

**Российская академия наук  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ  
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526  
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31  
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735  
ИНН/КПП 7729138338/772901001

04.05.2014 № 11504/02-214.2-284

На № \_\_\_\_\_

Утверждаю  
Заместитель директора Института  
член-корреспондент РАН

/С.Т. Суржиков/

7 мая 2014 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Панкратова Владимира Александровича "*Применение фильтрации Калмана в задачах определения вращательного движения спутников*", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.02.01 — теоретическая механика.

В диссертации Панкратова Владимира Александровича изучаются задачи восстановления движения спутника (ИСЗ) по данным измерений. Это важно для анализа микроускорений, неизбежно возникающих в процессе проведения на борту экспериментов по материаловедению, биологии и медицине. Микроускорения малы, но тем не менее могут быть разрушительными для экспериментов. Поэтому движение спутника должно восстанавливаться очень точно.

Измерения дают значения компонент вектора напряженности магнитного поля Земли в естественной системе координат, связанной со спутником, которая образована его главными осями инерции. Кроме того используются данные бортовых измерений угловой скорости спутника. По этим данным подбираются различными методами, в том числе и с помощью калмановской фильтрации, наиболее подходящие к ним траектории поступательного и вращательного движения спутника.

Работа состоит из трех глав, введения, заключения и списка литературы из 53 наименований. Во введении дается общее описание работы. Каждая из глав посвящена одной из основных групп методов сбора и обработки измерений. Заключение подытоживает основные результаты работы.

В главе 1 изучаются два основных метода реконструкции движения спутника по данным измерений. Спутник при этом описывается системой уравнения, в которой учитываются основные внешние воздействия на вращательные движение спутни-

ка: гравитационные моменты, аэродинамические моменты, гиросtatический момент внутренних устройств спутника, типа вентиляторов.

Первый из подходов к реконструкции движения основан на методе наименьших квадратов и работает со всеми данными, полученными в ходе длительного полета. Другой основан на фильтре Калмана и позволяет вести обработку наблюдений в реальном времени (online). Тем самым снимаются ограничения на подлежащий обработке интервал времени полета. Разумеется, оба подхода тесно связаны, поскольку, как известно, метод наименьших квадратов лежит в основе калмановской фильтрации. Нужно сказать, что используемая в работе процедура фильтрации по необходимости отличается от оригинальной калмановской, поскольку рассматривается нелинейная и дискретная модель системы и наблюдений. Поэтому вопрос о получении оптимальной в некотором смысле фильтрации не ставится. В то же время оригинальная калмановская фильтрация относится лишь к линейной модели системы и наблюдений, но зато дает в этом более простом случае минимальное среднеквадратичное отклонение от условного математического ожидания состояния системы.

В главе 2 излагаются методы реконструкции вращательного движения спутника, который при этом описывается системой кинематических уравнений движения твердого тела. Центр масс движется по эллиптической орбите, параметры которой определяются по траекторным измерениям. Как и в первой главе, рассматриваются два основных подхода к восстановлению движения: на основе апостериорной обработке данных полета методом наименьших квадратов, и работающий в реальном времени метод калмановской фильтрации.

В главе 3 излагается метод проверки согласованности показаний нескольких магнитометров, измеряющих магнитное поле Земли внутри спутника. В результате такой проверки устанавливается, что датчики измеряют с постоянным смещением одно и то же поле в системах координат, связанных с каждым магнитометром. В конечном итоге находится вектор постоянных смещений и матрица перехода от одной системы координат к другой.

В каждой из глав ясно изложен оригинальный вклад автора. Автор уверенно владеет численными методами и компьютерными технологиями. Многочисленные графики и таблицы весьма наглядно иллюстрируют теоретические подходы.

Результаты работы непросты и довольно громоздки, что, впрочем, неизбежно для данной тематики. Имеются также некоторые неудачные места, например, обсуждение псевдопроизводных на стр.17, где указывается чем это понятие не является, но не указывается чем же оно в точности является. Впрочем, в целом работа написано ясно, так что разобраться как в этом месте, так и в других вполне возможно.

В целом работа производит хорошее впечатление. Решены новые, актуальные прикладные задачи, их решения обоснованы и носят конструктивный характер. Разработанные в диссертации методы имеют непосредственную прикладную направленность. Они, в частности, позволяют предсказывать какие эксперименты, где имеются достаточно жесткие требования на величину микроускорений, проводить на спутнике не следует. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих российских научных изданиях. Автореферат правильно отражает содержание работы.

Результаты диссертации и отзыв на нее обсуждены и одобрены на заседании семинара "Теория управления и динамика систем" ИПМех РАН под руководством академика Ф.Л. Черноусько.

Диссертационная работа Панкратова Владимира Александровича полностью удовлетворяет всем квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кан-

дидатским диссертациям по специальностям 01.02.01 — теоретическая механика. Автор заслуживает присуждения данной ученой степени.

Ведущий научный сотрудник  
Института проблем механики РАН  
доктор физико-математических наук



А.И. Овсеви́ч