

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук профессора Егорова Юрия Григорьевича на диссертацию Богданова Олега Николаевича «Методика согласованного моделирования измерений инерциальных датчиков, траекторных параметров объекта с приложением к задачам инерциальной и спутниковой навигации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика»

Применение современных методов моделирования оказывает существенное влияние на эффективность разработки и испытаний навигационных систем и их чувствительных элементов (ЧЭ), поэтому диссертационная работа Богданова Олега Николаевича «Методика согласованного моделирования измерений инерциальных датчиков, траекторных параметров объекта с приложением к задачам инерциальной и спутниковой навигации» выполнена на актуальную тему.

В работе решена научная задача разработки методики моделирования измерений чувствительных элементов (гироскопов и акселерометров (ньютонеров)) широкого класса бесплатформенных (бескарданных) инерциальных навигационных систем (БИНС) в основных опорных навигационных системах координат (СК), оценивания траекторных параметров и атмосферных задержек радиосигналов в спутниковых навигационных системах.

Богдановым Олегом Николаевичем в диссертационной работе корректно поставлены и достаточно детально исследованы следующие задачи:

1. Моделирования показаний (измерений) чувствительных элементов БИНС в инерциальной, географической и приборной СК.
2. Согласованного моделирования измерений ЧЭ двух БИНС, установленных на одном объекте в разных точках.
3. Моделирования с высокой частотой показаний ЧЭ для тестирования алгоритмов численного интегрирования кинематических уравнений БИНС.

4. Сравнительного анализа алгоритмов численного интегрирования кинематических уравнений при помощи имитации вибрационных воздействий на этапе выставки БИНС.
5. Имитации калибровки ЧЭ БИНС на одноосном поворотном стенде с целью тестирования алгоритмов калибровки.
6. Моделирования траекторных параметров движения объекта в полярных районах.
7. Определения в режиме постобработки точных траекторных параметров навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS, а также внешних возмущений, действующих на спутники, с помощью данных сервиса IGS.
8. Моделирования ионосферной задержки спутникового радиосигнала при помощи данных международного центра CODE и двух частотных измерений.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе вводятся необходимые для исследований СК, понятия и соотношения. Рассматривается задание траектории непрерывными аналитическими функциями и дискретными экспериментальными данными, сглаживание входных параметров.

Во второй главе проводятся исследования задач моделирования показаний ЧЭ, траекторных параметров объекта с разработкой соответствующей методики. Проводится моделирование показаний ЧЭ на базе частных случаев интегрируемости уравнений движения и моделирования интегрирующих ЧЭ путем вычисления интегралов от удельной силы и абсолютной угловой скорости объекта. Рассматриваются вопросы обеспечения вычислительной устойчивости алгоритмов, совместного моделирования показаний ЧЭ для двух БИНС, моделирования характерного движения самолета в районе высоких широт в условиях отсутствия телеметрических записей, тестирования уравнений ошибок БИНС, моделирования показаний ЧЭ при калибровке, анализа многошаговых методов при наличии вибрации.

В третьей главе решаются задачи уточнения траекторных параметров навигационных спутников на основе сглаживающего фильтра Калмана и моделирования ионосферной погрешности.

Работа написана ясно, с последовательным изложением результатов исследований. По всем разделам работы сделаны выводы. Полученные в работе научные результаты достаточно хорошо обоснованы. Достоверность разработанных методик и алгоритмов подтверждена тестированием и апробацией

на экспериментальных данных, а также примерами их практической реализации.

В процессе диссертационных исследований автором корректно применены методы теоретической механики, инерциальной и спутниковой навигации, теории динамических систем, теории оценивания динамических систем, теории случайных процессов, элементы радиофизики и физики атмосферы.

К новым научным результатам, полученным в диссертационной работе, следует отнести:

- методику моделирования показаний инерциальных датчиков (чувствительных элементов), включающую согласованное моделирование основных траекторных параметров объекта;

- методику сравнительного анализа численных методов определения ориентации в условиях вибрации объекта в процессе выставки БИНС;

- решение задачи моделирования ионосферной задержки спутниковых измерений на основе комбинации двух частотных фазовых измерений и данных центра CODE.

Практическая значимость работы состоит в разработке методик и алгоритмов, которые могут быть использованы в программно-алгоритмическом обеспечении разработки и испытаний широкого класса БИНС.

Существенных недостатков диссертационная работа не имеет. Могут быть сделаны следующие замечания:

- при проведении исследований не учитываются динамические характеристики чувствительных элементов БИНС;

- в работе не рассматриваются вопросы синхронизации выходных сигналов гироскопов и акселерометров БИНС;

- в процессе сравнительного анализа численных методов определения ориентации в условиях вибрации объекта не рассматривается линейная вибрация, и её влияние на выставку БИНС в азимут и горизонт.

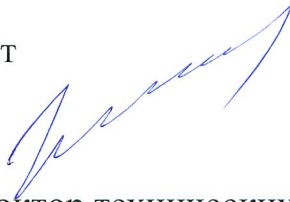
Приведенные замечания не снижают научной ценности диссертации.

Основные результаты работы опубликованы в 11 статьях, две из которых в журналах из перечня ВАК РФ. Сделаны доклады на 7 научных конференциях. Данные публикации достаточно полно отражают соответствующие разделы диссертации. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Богданова О.Н. «Методика согласованного моделирования измерений инерциальных датчиков, траекторных параметров объекта с приложением к задачам инерциальной и спутниковой навигации» является научно-квалификационной работой, соответствующей критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъяв-

ляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика», а её автор, Богданов Олег Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент



Егоров Юрий Григорьевич доктор технических наук, профессор.  
Профессор кафедры «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московского государственного технического университета имени Н.Э.Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1  
Т. +7 499 263-64-23

14.11.2014

**ВЕРНО:**



ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

А.Г. МАТВЕЕВ