

**ОТЗЫВ официального оппонента  
о диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
Блинковой Евгении Владимировны  
на тему: «Исследование динамической структуры низкоорбитальной  
области околоземного космического пространства»  
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Тематика диссертационной работы Е.В.Блинковой является весьма **актуальной**. Активное освоение околоземного космического пространства и размещением в нем крупных спутниковых группировок приводят к значительному росту числа объектов, как активных, так и относящихся к космическому мусору. Для решения задач, связанных с прогнозированием движения околоземных объектов, выбором орбит для размещения завершивших работу спутников, проектированием перспективных крупных спутниковых систем, оценкой рисков столкновений объектов и других задач, требуется знание динамической структуры околоземного космического пространства. В настоящее время особое внимание уделяется низкоорбитальной околоземной области, поскольку именно там происходит самый быстрый рост количества объектов. Это подчеркивает актуальность темы представленной диссертационной работы.

Основные результаты диссертации получены на основе численного моделирования движения искусственных спутников Земли и последующего численно-аналитического анализа. Используемая численная модель является одной из наиболее полных с точки зрения учета возмущающих факторов и наиболее точных с точки зрения численного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих движение спутника, не только в России, но и в мире. Это обеспечивает достоверность результатов, получаемых с помощью данной численной модели. Методы численно-аналитического анализа по выявлению резонансов детально описаны и проиллюстрированы графиками. Проведенный анализ эволюции критических аргументов и частот орбитальных и вековых резонансов, в том числе

вызываемых влиянием светового давления, а также параметра MEGNO, характеризующего стохастические свойства системы, и эволюции элементов орбит как для модельных объектов, так и для объектов с начальными условиями, соответствующими реальным объектам, позволяет считать **выносимые на защиту положения, научные выводы и рекомендации обоснованными.**

**Достоверность** полученных автором диссертации результатов не вызывает сомнений. Выносимые на защиту результаты являются новыми, опубликованы в научной печати и прошли апробацию, подтвердившую их значимость и новизну. К **новым** можно отнести следующие результаты.

- Полное описание структуры орбитальных резонансов 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 и 1:11 со скоростью вращения Земли.
- Самое полное на сегодняшний день описание структуры вековых резонансов низкоорбитальной области от 8000 км до 21000 км по большой полуоси и от 0° до 180° по наклонению.
- Вывод, что действие вековых резонансов, связанных со средним движением Солнца, усиливает влияние светового давления.
- Вывод, что действие светового давления способно менять структуру вековых резонансов объекта.
- Примеры хаотизации движения объектов с начальными условиями, соответствующими орбитам реальных объектов, движущихся в условиях наложения резонансов различных типов.

По работе можно высказать лишь несколько замечаний непринципиального характера.

1. При описании актуальности работы говорится от почти 13 тыс. объектов, отслеживаемых в околоземном космическом пространстве. Эта оценка требует уточнения. Система контроля космического пространства США по состоянию на 04.02.2023 отслеживает 26457 объектов (Space Missions and Satellite Box Score // Orbital Debris Quarterly News. 2023. V. 27. Iss. 1. P. 14). Указанное в диссертации

значение соответствует количеству объектов в открытой части каталога NORAD.

2. Желательно пояснить, почему в модели возмущающих сил установлено ограничение на учет гармоник гравитационного потенциала Земли до 10 порядка и степени?
3. В диссертации рассматриваются орбитальные резонансы вида  $1:k$ . Желательно пояснить, представляют ли интерес в рамках рассматриваемой задачи орбитальные резонансы вида  $2:k$ ,  $3:k$  и т. д.?
4. Анализ рисунка 58 вызывает сомнение в наличии резонанса со средним движением Солнца для объекта COSMOS 2437 (32954). Скорость изменения критического аргумента отрицательна на всем интервале, а критический аргумент является убывающей функцией. Интервал 3 года не достаточен, чтобы критический аргумент завершил период циркуляции. Период циркуляции критического аргумента составляет примерно 3.5 года.
5. Аналогичные сомнения в наличии резонансов вызывают рисунки 61а, 61б, 61г, 69 и 72б. Критический аргумент циркулирует с большим периодом. Система находится вблизи внешней границы резонанса, рядом с сепаратрисой. Возможно, именно эта близость к сепаратресе и связанными с ней стохастическими слоями приводит к росту показателя MEGNO.
6. Учитывались ли при анализе динамики реальных избранных объектов их массы и размеры для оценки парусности объектов или для всех спутников использовалось одно и то же значение парусности? Это важно, поскольку амплитуды и периоды колебаний элементов орбиты зависят от значения парусности.
7. На с. 76 говорится: «Положения всех восьми объектов представлены в таблице 5.», но в таблице 5 даны только два элемента орбиты (большая полуось и наклон, период вычисляется на основе большой полуоси) из шести и не указана эпоха элементов.

Имеются небольшие замечания по представлению результатов работы.

1. После формул регулярно встречаются абзацные отступы, хотя абзац, а иногда и предложение, еще не закончены.
2. На с. 13 скобки в формуле  $\mu = k^{-2} (M)$  вводят в заблуждение. Ранее, в начале раздела 1.1 символом  $M$  были обозначены центральное тело и его масса. Универсальная гравитационная постоянная  $k^{-2}$  не является функцией центрального тела или его массы. В этом случае в правой части должно стоять произведение гравитационной постоянной на массу. Почему масса дана в скобках?
3. В пояснении к последней формуле на с. 13 не указано, что вектор  $\mathbf{r}'$  является вектором положения спутника во вращающейся системе координат.
4. На с. 14 в формуле (1.5) появляется мнимая единица  $i$ , но это не объясняется.
5. На с. 14–15 в формуле (1.6) операция взятия вещественной части комплексного числа обозначена через  $\text{Re}$ , а в формуле (1.9) как  $\text{Real}$ .
6. На с. 15 в пояснении к формуле (1.10) неверно записано выражение для  $r'$ . Расстояние  $r'$  — модуль вектора положения возмущающего тела.
7. На с. 16 в формуле (1.11) параметр  $q$  — это солнечная постоянная, деленная на скорость света. Аналогичное замечание относится и к формуле (2.16).
8. На с. 16 в пояснении к формуле (1.13) появляются переменные  $R_2, \Delta_2, a_1, x_2, \Delta'$ , которые не описаны.
9. На с. 16–17 в формуле (1.13) функция полутени обозначена через  $\Psi_c$ , а в пояснении к этой формуле для функции полутени используется обозначение  $\delta_c$ .
10. На с. 68, строка 6 сверху, нарушено согласование членов предложения:  
«... к хаотизации приводят наложение точечных вековых резонансов  
...»

11. На с. 73, строка 8 сверху: не указана единица измерения скорости долготы восходящего узла Луны.
12. При описании фазовых портретов на рисунке 47 отсутствует определение параметров  $x$  и  $y$ .
13. Подписи к рисункам 50 и 51: пояснения «с учетом атмосферы», «без учета атмосферы» следует расположить до описаний частей а) и б) рисунков. Текущие варианты подписей к рисункам, без чтения описания рисунков в тексте, допускают двоякое толкование.
14. В тексте при описании объекта COSMOS 2251 DEB(35824) дана ссылка на рисунок 61, а в подписи к рисунку 61 указан объект LATINSAT A(27612).
15. На с. 85, строка 5 сверху, нарушено согласование членов предложения: «не действуют вековых резонансов».

В работе имеется ряд опечаток, привожу некоторые из них.

1. На с. 26 в формуле (2.28) пропущен индекс у  $J_2$ .
2. Подпись к рисунку 56: «м)» заменить на «в)».
3. В подписи к рисунку А.26б присутствует лишний индекс S.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (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 требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Блинкова Евгения Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,  
ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ астрономии, геодезии,  
экологии и мониторинга окружающей среды  
Института естественных наук и математики  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
КУЗНЕЦОВ Эдуард Дмитриевич

7 июня 2023 г.

Контактные данные:

e-mail: [eduard.kuznetsov@urfu.ru](mailto:eduard.kuznetsov@urfu.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

01.03.01 — Астрометрия и небесная механика

Адрес места работы:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19,  
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО  
ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА, Институт естественных наук и  
математики, кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга  
окружающей среды  
Тел.: 7(343)3899587; e-mail: [contact@urfu.ru](mailto:contact@urfu.ru)

Подпись сотрудника

УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ПЕРВОГО  
ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА Э.Д. Кузнецова удостоверяю: