



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)



125047, Москва, Миусская пл., 4 Тел. 8 (499) 978-13-14 Факс 8 (499) 972-07-37 <https://keldysh.ru> e-mail: office@keldysh.ru
ОКПО 02699381 ОГРН 1037739115787 ИНН/КПП 7710063939/771001001

21.05.2026 № 11103-9422/411
На № 604-10-665 от 28.04.2026

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)

Проректору по учебной работе,
доктору технических наук,
доценту А.В. Иванову

125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Уважаемый Андрей Владимирович!

Направляю Вам отзыв ведущей организации на диссертацию Ковалевой Марины Владимировны на тему «Совершенствование алгоритмов обработки траекторных измерений и методик обеспечения гарантированной точности определения и прогнозирования траектории космического аппарата», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Приложение: Отзыв ведущей организации на 6 л., 2 экз.

Директор
чл.-корр. РАН

М.В. Якововский

Исполнитель: Боровин Г.К., тел. +7 (499) 220-79-36

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«26» 05 2026г.

"УТВЕРЖДАЮ"

Директор
Института прикладной математики
им. М.В. Келдыша РАН,
цп -корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.



М.В. Якобовский

" 21 " *Май* 2026 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертацию Ковалевой Марины Владимировны
на тему: «Совершенствование алгоритмов обработки траекторных измерений
и методик обеспечения гарантированной точности определения
и прогнозирования траектории космического аппарата», представленную
на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности
2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов
(технические науки)

Баллистико-навигационное обеспечение космических полётов успешно развивается на протяжении многих десятилетий. Но появляются всё новые «вызовы»: растёт «заселённость» околоземного космического пространства, модернизируются средства навигации, вступают в эксплуатацию новые типы двигателей, растёт производительность средств вычислительной техники, разрабатываются всё более сложные модели физических полей и атмосферы. Все эти факторы приводят к необходимости совершенствования алгоритмов, лежащих в основе баллистико-навигационного обеспечения полётов космических аппаратов. Поэтому **актуальность** темы диссертации не вызывает сомнений.

Структура диссертации следующая: она состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и одного приложения.

Во введении автор обосновывает актуальность выбранной темы диссертации, определяет объект и предмет исследования, формулирует цели и задачи работы, приводит основные положения диссертации, выносимые на защиту, указывает на практическую значимость работы.

В первой главе представлены используемые системы координат и уравнения динамики космического аппарата. Для внешнетраекторных измерений автором предложена и подробно описана методика отбраковки аномальных измерений на основе использования кластерного анализа. Проведено сравнение с другими методами отбраковки аномальных измерений.

В первой главе также рассматривается модифицированный метод Эверхарта для численного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Этот метод хорошо себя зарекомендовал для решения задач небесной механики. В диссертации предложен метод автоматического выбора шага интегрирования, что позволяет ускорить решение систем дифференциальных уравнений без потери точности. Для интерполяции векторов положения, скорости и ускорения космического аппарата (КА) предлагается использовать полиномы Эрмита. С этой целью из общей формулы для полиномов Эрмита получены конкретные формулы для интерполяции положения, скорости и ускорения КА.

Во второй главе подробно изложена верификация модифицированного алгоритма Эверхарта, описанного в первой главе. Проведено сравнение с методом Рунге – Кутты четвёртого порядка. Оценка точности работы средств навигации в околоземном пространстве и дальнем космосе проведена с использованием аппарата ковариационных матриц. Проведено сравнение точности работы средств измерения текущих значений навигационных

параметров. Сравнение проведено для средств радиоконтроля, а также аппаратуры спутниковой навигации.

В третьей главе представлены методики обеспечения безопасности движения КА. Эта задача приобрела особую актуальность из-за быстро растущего количества объектов искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве. Задача решается в вероятностной постановке с учётом неопределённости в знании положения и скорости КА и космического объекта. Описанная в этой главе методика позволяет оценить вероятность столкновения КА с неуправляемым космическим объектом, а также рассчитать вероятность их безопасного пролёта друг относительно друга.

В четвёртой главе приведены результаты моделирования окололунных орбит под действием возмущающих факторов и с использованием различных математических моделей гравитационного поля Луны. Исследованы особенности полёта КА на полярных орбитах. Здесь также исследовано влияние притяжения других планет и солнечного давления. Для околоземных орбит исследовано воздействие атмосферы Земли. На основе результатов моделирования в диссертации приведены рекомендации, которые могут принести пользу при проектировании околоземных и окололунных орбит.

Методики, представленные в диссертации, имеют существенное **научное и практическое значение** для повседневной работы специалистов в области баллистико-навигационного обеспечения космических полётов. Большое внимание в диссертации уделено орбитальным группировкам космических аппаратов.

Наряду с общим положительным впечатлением от диссертационной работы нельзя обойти вниманием некоторые дискуссионные положения, содержащиеся в диссертации, а также недостатки её оформления. К работе имеется ряд **замечаний**.

1. С. 37. Обычно под фильтрацией понимают выделение сигнала из его «смеси» со случайным шумом. См., например, энциклопедию «Вероятность и

математическая статистика» (под ред. Ю.В. Прохорова, 1999, С. 621). В рецензируемой диссертации указано «Под фильтрацией будем понимать процесс идентификации и удаления аномальных траекторных измерений». Такое использование термина «фильтрация» расходится с общепринятым и может вызвать затруднения у читателя. Обычно используются термины «удаление выбросов», «удаление аномальных измерений», «удаление резко выделяющихся наблюдений».

2. С. 39. Формула для количества пар элементов множества мощности n

содержит опечатку: вместо $N = \frac{n^2 - 1}{2}$ должно быть $N = \frac{n^2 - n}{2}$.

3. С. 40. Автор использует термин «центроида» применительно к кластеру. Но здесь уместнее использовать термин «центроид».

4. С. 43. Автор проводит сравнение предлагаемого в диссертации метода отбраковки аномальных измерений на основе кластерного анализа с двумя другими методами. Метод на основе кластерного анализа удалил меньше измерений, чем традиционные методы. Делается вывод о его превосходстве. Но, можно сделать противоположный вывод, что традиционные методы удалили большее количество аномальных измерений и поэтому последующая обработка оставшихся измерений даст лучшие результаты. Чтобы избежать такого рода сомнений, автору следовало более тщательно и подробно описать подготовку исходных данных для эксперимента.

5. С. 144. В формуле

$$K_{PQ} = \begin{pmatrix} \sigma_{p_1} \cdot \sigma_{x_0} \cdot K_{11} \cdot \sigma_{p_1} \cdot \sigma_{y_0} \cdot K_{12} \dots \sigma_{p_1} \cdot \sigma_{z_0} \cdot K_{19} \\ \dots \\ \sigma_{p_9} \cdot \sigma_{x_0} \cdot K_{91} \cdot \sigma_{p_9} \cdot \sigma_{y_0} \cdot K_{92} \dots \sigma_{p_9} \cdot \sigma_{z_0} \cdot K_{99} \end{pmatrix}$$

пробелы между элементами матрицы ошибочно заменены знаками умножения. Формула должна иметь вид

$$K_{PQ} = \begin{pmatrix} \sigma_{p_1} \sigma_{x_0} K_{11} & \sigma_{p_1} \sigma_{y_0} K_{12} & \dots & \sigma_{p_1} \sigma_{z_0} K_{19} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{p_9} \sigma_{x_0} K_{91} & \sigma_{p_9} \sigma_{y_0} K_{92} & \dots & \sigma_{p_9} \sigma_{z_0} K_{99} \end{pmatrix}.$$

6. С. 184. На рисунках 4.4.1 и 4.4.2 показана эволюция параметров траектории КА под действием геомагнитной активности в 2009 году. Осталось неясным, почему для иллюстрации выбран именно 2009 год. Остальные расчёты в диссертации привязаны к современным датам.

7. С. 201. В списке литературы для статьи, приведённой под номером 5, указан только номер первой страницы (С. 3) вместо диапазона (С. 3–15).

Перечисленные замечания не ставят под сомнение новизну полученных результатов, их теоретическую и практическую значимость. Анализ материалов диссертации позволяет сделать вывод, что цель исследования достигнута.

Материал, изложенный в диссертации, соответствует специальности 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)». Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в научных журналах, в том числе рекомендованных ВАК для публикации статей соискателями учёной степени доктора или кандидата наук. Результаты работы докладывались на научных конференциях и семинарах.

Представленный выше анализ диссертации позволяет сделать **заключение** о том, что диссертация М.В. Ковалевой является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие космической отрасли. Диссертация соответствует требованиям п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (с последующими изменениями и дополнениями)), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Автор сделал два доклада по материалам диссертации на заседаниях семинара «Механика и управление движением космических аппаратов»

сектора № 2 отдела № 5 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (протоколы № 256 от 26.03.2025 и № 274 от 25.03.2026). Доклады вызвали большой интерес аудитории и в целом были одобрены.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании семинара сектора № 2 отдела № 5 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (протокол № 278 от 20.05.2026).

И.о. зав. отделом № 5
«Механика космического полёта
и управление движением»

г.н.с., д.ф.-м.н.

Боровин Геннадий Константинович

И.о. зав. сектором № 2
«Механика и управление движением
космических аппаратов» отдела № 5

г.н.с., д.ф.-м.н.

Тучин Андрей Георгиевич

с.н.с., к.т.н.

Лавренов Сергей Михайлович

Сведения о ведущей организации

Полное наименование: Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Сокращённое наименование: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Адрес: 125047, Российская Федерация, г. Москва, Миусская пл., 4.

Телефон: +7 (499) 978-13-14. *Факс:* +7 (499) 972-07-37.

Адрес электронной почты: office@keldysh.ru. *Сайт:* https://keldysh.ru

С отзывами ознакомлена 26.05.2026. К.В. Ковалева И.В.