

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КАЛИБРОВКИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ И БЛОКОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРЕЦИЗИОННОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Веремеенко К. К. , Галай И. А.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия

Одним из основных способов повышения точностных характеристик инерциальных навигационных систем является калибровка первичных измерителей – гироскопов и акселерометров. Под калибровкой понимается процесс определения или уточнения параметров принятой математической модели ошибок датчиков [1, 2, 3]. Для проведения полунатурных испытаний и калибровки необходимы дорогостоящие динамические симуляторы, которые позволяют проводить тестирование различных типов чувствительных элементов, от микромеханических гироскопов и акселерометров низкой точности, до высокоточных гироскопов и акселерометров. Созданная на базе кафедры 305 и Центра спутниковых информационных технологий МАИ «Лаборатория испытаний инерциальных навигационных систем» открывает возможности для определения с высокой точностью ошибок систем, связанных как с погрешностями первичных измерителей, так и с особенностями функциональных алгоритмов, тестирования и калибровки разрабатываемых комплексов ориентации и навигации на различных этапах жизненного цикла изделия. Исследование общих свойств инерциальных систем, их тестирование, анализ погрешностей первичных датчиков и определение параметров их моделей составляют основные задачи созданной лаборатории.

Аппаратную основу лаборатории составляют три стенда – двухосный поворотный стенд ActiDyn ST2356C, оснащенный термокамерой [4, 5], малый одноосный поворотный стенд ActiDyn RT1112, центрифуга ActiDyn C-18 – и имитатор спутниковых навигационных сигналов. Важной частью лаборатории является программно-алгоритмическое обеспечение. В настоящее время приоритетной задачей является разработка алгоритмов и программно-алгоритмического обеспечения (ПМО) для рационального использования имеющегося оборудования.

Одним из основных режимов работы лаборатории является режим имитационного моделирования различных процессов испытаний инерциальных навигационных систем и блоков чувствительных элементов (БЧЭ). В частности, в рамках работ по созданию ПМО лаборатории [6] разработаны методики калибровки гироскопов, акселерометров, блоков чувствительных элементов и инерциальных навигационных систем. Одной из наиболее сложных работ является калибровка бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) в процессе ее штатного функционирования. Методика построена на организации координатных и скоростных измерений и обработке их в оптимальном фильтре Калмана с размерностью вектора состояния от 15 до 21. Создан программный комплекс, реализующий эту методику на двухосном поворотном основании, проведено имитационное моделирование калибровки БИНС, построенной на лазерных гироскопах и маятниковых акселерометрах. Методика испытаний заключалась в установке в определенное положение навигационной системы на поворотный стол, ее начальной выставке, последующем задании вращения поворотного стола и снятии показаний с БИНС и лабораторного оборудования в течении всего времени моделирования, обработке полученной информации, переориентации системы и проведения повторного цикла испытаний. В результате имитационного моделирования такой процедуры получены зависимости ошибки оценок коэффициентов математической модели датчиков от различных факторов. Анализ результатов показывает, что на первом этапе возможна калибровка постоянной составляющей погрешности двух из трех акселерометров блока, процесс оценивания длится около 100 секунд и ошибка оценки устанавливается на уровне $0,0001 \text{ м/с}^2$. Таким образом, после первого положения системы оценка постоянных

составляющих ошибок двух акселерометров будет откалибрована с достаточной для проведения точностью. Дальнейший анализ результатов имитационного моделирования показывает, что проведение определенного количества переориентаций системы на поворотном стенде и использование разработанного алгоритма и прецизионного лабораторного оборудования, обеспечивают достаточно точную калибровку инструментальных ошибок датчиков первичной информации БИНС. Погрешность оценивания постоянной ошибки акселерометров при этом составляет около 0.001 м/с^2 , ошибка определения нестабильности масштабного коэффициента акселерометров – $1 \cdot 10^{-5}$. Погрешность оценки постоянной составляющей дрейфов гироскопов – 0.00413 град./час. Точность калибровки коэффициента ошибки гироскопа из-за перегрузки – $1 \cdot 10^{-9}$. Указанные характеристики, полученные имитационным моделированием при полной адекватности моделей и белых шумах, представляют собой оптимистические оценки. При натурных испытаниях характеристики оценивания могут ухудшаться за счет неадекватности моделей, особенностей шумов датчиков и других причин.

При подготовке конкурсной работы с использованием математического пакета MatLab проведено также имитационное моделирование процесса калибровки БЧЭ, построенного на микромеханических гироскопах и акселерометрах с помощью одноосного поворотного основания. В данном случае входной сигнал для алгоритмов калибровки снимался непосредственно с выхода блока гироскопов и блока акселерометров и в дальнейшем проводилась обработка информации с использованием алгоритма метода наименьших квадратов (МНК) с размерностью вектора состояния 15 для блока гироскопов и 6 для блока акселерометров. Методика испытаний заключалась в шести последовательных поворотах БЧЭ относительно планшайбы поворотного основания. Необходимо отметить, что для реализации указанной методики необходима специальная технологическая оснастка, позволяющая закреплять блок в различных положениях на поворотном столе. Для проверки работоспособности методики разработан программный комплекс реализующий все необходимые алгоритмы. Полученные результаты имитационного моделирования позволяют судить о пригодности данной методики для проведения испытаний микромеханических БЧЭ на одноосном поворотном основании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веремеенко К. К., Желтов С. Ю. и др. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009 г.
2. Помыкаев И. И., Селезнев В. П., Дмитроченко Л. А. Навигационные приборы и системы. // М.: Машиностроение, 1983 г.
3. Б. С. Алешин, А. А. Афонин, К. К. Веремеенко и др. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 г.
4. URL: <http://www.actidyn.com>
5. Галай И. А., Зимин Р. Ю. Анализ характеристик двухосного поворотного стенда компании ActiDyn. // сборник тезисов докладов «Инновации в авиации и космонавтике – 2011», 2011.
6. Галай И. А. Программно-математическое обеспечение лаборатории испытаний интегрированных навигационных систем. // Тезисы докладов Международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации», г. Алушта, 2011 г.