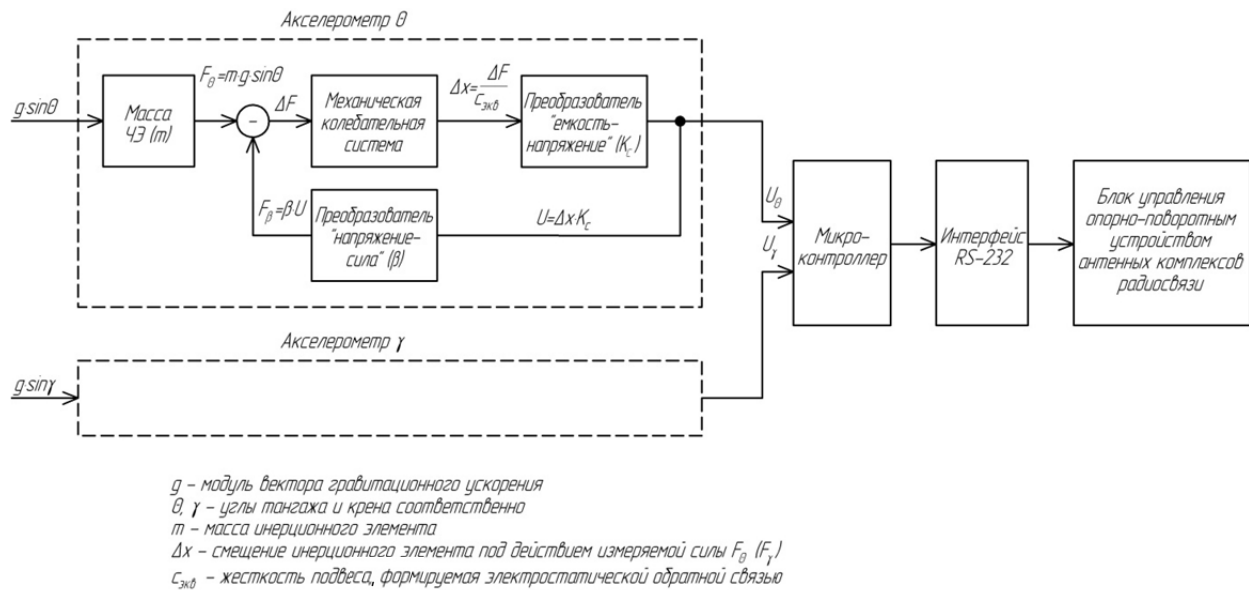


Рис. 2. Структурная схема системы горизонтирования

Согласно структурной схеме проекции гравитационного ускорения на измерительные оси акселерометров каналов θ и γ преобразовываются в них в выходные напряжения, которые подаются на входы АЦП микроконтроллера.

В микроконтроллере и последовательно соединенном с ним приемопередатчиком по стандарту RS-232 осуществляется высокоточное преобразование указанного напряжения в кодировку ASCII в значение измеренного угла поворота.

Выходной код устройства измерения углов тангажа и крена используется для формирования сигналов управления опорно-поворотными устройствами подвижных объектов, примером которых являются антенные комплексы радиосвязи.

В настоящее время в ОАО «НИИФИ» разработано устройство измерения углов тангажа и крена УИТК. Отличительной особенностью устройства являются его высокие метрологические характеристики, нормируемые в виде среднеквадратического значения погрешности в условиях эксплуатации, не превышающего ± 20 угловых секунд, а также использование акселерометров собственной разработки и отечественной комплектации.

Достижение указанных характеристик обеспечено высокой стабильностью смещения нуля, линейностью функции преобразования и коэффициентов влияния на нее температуры окружающей среды и временной нестабильности. Сочетание указанных факторов в свою очередь позволило повысить эффективность использования возможностей применения отечественных микроконтроллеров для формирования сигналов управления опорно-поворотными устройствами.

Список литературы

1. Северцев, Н. А. К вопросу об утрате работоспособности систем / Н. А. Северцев, А. В. Бецов, А. М. Самокутяев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 268–270.
2. Горячев, Н. В. Исследование и разработка средств и методик анализа и автоматизированного выбора систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Н. В. Горячев, М. К. Танатов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 70–75.
3. Дивеев, А. И. Синтез оптимального закона управления потоками транспорта в сети автодорог на основе генетического алгоритма / А. И. Дивеев, Н. А. Северцев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2003. – № 3. – С. 87.
4. Функциональная модель информационной технологии обеспечения надежности сложных электронных систем с учетом внешних воздействий / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 184–187.
5. Бесекерский, В. А. Динамический синтез систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский. – М. : Наука, 1965. – 515 с.
6. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М. : Наука, 1975. – 767 с.
7. Мокров, Е. А. Статико-динамические акселерометры для ракетно-космической техники / Е. А. Мокров, А. А. Папко. – Пенза : ПАИИ, 2004. – 164 с.

Поспелов Алексей Владимирович

инженер,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)

Ларкин Максим Сергеевич

инженер,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)

Скаморин Денис Анатольевич

старший научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8)

Аннотация. Представлены основные требования и результаты разработки устройства измерения углов тангажа и крена для систем горизонтирования и наведения подвижных объектов. Рассмотрены условия и методы реализации требований к высокой точности устройства.

Ключевые слова: углы тангажа и крена, акселерометр уравнивающего преобразования, среднеквадратическое значение погрешности, микроконтроллер, опорно-поворотное устройство.

Pospelov Aleksey Vladimirovich

engineer,
Research Institute of Physical Measurement
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

Larkin Maksim Sergeevich

engineer,
Research Institute of Physical Measurement
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

Skamorin Denis Anatol'evich

senior staff scientist,
Research Institute of Physical Measurement
(440026, 8 Volodarsky street, Penza, Russia)

Abstract. Presents the basic requirements and the results of the development of the device for measuring angles of pitch and roll systems for horizontal leveling and aiming of moving objects. The conditions and methods of realization of the high precision requirements of the device.

Key words: angles of pitch and roll, accelerometer compensated transformation, RMS error, a microcontroller, a pan-tilt unit.

УДК 531.768

Поспелов, А. В.

Системы горизонтирования и наведения подвижных объектов на основе устройства измерения углов тангажа и крена / А. В. Поспелов, М. С. Ларкин, Д. А. Скаморин // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 91–93.