



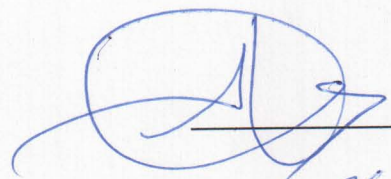
Председателю диссертационного
совета Д 002.240.01 при ИПМех РАН
Академику Д.М. Климову

29. 09. 2016 № 400/4728
На № _____

Уважаемый Дмитрий Михайлович!

В ответ на исх. № 11504/01-2171.2-327 от 16.06.2016 направляю Вам отзыв на кандидатскую диссертацию Е.Ю. Алеховой «Некоторые задачи бесплатформенных инерциальных навигационных систем БИНС» в двух экземплярах.

Зам. Главного конструктора
ПАО «МИЭА», к.ф.-м.н.


А.В. Фомичев
26. 09. 2016

ОТЗЫВ

официального оппонента А.В. Фомичева
о диссертации Е.Ю. Алеховой "Некоторые задачи бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС)", представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

Для решения задач автономного определения ориентации, скорости, местоположения и ряда сопутствующих параметров движения подвижного объекта используются инерциальные навигационные системы (ИНС). В настоящее время наиболее широко распространены бесплатформенные навигационные системы, имеющие значительные преимущества в сравнении с платформенными ИНС, как по технологичности изготовления, так и по эксплуатационным характеристикам. Ключевым показателем любой навигационной системы является ее точность, определяемая конструкцией, качеством изготовления и программным обеспечением. Конструкция БИНС и алгоритмы, входящие в состав ее программного обеспечения, должны обеспечивать минимизацию погрешностей, связанных с данными факторами. Для оценки погрешностей обычно используется математическое моделирование, либо специальные эксперименты.

В работе Е.Ю. Алеховой "Некоторые задачи бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС)" построена модель блока чувствительных элементов БИНС и с ее помощью исследован ряд основных алгоритмов БИНС, решена задача коррекции масштабного коэффициента датчика угловой скорости БИНС, установленной на быстровращающийся объект, рассмотрена задача конструирования блока чувствительных элементов с избыточным количеством датчиков и предложены способы обработки информации от этих датчиков. Методы, предлагаемые в работе, могут быть использованы при разработке и анализе точности алгоритмов БИНС, что делает результаты, полученные в диссертации актуальными для практического применения.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 102 страницы.

Во введении дан обзор литературы, посвященной инерциальным навигационным системам и их чувствительным элементам. Он сопровождается конспективным изложением основных результатов из цитируемых источников и принципиальных особенностей функционирования платформенных и бесплатформенных навигационных систем. В этом контексте описаны собственные результаты автора.

В первой главе построена математическая модель показаний блока чувствительных элементов БИНС, совершающего специальное движение,

состоящее из медленного и быстрого движений. Медленное движение имитирует угловое перемещение блока чувствительных элементов, вызванное эволюциями объекта, на который установлен данный блок. Быстрое движение имитирует угловую вибрацию блока – воздействие, часто встречающееся на практике и обычно негативно влияющее на точность БИНС. Для рассмотренного типа движения аналитически вычислены проекции угловой скорости и кажущегося ускорения на оси чувствительности. В виду преимущественного использования в БИНС интегрирующих датчиков, получены выражения для интегралов от проекций угловой скорости и кажущегося ускорения на оси чувствительности. Исследована точность двух алгоритмов численного интегрирования уравнений Пуассона, использующих информацию интегрирующих датчиков, и одного из способов начальной выставки.

Во второй главе рассмотрена задача коррекции масштабного коэффициента датчика угловой скорости БИНС быстровращающегося объекта с использованием информации от дополнительного гиросtabilизатора. Коррекция масштабного коэффициента и накопленной погрешности ориентации проводится периодически, что позволяет использовать алгоритм даже при нестабильной погрешности масштабного коэффициента и делает его практически точным, если масштабный коэффициент стабилен. Эффективность алгоритма подтверждена результатами численного моделирования.

Третья глава посвящена задаче построения блока чувствительных элементов с избыточным количеством датчиков первичной информации. Рассмотрен вопрос компоновки чувствительных элементов в зависимости от их количества по критерию максимизации векторно-скалярного произведения. Получены выражения для дисперсий невязок, позволяющие идентифицировать неисправный элемент, либо учитывать его измерения с малым весовым коэффициентом. Предложен алгоритм формирования весовых коэффициентов.

Заключительная четвертая глава содержит результаты моделирования задачи определения ориентации при помощи шестиосного блока чувствительных элементов с учетом типовых погрешностей датчиков. На двух типах движений изучена точность алгоритма определения ориентации в зависимости от количества активных осей, вида погрешностей и способа использования весовых коэффициентов. Показано, что процедура взвешивания, рассмотренная в главе 3, уменьшает погрешности определения ориентации и дает наилучший результат, если задействованы все датчики.

Результаты работы опубликованы в 4 статьях, в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Все статьи опубликованы с переводом на английский язык. Автореферат диссертации отражает основные результаты, полученные в работе.

По тексту работы имеются следующие замечания. В диссертации рассмотрены чувствительные элементы с погрешностями, которые считаются постоянными величинами. Было бы интересно исследовать влияние случайных погрешностей,

например - типа белого шума. Интересно было бы сравнить описанный в работе метод начальной выставки с другими известными алгоритмами, например, на основе динамической системы уравнений ошибок БИНС и фильтра Калмана. В дополнение к исследованию многоосного блока чувствительных элементов можно рассмотреть задачу калибровки такого блока, которая неизбежно возникнет при практической реализации.

Приведенные замечания не влияют на положительную оценку диссертации. Результаты могут считаться обоснованными и достоверными, поскольку базируются на известных уравнениях классической механики, установлены при помощи общепринятых математических методов и подвергались проверке при численном моделировании.

Считаю, что работа "Некоторые задачи бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС)" выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика, а её автор – Алехова Елена Юрьевна заслуживает присуждения искомой степени.

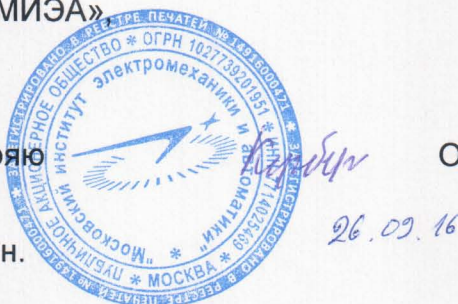
Официальный оппонент
Заместитель начальника
направления – заместитель
главного конструктора ПАО «МИЭА»
к.ф.-м.н.



26.09.16

А.В. Фомичев

Подпись А.В. Фомичева заверяю
Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н.



О.Б. Кербер

125319, Москва, Авиационный пер., д. 5. ПАО «МИЭА»

Тел.: (499) 152-48-74, Факс: (499) 152-26-31 E-mail: aomiea@aviapribor.ru