

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана
механико-математического
факультета Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
"Московский государственный
университет имени
М.В.Ломоносова"
профессор



10. 10

2016

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (механико-математический факультет) о диссертации Алеховой Елены Юрьевны на тему «Некоторые задачи бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС)», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Диссертация Е.Ю. Алеховой «Некоторые задачи бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС)» посвящена исследованию ряда практически значимых задач инерциальной навигации. С одной стороны, эти задачи разноплановы. С другой стороны, задачи объединяет то, что разработанные в процессе их исследования алгоритмические решения нацелены на повышение точности функционирования БИНС как за счет совершенствования бортовых алгоритмов автономного навигационного счисления, так и за счет применения алгоритмов комплексной обработки информации, специфических для рассмотренных приложений. Исследования на тему повышения точности функционирования БИНС для тех или иных приложений всегда были и будут актуальными.

Диссертационная работа Е.Ю. Алеховой состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении представлена вводная часть, обзорная часть, связанная с тематикой диссертационного исследования. Кратко описаны задачи и результаты их исследования, обоснована актуальность темы, отмечена научная новизна, выделены положения, выносимые на защиту, сформулирована практическая значимость разработанных алгоритмических

решений.

Основная часть содержания первой главы посвящена задаче тестирования бортовых алгоритмов ориентации и навигации. Для этого разработан аналитический имитатор показаний идеальных интегрирующих инерциальных датчиков – датчиков угловой скорости (ДУС) и акселерометров. В качестве опорного движения корпуса БИНС использована модель углового движения, представляющая собой суперпозицию «медленных» и «быстрых» движений корпуса. Последняя призвана имитировать высокочастотную вибрацию основания. Предложенная модель обладает двумя несомненными достоинствами: она достаточно реалистично описывает возможные вибрационные воздействия на корпус БИНС при эксплуатации; на основе этой модели аналитически формируются показания идеальных инерциальных датчиков. Это позволяет далее проводить разноплановое тестирование бортовых алгоритмов ориентации и навигации БИНС разного класса точности. В главе приводятся примеры моделирования одношагового и многошагового алгоритмов ориентации БИНС для разного уровня амплитуды вибраций. Произведена обработка экспериментальных данных. Результаты моделирования показывают значимость выбора бортовой реализации численного метода интегрирования уравнений ориентации БИНС. В заключительном параграфе Главы 1 предложенная модель инерциальных датчиков использована для моделирования одного из возможных алгоритмических решений задачи начальной выставки БИНС. Обычно начальная выставка выполняется на неподвижном основании, однако в реальных условиях, корабль на рейде, самолет под действием ветра, блок чувствительных элементов БИНС имеет некоторые перемещения, как линейные, так и угловые. Выполненное моделирование учитывает это обстоятельство. Перемещения не помешали нормальному процессу выставки.

Вторая глава посвящена исследованию практической задачи – задачи коррекции БИНС, установленной на быстровращающемся объекте, когда в качестве корректора используется один информационно избыточный внешний датчик – одноосный гиросtabilизатор. Основная идея решения задачи комплексирования данных ДУС БИНС и показаний гиросtabilизатора (точнее измерения угла поворота его рамки) состоит в периодической коррекции масштабного коэффициента датчика угловой скорости, призванного измерять основную составляющую абсолютной угловой скорости быстровращающегося тела. Для этого задается линейная модель рассогласования значений угла поворота рамки гиросtabilизатора и угла поворота объекта, вычисленного по показаниям ДУС БИНС. Путем оценивания параметров этой линейной модели определяется оценка масштабного коэффициента ДУС. Выделим две особенности предложенных алгоритмических решений задачи. Первая состоит в разумном использовании достаточно редких во времени коррекций масштабного коэффициента. Вторая – в вычислении так называемого корректирующего кватерниона, являющегося функцией от оценки масштабного коэффициента. По сути здесь реализуется идея введения обратных корректирующих связей в алгоритм счисления ориентации БИНС. В главе представлены результаты моделирования предложенного алгоритма комплексирования данных БИНС и гиросtabilизатора, которые показали его эффективность.

Главы 3 и 4 диссертации посвящены исследованию практической задачи инерциальной ориентации, когда в навигационной системе используется избыточное количество одноосных датчиков угловой скорости, причем точностные характеристики каждого датчика могут варьироваться в некоторых пределах.

В главе 3 приводится описание предложенных алгоритмических решений задачи формирования выходной информации о трехмерном векторе при наличии избыточного количества осей чувствительности соответствующих измерителей. Для описания геометрии расположения осей чувствительности датчиков используется наглядное

представление, основанное на расположении осей по поверхности кругового конуса с варьируемым значением угла раствора. Методически, задача сводится к статической задаче метода наименьших квадратов. Сначала приводятся модели для случая равноточных измерений. Далее рассматривается случай неравноточных измерений, что в методе наименьших квадратов приводит к появлению весовой матрицы в соответствующих моделях псевдообращения. Весовая матрица строится диагональной, а ее диагональные элементы формируются по вычисленным значениям невязок или остаточных разностей покомпонентных измерений ДУС. Введение весовой матрицы направлено на автоматизацию процесса фильтрации возможно сбойных или грубых по точности измерений ДУС.

Глава 4 посвящена описанию результатов моделирования алгоритмов, изложенных в главе 3. Вводится типовая модель инструментальных погрешностей ДУС, рассматриваются режим орбитального вращения объекта и режим разворотов вокруг каждой координатной оси. Математическое моделирование подтвердило эффективность предложенного метода формирования весовых коэффициентов в методе наименьших квадратов.

Подводя итог, отмечаем, что в диссертационной работе Е.Ю. Алеховой исследованы и решены актуальные прикладные задачи инерциальной навигации, предложены новые алгоритмы для их решения. Результаты исследования обоснованы, их достоверность подтверждена соответствующим математическим моделированием. Выводы и заключения диссертанта по всем исследуемым задачам обоснованы. Отмечаем, что представленные результаты имеют практическую значимость.

Имеется несколько замечаний.

1. Анализ алгоритмов вычисления ориентации выполнен только для двух алгоритмов. Различных вариантов таких алгоритмов достаточно много, было бы интересно расширить анализ.
2. Режим начальной выставки отмоделирован без инструментальных погрешностей датчиков. Было бы интересно увидеть их влияние.
3. Для задачи ориентации с избыточным числом ДУС желательно было бы сравнить предложенные алгоритмические решения с методом Вейсфелда взвешенных квадратических приближений, часто используемом в методе наименьших модулей.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Е.Ю. Алеховой. Диссертационная работа Е.Ю. Алеховой является научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения ряда важных задач инерциальной навигации, имеющих практическое значение. Результаты, полученные в диссертации, несомненно, будут полезны специалистам в этой предметной области.

Основные результаты, включенные в диссертацию, опубликованы в профильных журналах. Содержание автореферата диссертации соответствует ее содержанию. Тематика выполненной диссертационной работы соответствует специальности 01.02.01 - Теоретическая механика.

Таким образом, считаем, что диссертационная работа Е.Ю. Алеховой «Некоторые задачи бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС)» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - Теоретическая механика, а ее автор - Елена Юрьевна Алехова – заслуживает присуждения искомой степени.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией

управления и навигации механико-математического факультета МГУ, Голованом А.А.
Отзыв одобрен на заседании лаборатории управления и навигации (протокол № 1 от 15 сентября 2016 г.).

Доктор физико-математических наук,
заведующий лабораторией управления и
навигации механико-математического
факультета Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования "Московский
государственный университет имени
М.В.Ломоносова"

Адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские
горы, д.1, механико-математический факультет

e-mail: aagolovan@yandex.ru

Телефон: +7 (495) 939-59-33



Голован Андрей Андреевич