

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАБОТЫ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ И СИСТЕМ ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ БЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕНДА, ИМИТИРУЮЩЕГО УСЛОВИЯ ПОЛЕТА

Профессор, кандидат техн. наук **А.Е. Алтынов**, студент **М.С. Батаев**, студент **Н.М. Гаврюшин**, аспирант **Д.О. Дрыга**

Московский государственный университет геодезии и картографии  
*N.Gavrushin@gmail.com, Bataevm@gmail.com, Hopkuh@gmail.com*

**Аннотация.** Рассмотрена методика оценки работы инерциальных систем и систем горизонтирования аэрофотосъемочного модуля с использованием стенда, имитирующего условия реального полета БЛА.

**Ключевые слова:** инерциальная система, система горизонтирования, имитация полетных условий, беспилотный летательный аппарат (БЛА)

**Abstract.** A method of estimation of inertial systems and aerophoto-module leveling systems was considered. The method employs a test bench simulating flight for UAV.

**Keywords:** inertial system, the leveling, flight simulation, unmanned aerial vehicle (UAV)

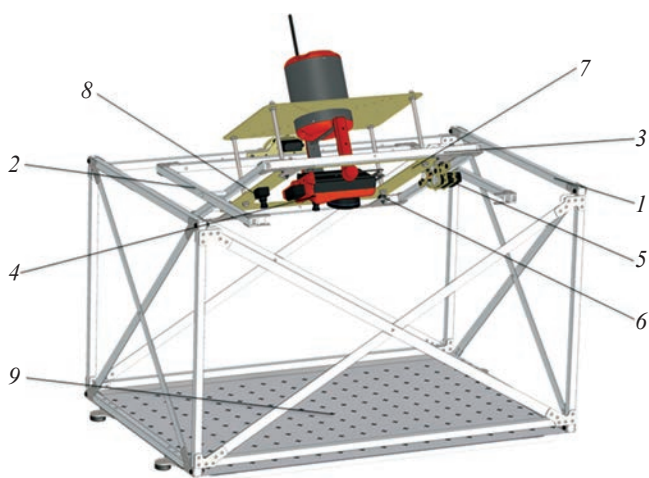
На кафедре аэрокосмических съемок МИИГАиК студенческой инициативной группой (СИГ) ведутся научно-поисковые работы по созданию малогабаритного аэрофотосъемочного модуля «Кречет», для установки на легкий беспилотный летательный аппарат (самолетного, вертолетного типа) или летательный аппарат легче воздуха — воздушный шар, дирижабль и пр. [1]. В состав малогабаритного съемочного модуля «Кречет» (далее «модуль»), предназначенного для установки на БЛА, входят: малогабаритная цифровая аэрофотокамера (ЦФК); система горизонтирования ЦФК; система виброгашения; инерциальная система (ИС) и система спутниковой навигации (ССН) [2].

В процессе создания «модуля» необходимо

было решать комплекс взаимосвязанных задач, в частности, настройки (юстировки), тарировки, испытаний и проверок результатов работы систем стабилизации и виброгашения, а также определения условий наиболее эффективного взаимодействия этих систем. Комплексная обработка результатов, полученных при испытании съемочного «модуля», позволит провести объективную оценку испытываемого оборудования и надежности его работы при производственной эксплуатации. Очевидно, что испытания подобного рода в реальных условиях полета на борту БЛА существенно более затратные и связаны с риском потери БЛА. Для имитационного моделирования действия условий реального полета БЛА на малогабаритный аэрофотосъемочный комплекс в СИГ спроектирован и изготовлен специальный стенд ГН-1 (рис.1).

Испытательный стенд представляет собой жесткую раму 1, в верхней части которой смонтирован карданов подвес 2, позволяющий закреплённому на его внутреннем кольце 3 съемочному «модулю» 4 вращаться одновременно в трех взаимно перпендикулярных плоскостях и с различным ускорением под воздействием трех сервоприводов 5, на которые поступают соответствующие сигналы с терминала управления.

Терминал управления стендом представляет собой мобильный ПК, в котором хранятся наборы данных, характерных для различных условий полета БЛА. Данные по углам наклона и скорости их изменения по осям  $X, Y, Z$ , с интервалом в 1 с были предварительно полу-



**Рис. 1.** Испытательный стенд ГН1-1, имитирующий процессы, происходящие на борту БЛА во время полета

чены со штатной ИС, установленной на борту легкого БЛА, при широком спектре изменения режимов полета и метеоусловий. На внутренней раме 3 карданова подвеса стенда на демпфированном креплении 6 установлена платформа 7, на которую крепится испытываемое оборудование 4 и ЦФК 8. Конструкция стенда позволяет производить эволюции платформы 7 вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Таким образом, имитация условий полета заключается в отработке платформой поступающих на сервоприводы сигналов на изменения углов наклона и угловых ускорений по тангажу и крену. На стенде предусмотрена также подача команд на вибратор, заставляющий вибрировать внутреннюю раму подвеса с заданной частотой и амплитудой.

На основной платформе 7 установлена ЦФК 8 с размером матрицы 800×600 пикселей. Камера установлена таким образом, что центр ее поля зрения совпадает с центром рабочей поверхности стенда 9 при нулевых углах поворота внутренних колец карданова подвеса.

В нижней части стенда на рабочей поверхности находится графический тест-объект. Тест-объект представляет собой сетку перекрестий, координаты которых определены с точностью ±0,1 мм.

#### Основные характеристики стенда ГН-1

Габариты стенда (д.ш.в.), м .....	0,8×0,6×0,5
Размеры рабочей поверхности, м .....	0,76×0,55
Высота крепления ОЭ устройств над рабочей поверхностью, м .....	0,45
Максимальные углы наклона внутренней платформы по осям $x, y$ .....	± 60°/60°
Точность позиционирования колец подвеса .....	0,5°
Точность определения углов наклона внутреннего кольца стенда .....	0,5°
Точность определения углов ориентации внутреннего кольца .....	0,5°
Максимальная угловая скорость вращения колец стенда, °/с .....	30
Диапазон частот генератора вибрации, Гц ....	10–350

Методика оценки работы пилотажно-навигационных систем, систем горизонтирования и виброзащиты с использованием стенда заключается в регистрации углов наклона внутреннего кольца стенда 3 и рамок подвеса системы горизонтирования (на платформе 7) и сравнении их с показаниями инерциальной

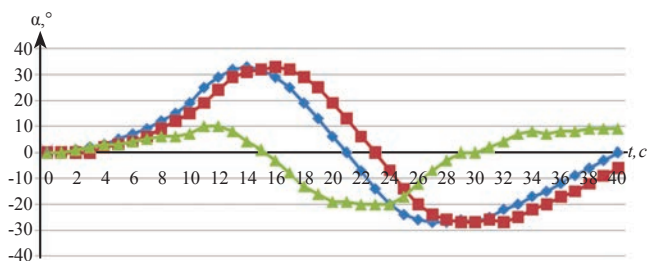
системы в процессе имитации полетных условий.

В процессе работы стенда в режиме имитации полета ИС «модуля», установленная на платформе 7, с частотой 1 Гц регистрирует углы ее наклона (углы тангажа и крена, заданные сервоприводом по программе с терминала управления) с одновременным синхронным фотографированием тест-объекта двумя ЦФК. Первая ЦФК 4 жестко закреплена на платформе стенда в одной плоскости с ИС, вторая камера установлена в системе горизонтирования 8 (или системе подавления вибраций на платформе 7) в составе «модуля». Далее, по результатам фотограмметрической обработки синхронных снимков, полученным обеими ЦФК, определяются углы наклона снимков (ЦФК) через заданные промежутки времени.

Определение углов наклона снимков производится по опорным точкам методом обратной фотограмметрической засечки [3]. Опорные точки в нашем случае — точки, координаты которых в системе координат стенда известны с высокой точностью, маркированы на рабочей поверхности стенда и легко отождествляются на снимках. Практически эта задача решается в среде ЦФС Photomod (компании «Ракурс»). По результатам фотограмметрических определений мы получаем углы наклона снимков с точностью на порядок большей, чем, величины углов наклона внутренней рамы, определенные самой ИС. Это позволяет нам использовать данные, полученные по снимкам, как опорные.

После проведения испытания углы наклона платформы с «модулем», полученные с ИС, и в результате обработки снимков синхронизируются по времени. Высокая точность достигается наличием большого количества избыточных измерений. В результате мы получаем углы наклона камеры с точностью не хуже 10 минут дуги. Точность напрямую зависит от качества фотоматериалов, полученных с камер (разрешающей способности и т.д.), и методики обработки.

По результатам обработки материалов, полученных на стенде, строятся графики зависимости угловых элементов ориентации подвеса стенда, углы наклона внутренней рамы стаби-



**Рис. 2. График зависимости углов наклона рамки подвеса, углов стабилизирующей платформы и показаний инерциальной системы на 40-секундном участке полета:**

— отклонение плоскости подвеса сенда от горизонта по оси  $x$ ; — показания ИС отклонения плоскости подвеса сенда от плоскости горизонта по оси  $x$ ; — отклонение плоскости стабилизирующей платформы от плоскости горизонта по оси  $x$

лизирующей платформы и показаний инерциальной системы (рис. 2).

Анализ данных, отображенных на графике, позволяет определить возможности и качество

определения углов эволюции аэрофотосъемочного «модуля» инерциальной системой, точность системы горизонтирования, а также зависимость этих параметров от внешних факторов (вибрации, времени, скорости изменения угловых ЭВО, максимальных значений угловых ЭВО, положение ИС в ОЭП и т.д.)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барбасов .К.С., Гаврюшин Н.М., Дрыга Д.О. Много-роторные беспилотные летательные аппараты и возможности их использования для дистанционного зондирования Земли // Инженерные изыскания. – 2012. – № 10. – С. 38-42.
2. Салычев О.С. Автопилот БПЛА с инерциальной интегрированной системой — основа безопасной эксплуатации беспилотных комплексов – интернет ресурс - [http://www.teknol.ru/trash/uav\\_autopilot\\_salychev\\_2602182965.pdf](http://www.teknol.ru/trash/uav_autopilot_salychev_2602182965.pdf).
3. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. 2 изд., перераб. и доп., М.: Недра, 1984. –552 с.

*Принята к печати 25 сентября 2014г.*

*Рекомендована кафедрой аэрокосмических съемок  
МИИГАиК*