

## ОТЗЫВ

научного консультанта о диссертации В.А.Панкратова «Применение фильтрации Калмана в задачах определения вращательного движения искусственных спутников», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика

Диссертация В.А. Панкратова посвящена задачам реконструкции фактического вращательного движения искусственных спутников Земли (ИСЗ) научного назначения по данным измерений бортовых датчиков. Такая реконструкция необходима, в частности, для анализа квазистатических остаточных микроускорений, имевших место во время проведения космических экспериментов с гравитационно-чувствительными процессами. Специфика экспериментов требует построения непрерывной реконструкции вращательного движения спутника на продолжительных интервалах времени, что предъявляет особые требования к применяемым методам. Основные результаты диссертации состоят в следующем.

1) Предложен новый вариант алгоритма реконструкции фактического движения ИСЗ в неуправляемом режиме полета. Реконструкция движения строится методом наименьших квадратов с использованием решений полных кинематических и динамических уравнений вращательного движения ИСЗ. Методика использует измерения одного вида, в данном случае МПЗ, и позволяет реконструировать фактическое вращательное движение на временных интервалах от одного до пяти орбитальных витков. Для получения представления о микроускорениях и движении КА в течение всего полета, движение реконструируется на нескольких десятках отрезков.

2) Разработан подход, позволяющий реконструировать вращательное движение ИСЗ в ориентированном полете. Предложенная математическая модель использует только кинематические уравнения движения и, следовательно, пригодна для определения как управляемого, так и неуправляемого движения КА при любых действующих на него внешних механических моментах. Платой за такую универсальность является необходимость в привлечении данных измерений угловой скорости. Реконструкция фактического движения, находится из условия наилучшего, в смысле метода наименьших квадратов, согласования данных измерений вектора напряженности МПЗ с его расчетными значениями. В диссертационной работе данная методика выступает в качестве средства верификации математических моделей, основанных на динамических уравнениях вращательного движения. В дальнейшем полет КА научного назначения будет ориентированным (ориентация КА солнечными батареями на Солнце будет поддерживаться двигателями маховиками или гиродинами) и методика верификации, основанная на кинематических уравнениях, станет основной.

3) Предложены реализации фильтра Калмана, предназначенные для опре-

деления вращательного движения ИСЗ, которые могут быть применены как в реальном времени, так и при апостериорной обработке данных. Использование алгоритмов основанных на фильтре Калмана позволяет реконструировать движение КА на отрезке времени произвольной длины. Для апостериорных реконструкций, в представленных методиках, совместно с фильтром Калмана применяется RTS-сглаживание. Спецификой предложенных реализаций является переменная размерность вектора измерений.

4) Описана методика проверки согласованности данных измерений магнитометров. Эта проверка выполняется перед обработкой имеющихся данных с использованием более сложных математических моделей. Если проверка оказывается успешной, то в результате удастся оценить смещения в измерениях и матрицы перехода между собственными системами координат магнитометров.

Адекватность предложенных алгоритмов проверена посредством реконструкций вращательного движения КА *Фотон-МЗ* по реальным данным измерений. Разработанные для этого программные комплексы, могут использоваться для обработки данных измерений полученных на перспективных ИСЗ научного назначения.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Ее новизна связана с уникальностью решаемых задач и исследуемых объектов. Это потребовало разработки ряда математических моделей вращательного движения искусственных спутников, развития новых приемов определения такого движения по данным измерений и адаптации известных методов к новым ситуациям. Достоверность результатов подтверждена их эффективным практическим использованием в разработанном программном обеспечении. Диссертант зарекомендовал себя способным научным работником, умеющим решать сложные практические задачи.

Считаю, что диссертация «Применение фильтрации Калмана в задачах определения вращательного движения искусственных спутников» удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика, а ее автор – Панкратов Владимир Александрович – заслуживает присуждения искомой степени.

Научный консультант  
доктор физико-математических наук  
профессор

*В. Сазонов*

В.В. Сазонов

Подпись проф. В.В.Сазонова заверяю

Ученый секретарь Института прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН  
кандидат физико-математических наук



*А.И. Маслов*

А.И. Маслов