

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Московского авиационного института
(национального исследовательского
университета)



профессор Ю.А. Равикович

2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» о диссертации Джепе Али на тему: «Задача навигации и ориентации искусственного спутника Земли на основе датчиков угловой скорости и многоантенного спутникового приёмника», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Диссертация Джепе Али посвящена решению актуальной задачи навигации и ориентации гипотетического искусственного спутника Земли навигационным комплексом, включающим датчики угловой скорости (ДУСы) и многоантенный приёмник сигналов спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС и GPS. Эта аппаратура широко распространена и доступна, что в значительной мере определяет целесообразность её использования при умеренных, как отмечено в диссертации, требованиях к точности решения задачи ориентации. Цель диссертационного исследования состоит в разработке унифицированных алгоритмов комплексной обработки информации от многоантенного приёмника СНС и от ДУСов. Наряду с этим, решен ряд сопутствующих задач, связанных с анализом наблюдаемости, чувствительности разрабатываемых алгоритмов к разного рода возмущениям, в частности, к неточности задания базовых векторов многоантенной системы,

к возможному несовпадению приборного трехгранника и связанного со спутником трехгранника, определяющего ориентацию спутниковых антенн.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, изложен краткий обзор возможных технических решений задачи и представлен обзор соответствующей литературы. Здесь же указана научная новизна основных результатов, полученных в диссертации.

В первой главе представлены решения задачи определения траекторных параметров малого спутника (точки установки базовой спутниковой антенны). Осуществлено моделирование траектории спутника на основе уравнений, используемых для прогноза движения навигационных спутников системы ГЛОНАСС. В качестве обобщенного вектора состояния ошибок использован вектор позиционных и скоростных ошибок траекторных параметров, а также постоянные составляющие внешних возмущающих сил, действующих на спутник. Представлен алгоритм коррекции траекторных параметров с использованием вторичной спутниковой информации от приемника сигналов СНС на основе дискретной калмановской фильтрации в варианте введения обратных связей. Показано, что при малом числе видимых спутников (менее четырех), когда информация СНС нерегулярна, для коррекции траекторных параметров следует использовать первые разности первичных спутниковых измерений (кодовых псевдодальностей и доплеровских псевдоскоростей). Разработаны алгоритмы формирования корректирующих измерений при совместном использовании систем ГЛОНАСС и GPS.

Вторая глава диссертации посвящена решению задачи определения параметров ориентации малого спутника при помощи ДУСов и приемника с разнесенными спутниковыми антеннами. Осуществлено моделирование углового движения спутника. Рассмотрена задача определения ориентации на основе использования вторичной информации СНС, доставляемой решениями многоантенного приемника. Получены соответствующие модели корректирующих измерений. Применительно к алгоритмам оценивания

калмановского типа рассмотрен подход к проведению качественного анализа наблюдаемости в поставленной задаче оценивания и показано, что свойства наблюдаемости зависят от геометрии расположения антенн, от уровня составляющих угловых движений корпуса спутника и от уровня угловых ошибок определения ориентации. С целью решения задачи ориентации при недостаточном числе видимых спутников предложена коррекционная модель, основанная на первичных разностях фазовых измерений. Задача определения ориентации сводится к задаче оценивания ошибки при помощи дифференциальных комбинаций первичных спутниковых измерений. Для разрешения целочисленной неоднозначности в этом случае предложен вариант корректировки декорреляции неоднозначности методом наименьших квадратов. В качестве исходных данных использованы первые разности фазовых измерений. Осуществлено моделирование задачи определения ориентации малого спутника «Университетский -Татьяна -2 », который во время поддержания ориентации на Землю совершает колебательные движения по углам крена и тангажа, амплитуда которых доходит до 0,5 градуса. Было принято, что на корпусе спутника установлены три ДУСа и приемник СНС с разнесенными антеннами. При этом система разнесенных антенн формирует три базовых вектора, ортогональных друг другу. Число видимых спутников порядка 8; целочисленные неоднозначности исключены из измерений. Результаты моделирования показали, что при достаточном числе видимых спутников и подход к комплексированию на основе использования вторичной информации СНС, и подход на основе использования первичных фазовых измерений обеспечивают возможность получения удовлетворительных оценок ошибок определения ориентации спутника и дрейфов гироскопов. При недостаточном числе видимых спутников задача ориентации может быть решена при использовании первичной спутниковой информации.

В третьей главе диссертации изложен стохастический анализ точности редуцированных моделей и алгоритмов в задаче ориентации. Редуцированные алгоритмы предложено использовать, в частности, для решения задачи

оценивания при изменениях взаимного расположения элементов антенного устройства и появлении соответствующих продольных и боковых смещений базовых векторов в результате деформаций конструкции спутника. В работе обоснован переход к упрощенной модели задачи оценивания в этом случае и, соответственно, к редуцированному фильтру Калмана. С использованием понятия стохастической меры оцениваемости разработана методика ковариационного анализа точности упрощенных алгоритмов комплексирования ДУСов и спутникового приемника с системой разнесенных антенн. Показано, что смещения, ортогональные оси базового вектора, влияют на точность оценивания существенно больше, чем смещения по продольной оси вектора, и ортогональные смещения следует вводить в модель задачи оценивания.

В заключении работы автор подытоживает основные полученные в диссертации результаты.

Автореферат и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации, в которой разработаны алгоритмы навигации и ориентации, представляющие теоретический и практический интерес применительно к созданию программно-математического обеспечения навигационных комплексов искусственных спутников Земли.

Вместе с тем, наряду с несомненными достоинствами работы, следует отметить и ее недостатки, основными из которых, на наш взгляд, являются следующие.

1. Представленное на Рис.3 (стр. 50) взаимное расположение координатных трехгранников отображает последовательность поворотов спутника на углы курса, крена и тангажа соответственно. Следовало бы дать соответствующее пояснение нетрадиционному выбору именно такой последовательности.

2. При использовании тесно связанной интеграции (первичных фазовых измерений) в задаче определения параметров ориентации малого спутника при помощи датчиков угловой скорости и приемника с разнесенными

спутниковыми антеннами предлагается включить в вектор состояния (86) погрешность определения углов ориентации, систематические составляющие гироскопического дрейфа и первые разности целочисленных неопределенностей фазовых измерений. Отдельное внимание в тексте диссертации (раздел 3.3) также уделяется процедуре разрешения целочисленных неопределенностей при тесной интеграции, основу которой составляет LAMBDA метод. При этом среди результатов обработки модельных данных отсутствуют как результаты оценки фильтром Калмана плавающих неоднозначностей, так и результаты разрешения целочисленных неопределенностей с использованием LAMBDA метода.

3. В главе 4 исследуется зависимость точности (качества) оценивания параметров редуцированных моделей (алгоритмов) от количества и распределения (по продольной/боковой оси) смещений, присутствующих в базовых векторах. Несмотря на то, что такое исследование безусловно представляет интерес, при обосновании необходимости его проведения сделано предположение, что в зависимости от специфики установки многоантенной системы приемника СНС такие смещения могут быть достаточно значительными - более одной длины волны с соответствующим изменением фазы несущего сигнала. Такая оценка смещений представляется несколько завышенной для искусственного спутника Земли. В работе [34], на которую ссылается автор диссертации, столь высокая оценка смещений в базовых векторах дана для самолетов при наличии изгибных колебаний крыльев.

4. Используемая в работе нумерация разделов не соответствует нумерации глав, что затрудняет чтение диссертации. Неясно содержание приложений, упомянутых в текстах диссертации и автореферата.

5. В заключении по работе следовало бы более четко сформулировать основные выводы по главам 2, 3.

Указанные замечания не снижают общей теоретической и прикладной ценности диссертационной работы. Диссертация Джепе Али на тему: «Задача

навигации и ориентации искусственного спутника Земли на основе датчиков угловой скорости и многоантенного спутникового приёмника», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует требованиям пп. 9-11 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями на 21.04.2016), а её автор, Джепе Али, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Отзыв ведущей организации подготовлен кандидатом технических наук, доцентом, профессором кафедры «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» МАИ Черноморским А.И.

Отзыв одобрен на заседании кафедры «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» (протокол №1 от 30 августа 2016 г.).

Заведующий кафедрой
«Автоматизированные комплексы систем
ориентации и навигации» МАИ, доктор
технических наук, профессор, чл.-корр. РАН



Б.С. Алешин

Исполнитель Черноморский А.И. тел. +7 (499) 158-43-59, email kaf305@mai.ru