

УДК 629.056.6

Ю.А. БАТИЩЕВ, В.В. ДУДНИК, А.С. ГУРИНОВ, А.С. КОПКИН

АРХИТЕКТУРА И ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ И СВЕРХЛЕГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрены архитектура и возможности построения системы пространственной ориентации беспилотных и сверхлегких летательных аппаратов на основе современных твёрдотельных инерциальных датчиков. Подтверждена возможность применения микромеханических датчиков для построения недорогой инерциально-навигационной системы для беспилотных и сверхлегких летательных аппаратов.

Ключевые слова: инерциально-навигационная система (ИНС), гироскоп, акселерометр, летательный аппарат, микромеханические инерциальные датчики.

Введение. Конец XX и начало XXI веков ознаменовались во всём мире бурным развитием беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и пилотируемых сверхлёгких летательных аппаратов (СЛА). Штатная система ориентации любого летательного аппарата (ЛА) включает высокоточные чувствительные элементы-гироскопы и акселерометры, обеспечивающие решение различных задач, - определение координат мест положения объекта, определение параметров для его ориентации, стабилизации и прочее.

Современные навигационные системы, как правило, объединяют в себе ряд навигационных приборов, работающих на разных физических принципах. Это могут быть и приборы для определения высотно-скоростных параметров полёта, углов атаки, скольжения, тангажа и крена, выдающие информацию об ориентации летательного аппарата относительно вертикали на один из важнейших авиационных приборов – авиагоризонт, и приборы и системы для определения угловых скоростей и ускорений ЛА.

Прогресс в области беспилотных летательных аппаратов и сверхлегких летательных аппаратов в основном обусловлен следующими факторами:

- развитием новых серийно пригодных технологий для формообразования основных элементов планера – крыла и фюзеляжа;
- появлением системы глобальной навигации GPS и широким распространением малогабаритных приемоиндикаторов GPS;
- микроминиатюризацией элементов вычислительной техники – процессоров и памяти.

Управление ЛА заключается в управлении положением центра масс платформы (траекторное управление) и в управлении ориентацией платформы относительно центра масс.

Траекторное управление осуществляется на основании измерений текущих координат платформы. Для управления ориентацией ЛА используют измерения углов ориентации – курса, тангажа, крена либо измерения угловых скоростей ЛА (без вычисления углов ориентации). Для измерения углов ориентации ЛА обычно используют позиционные гироскопы. Коррекцию уходов позиционных гироскопов проводят, опираясь на данные маятника (акселерометров) и магнитных датчиков. Другим способом получения углов ориентации является использование бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) на основе гироскопических датчиков угловой скорости и акселерометров. Из-за высокой стоимости БИНС не получили распространения в БЛА и СЛА.

В настоящее время уровень микроминиатюризации бортового оборудования ограничивается габаритами и массой позиционных гироскопов для хранения местной вертикали, относительно которой отсчитываются крен и тангаж. Самая лёгкая гировертикаль МГВ-6 представляет собой цилиндр 090-150 массой 1,0 кг. Дальнейшее уменьшение массы гировертикали практически не возможно из-за сопутствующего гироскопического момента. В то же время общая масса всей авионики может быть на порядок меньше 0,1 кг. Аналогичное соотношение стоимостей: гировертикаль стоит не менее 5000\$, в то время как приемник GPS не более 100 \$, а твёрдотельный инерциальный датчик 60-70\$.

Постановка задачи. В настоящей работе поставлена цель разработать систему (устройство) пространственной ориентации для БЛА и СЛА на основе современных миниатюрных твердотельных инерциальных датчиков, лишенных недостатков, присущих традиционным ИНС, и которые смогут стать основным прибором пилотажной навигации для БЛА и СЛА [1].

Разработка и создание опытного образца. Основным объектом исследования в данной статье является разработанное нами устройство, которое позволяет:

- определять угловое положение объекта с точностью не более $\pm 2,0^\circ$ по каналам крена, тангажа, курса;
- определять географическое положение ЛА по результатам измерений спутниковой радионавигационной системой с точностью 10 м;
- определять географическое положение ЛА в период между обновлениями данных от спутниковой радионавигационной системы с точностью 100 метров в минуту полета в условиях отсутствия данных от GPS.

Разработанное устройство состоит из блоков: инерциально-измерительный блок (ИИБ); трехкомпонентный магнетометр; приемник GPS, вычислитель и источник питания.

Инерциально-измерительный блок:

- диапазон измеряемых угловых скоростей от $-150^\circ/\text{с}$ до $+150^\circ/\text{с}$;
- диапазон измеряемых линейных ускорений по трем осям от -2 g до $+2\text{ g}$;
- напряжение питания – $5\text{ В} \pm 10\%$;
- ток потребления – 50 мА;
- эксплуатационный диапазон температур – 40°C до $+50^\circ\text{C}$.

Магнитометр:

- информация, получаемая от магнитометра должна обеспечивать ориентирование по сторонам света без использования информации от GPS;
- питание блока – $5\text{ В} \pm 10\%$;
- номинальный ток потребления – 50 мА;
- эксплуатационный диапазон температур – 40°C до $+50^\circ\text{C}$.

Приемник GPS:

- прием текущего значения широты;
- прием текущего значения долготы;
- прием текущего значения истинного курса;
- прием текущего значения высоты полета;
- прием текущего значения истинной скорости;
- прием текущего значения времени.

Вычислительное устройство:

- аналого-цифровое преобразование сигналов от датчиков ИИБ и трехкомпонентного магнитометра;
- прием и обработку сигналов GPS по протоколу NMEA;
- расчет углов крена, тангажа по информации от ИИБ;
- расчет магнитного курса;
- реализацию алгоритмов инерциальной навигации с коррекцией по показаниям спутниковой радионавигационной системы (СРНС).

С появлением на рынке новых миниатюрных чувствительных элементов во всем мире (по оценкам зарубежных аналитиков, в настоящее время 32 страны мира занимаются или выпускают БЛА) начались попытки создания на их основе дешевых приборов ИНС. В настоящее время в области компактных механических инерциальных датчиков доминирует технология MEMS (Micro – Electro Mechanical System), которая подразумевает изготовление на кристалле кремния микроскопических подвижных элементов и при совмещении с микроэлектронными технологиями позволяет создавать очень компактные, надежные и простые в эксплуатации датчики и не просто датчики, а «системы на кристалле» высокой степени интеграции [2].

В качестве датчиков для построения ИИБ были выбраны микромеханические датчики фирмы Analog Devices ADXR 150 и ADXL 103. На рис.1 представлена функциональная схема датчика ADXR 150. Основные характеристики датчиков приведены в таблице.

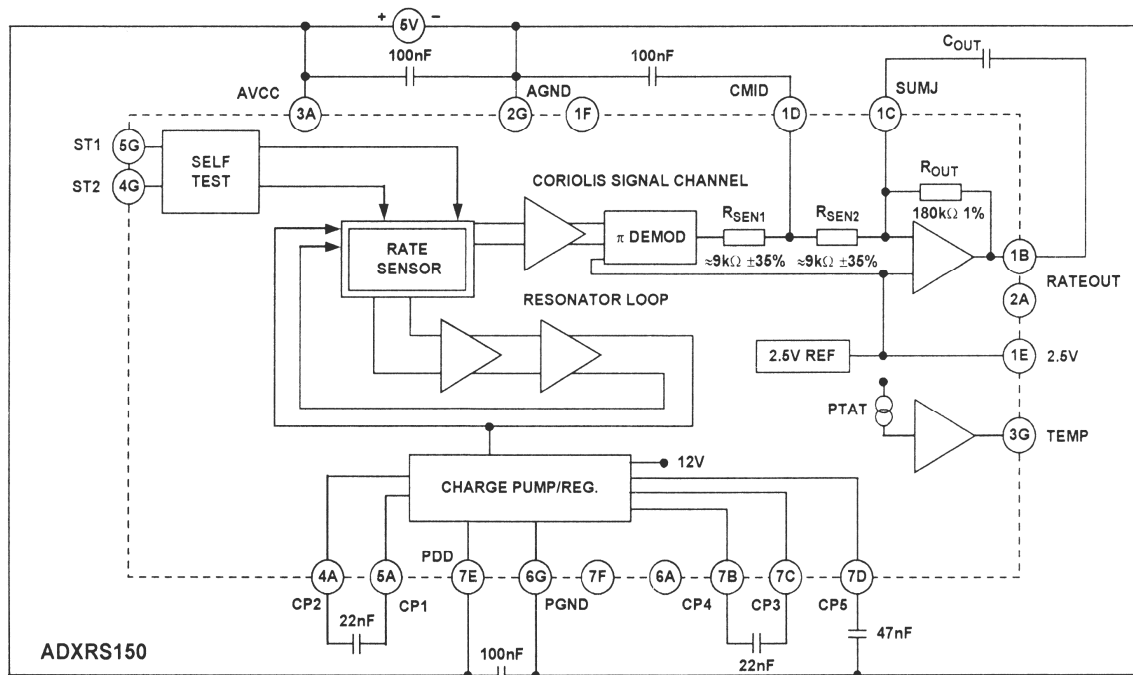


Рис. 1 Функциональная схема ADXR 150

Технические и точностные характеристики датчиков

Параметр	ADXR 150	AXDL 103
Электропитание, В	5	5
Рабочий диапазон температур	-40 ⁰ - +85 ⁰	-40 ⁰ - +125 ⁰
Скорость дрейфа, ⁰ /с/Гц	0,05	-
Предел измерений	± 150 %	± 1,7 g
Чувствительность	12,5 мВ/ ⁰ /с	1 mg (на 60 Гц)
Частотный диапазон, Гц	40	10
Смещение нуля	-	± 25 mg
Смещение нуля от температуры	0,384 ⁰ /с/ ⁰ С	± 0,1 mg/ ⁰ С
Линейность в диапазоне, %	0,1	± 0,5
Уровень помех	0,05 ⁰ /с/Гц	110 μg/Гц
Температурная чувствительность	-	± 0,5 %
Чувствительность к ускорению	0,2 ⁰ /с/g	-

В качестве основного источника информации используется ИИБ, состоящий из трех взаимно перпендикулярных установленных акселерометров и гироскопов. Магнитометр 3-осевой представлен магниторезистивными датчиками фирм HONEY WELL или PHILIPS. Источником дополнительной информации служит приемник спутниковой радионавигационной системы (СРНС) GM-210, фирмы Holux. Приемник выдает стандартный набор навигационной информации в соответствии с протоколом NMEA-0183, с частотой 1 Гц.

Алгоритм работы разработанного устройства представлен на рис.2. Вычислительное устройство реализовано с помощью процессорного модуля на основе сигнального процессора TMS320F2812.

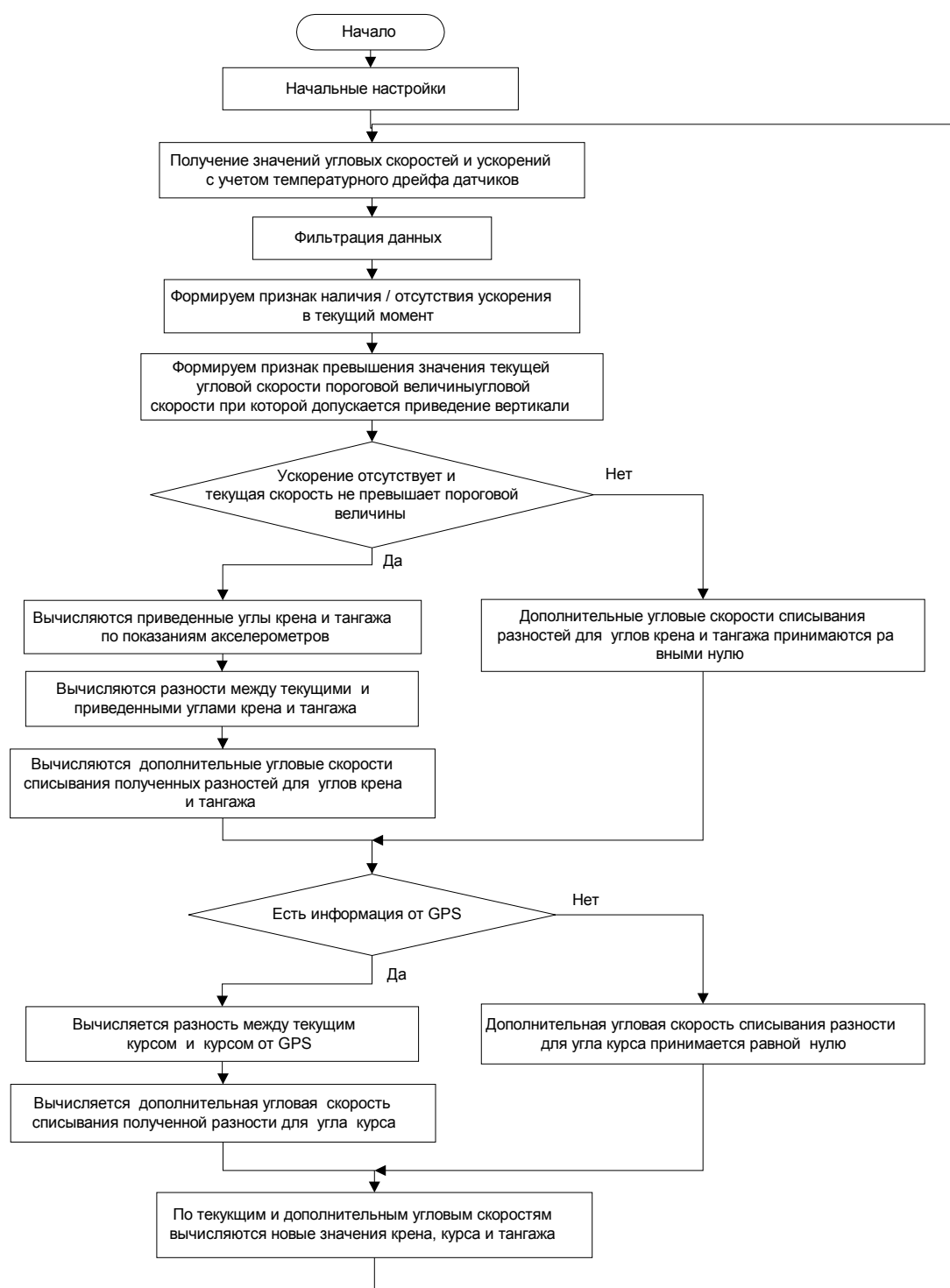


Рис. 2 Алгоритм работы разработанного устройства

Полученные результаты. Опытный образец испытывался в лабораторных условиях, Уфимского приборного завода на серийном испытательном стенде МПУ–1 АП–34Б (зав. № 4140). Получены следующие результаты:

- стабильность нуля не более - 10 % ;
- случайное блуждание нуля – $0,15^0 \sqrt{r}$;
- нестабильность масштабного коэффициента – 0,1 % ;
- полоса пропускания – 40 Гц.

Выводы. Проведённые испытания подтверждают:

- возможность применения микромеханических датчиков (MEMS) при построении ИНС для беспилотных и сверхлёгких летательных аппаратов;
- применение микромеханических датчиков с использованием специальных методов обработки информации, которые позволяют обеспечивать точность, существенно превосходящую точность отдельного прибора;
- возможность создания недорогой ИНС на основе современных твердотельных инерциальных датчиков, лишенной существующих недостатков для БЛА и СЛА;
- возможность применения разработанной ИНС для микроспутников типа «Nana», доукомплектовав ее блоком термочувствительных элементов термодинамической системы ориентации и стабилизации [3]; точность определения углового положения микроспутников этого типа $\pm 5^0$ по каналам крена, тангажа, курса.

Библиографический список

1. Савенко Н. Акселерометры и гироскопы для портативных устройств / Н. Савенко // Современная электроника. – 2006. - № 6. - С.18-21.
2. Дудник В.В. Разработка и создание опытного образца твердотельного авиагоризонта для сверхлегких летательных аппаратов на чувствительных элементах нового поколения: отчет о НИР. - №0120610360 ФНТИЦ / В.В. Дудник, Ю.А. Батищев, Д.М. Кузнецов и др. 2007. – 98 с.
3. Костенко В.И. Особенности применения термопреобразователей сопротивления в системах ориентации и энергообеспечения космических аппаратов. / В.И. Костенко, М.Б. Добрян, А.В. Наганов, О.Т. Захарчук. // Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов. Сер. Механика и информатика: сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. Россия, Таруса: ИКИ РАН; опубл. 24-25 сентября 2008 года. – С.231-236.

Материал поступил в редакцию 04.02.2010.

Y.A. BATISHCHEV, V.V. DUDNIK, A.S. GURINOV, A.S. KOPKIN

ARCHITECTURE AND POSSIBILITIES OF ATTITUDE SYSTEM OF UNMANNED AND ULTRALIGHT AIR VEHICLES BASED ON SENSITIVE ELEMENTS OF NEW GENERATION

The architecture and building possibilities of attitude system of unmanned and ultralight air vehicles based on modern inertial sensors are considered. Executed development testing has corroborated possibility of using micromechanic sensors for the construction of an inexpensive inertial navigation system for unmanned and ultralight air vehicles.

Key words: inertial navigation system, gyroscope, accelerometer, aircraft, micromechanical inertial sensors.

БАТИЩЕВ Юрий Александрович (р.1939), доцент (1991) кафедры «Промышленная безопасность» Института энергетики и машиностроения ДГТУ, кандидат технических наук (1987). Окончил Таганрогский радиотехнический институт (1971).

Область научных интересов – автоматизация технологических процессов.

Автор 93 научных публикаций.

ДУДНИК Виталий Владимирович (р.1969), доцент (2007) кафедры «Промышленная безопасность» Института энергетики и машиностроения ДГТУ, кандидат технических наук (1998). Окончил Харьковский авиационный институт (1994).

Область научных интересов – беспилотные и сверхлегкие летательные аппараты.

Автор 54 научных публикаций.

ГУРИНОВ Андрей Сергеевич (р.1987), аспирант ДГТУ. Окончил РГАСХМ (2009) по специальности «Управление и информатика в технических системах».

Автор 12 научных публикаций

КОПКИН Андрей Сергеевич (р.1987), аспирант ДГТУ. Окончил РГАСХМ (2009) по специальности «Управление и информатика в технических системах».

Автор 10 научных публикаций.

yur-batishhev@yandex.ru