

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Буланова Дениса Михайловича
на тему «Исследование эволюции вращательного движения
искусственного спутника Земли»
по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

Диссертационная работа Д. М. Буланова посвящена интересной задаче механики космического полета – исследованию возможности описания реального вращательного движения искусственного спутника Земли (ИСЗ) при помощи эволюционных уравнений В. В. Белецкого. В рамках работы, исследуется эволюция вращательного движения двух ИСЗ одного класса: Фотон-12 и Фотон М-2. Для установившегося вращательного движения, наблюдаемого к концу полета обоих ИСЗ, были сопоставлены решения уравнений движения, используемых для реконструкции вращательного движения по измерениям магнитометров, и эволюционных уравнений В. В. Белецкого.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации и выносимых на защиту, подтверждается тем, что текст работы содержит полное описание проведенных исследований, вывод формул, и тем, что все результаты были получены строгими математическими и корректными методами численного анализа. Кроме того, результаты реконструкции вращательного движения, используемые в диссертационной работе, согласуются с результатами других исследователей, полученными ранее.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Полный объем диссертации 120 страниц текста с 32 рисунками. Список литературы содержит 68 наименований.

В первой главе была выполнена обработка измерений бортовых магнитометров с целью реконструкции вращательного движения. Измерения магнитного поля обрабатывались методом наименьших квадратов (МНК). Функционал МНК вычислялся на решениях уравнений движения спутника и, далее, минимизировался по начальным условиям и постоянным параметрам этих уравнений движения, а также углам, задающим перекося системы координат магнитометров, относительно системы координат жестко связанной с главными центральными осями инерции спутника. Впоследствии, полученное представление о вращательном движении использовалось автором для определения предельных значений угловой скорости в проекции на ось динамической симметрии обоих ИСЗ.

Во второй главе исследуются и выводятся эволюционные уравнения В. В. Белецкого, которые удалось получить из уравнений движения относительно центра масс усреднением по регулярной прецессии Эйлера. Переменными в усредненных уравнениях служат компоненты орта собственного кинетического момента спутника и параметры слабо возмущенной прецессии Эйлера. Решения усредненных уравнений сравниваются с компонентами орта собственного кинетического момента, рассчитанными вдоль решений системы уравнений движения, которые использовались для реконструкции вращательного движения в первой главе. Согласование решений выполнялось при помощи МНК. Установлена нижняя граница значений угловой скорости, для которых изменение собственного кинетического момента обоих ИСЗ достаточно точно описывается эволюционными уравнениями В. В. Белецкого.

Третья глава посвящена реконструкции движения спутника с помощью очередного упрощения модели, используемой в первой главе. Фактическая орбита ИСЗ аппроксимировалась круговой с помощью МНК. А в четвертой главе было выполнено заключительное упрощение модели движения. На финальных участках полета, на которых продольная составляющая угловой скорости была близка к предельной, (также ввиду результатов обработки

магнитных измерений на этих же интервалах) удалось опустить неконсервативную составляющую внешнего момента действующего на ИСЗ. После данных упрощений, движение спутника описывается автономной системой. В первой, второй и четвертой главах приведены результаты построений движений ИСЗ Фотон-12 и Фотон М-2. Сопоставление результатов позволяет проследить эволюцию качества реконструкций с использованием последовательно огрубляемых моделей.

В пятой главе исследуется общий случай установившегося вращательного движения на примере ИСЗ Фотон М-2. Реальное вращательное движение, а именно движение орта оси динамической симметрии было изучено детально. Спектральный анализ показал, что в движении доминируют две частоты, а сопоставление с эволюционными уравнениями В. В. Белецкого показало, что меньшая частота соответствует частоте движения орта кинетического момента относительно орбитальной системы координат. Найденная частота использовалась для построения аппроксимирующего решения методом продолжения по параметру. Сопоставление решений осуществлялось с помощью сдвига по фазе, найденного с помощью метода наименьших квадратов и тригонометрического разложения решения обобщено-консервативных уравнений В. В. Белецкого на этом интервале. В шестой главе применяются аналогичные методы, но для частного случая ИСЗ Фотон-12. Был найден участок полета, где собственный кинетический момент ИСЗ был близок к нормали плоскости орбиты – низкочастотная составляющая оказалась мала. А высокочастотную составляющую удалось аппроксимировать решениями, продолженными из класса коротко-периодических решений Ляпунова, существующих в окрестности точек стационарного решения приведенных уравнений движения оси симметрии спутника.

Диссертация в целом представляется законченной научно-исследовательской работой, содержащей **новые важные научные результаты**. Результаты опубликованы и докладывались на конференциях и

научно-исследовательских семинарах. Всего по теме диссертации опубликовано девять работ, из них три – в журнале «Космические исследования», четыре в виде препринтов ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Такого рода исследования значимы не только в практическом смысле, так как содержат **новые** апробированные методы моделирования вращательного движения космических аппаратов, но и в теоретическом, за счет вклада в развитие теории относительного движения искусственных спутников Земли. На основании этого можно сделать вывод об **актуальности** темы представляемой к защите диссертационной работы.

По исследованию имеются следующие замечания:

1. На стр. 21 автор вводит термин псевдоизмерения, но не дает ему определения. Впрочем, понять значение термина можно из дальнейших рассуждений.
2. Числовые характеристики оценок, полученных МНК, вычисляются в классических предположениях модели регрессии. Однако, теоретико-вероятностное обоснование их выполнения требует дополнительного обсуждения.
3. В работе не был исследован вопрос об условиях принципиальной возможности оценки вектора состояния системы уравнений движения спутника по выходу – измерениям магнитометров, т. е. не был проведен анализ наблюдаемости.

Вместе с тем, указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Считаю, что диссертация Д.М. Буланова «Исследование эволюции вращательного движения искусственного спутника Земли» отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых

степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Буланов Денис Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры ФН-12 «Математическое моделирование»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана),
Панкратов Владимир Александрович

«5» июня 2022 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (499) 263-6750; e-mail: v.a.pankratov@bmstu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

Защищена диссертация:

01.02.01 – «Теоретическая механика»

Адрес места работы:

105085, Москва, Рубцовская набережная, д.2/18, Учебно-лабораторный корпус МГТУ имени Н. Э. Баумана, кафедра ФН-12 «Математическое моделирование»

Тел.: +7 (499) 263-6750; e-mail: mathmod@bmstu.ru

Подпись Панкратова В. А. удостоверяю

Кадровый работник, либо ученый секретарь ученого совета научного/образовательного учреждения



А. Г. Матвеев

ТЕЛ: 8499-263-67-69