

Отзыв научного руководителя на диссертационную работу
Блинковой Евгении Владимировны
«Исследование динамической структуры низкоорбитальной области
околоземного космического пространства»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.1. «Физика космоса, астрономия»

Актуальность.

В результате 60 летней деятельности человека в космосе на околоземных орбитах осталось большое количество космического мусора, состоящего из отслуживших свой срок космические аппараты (КА), отработавших верхних ступеней ракет-носителей, и их фрагментов, образовавшихся в результате преднамеренных или самопроизвольных взрывов на орбитах или при столкновениях космических аппаратов. Эта совокупность неуправляемых объектов стала частью околоземной космической среды и эволюционирует по законам небесной механики. Исследование динамики совокупности околоземных объектов представляет как теоретический, так и практический интерес. С теоретической познавательной точки зрения совокупность околоземных объектов представляет собой весьма интересную динамическую систему, в которой эволюционные процессы идут достаточно быстро, что позволяет отслеживать их в реальном времени. С практической точки зрения знание особенностей эволюции околоземных объектов позволит эффективно решать проблему утилизации отработавших космических аппаратов.

Таким образом, тема представляемой диссертации весьма актуальна.

Цель работы.

Целью данной работы является исследование динамической структуры низкоорбитального околоземного пространства и выявление особенностей орбитальной эволюции объектов, движущихся в данной области околоземного пространства.

В работе рассмотрена низкоорбитальная область ОКП (в диапазоне по большой полуоси от 8000 до 21000 км), которая является наиболее заселенной в ОКП, как работающими аппаратами, так и космическим мусором.

В процессе работы решены следующие задачи:

– определена структура орбитальных резонансов, действующих в рассматриваемой области околоземного пространства;

- исследованы с использованием быстрой ляпуновской характеристики MEGNO динамические структуры зон каждого из исследуемых орбитальных резонансов и построены соответствующие карты;
- произведен анализ вековых резонансов и построены карты размещения вековых резонансов во внерезонансной зоне пространства, и отдельно по каждой из зон действия орбитальных резонансов;
- изучена особенность движения объектов под действием светового давления, при одновременном влиянии вековых резонансов, связанных со средним движением Солнца;
- на все карты нанесены положения реальных объектов, взятые из каталога NORAD, который ведет командование воздушно-космической обороны Северной Америки;
- выявлены особенности динамической эволюции орбит реальных объектов под действием резонансов.

Научная новизна работы

Научная новизна работы состоит в следующем:

- обобщены результаты, полученные Э. Д. Кузнецовым для резонанса 1:2, по нахождению четвертой и пятой компонент орбитального резонансного мультиплета;
- исследована полная резонансная структура низкоорбитальной области ОКП: рассмотрены резонансы 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 и 1:11 со скоростью вращения Земли, а также вековые и полuveковые резонансы;
- показано, что наличие пятикомпонентного мультиплета в орбитальном резонансе прослеживается в подавляющем большинстве рассмотренных резонансов.
- изучены особенности динамики объектов в условиях наложения резонансов различных типов;
- показано, что действие светового давления способно менять структуру вековых резонансов в динамике объекта;
- выявлены реальные объекты, которые подвержены действию резонансов различных типов, в результате чего их орбита становится непрогнозируемой на длительных интервалах времени при отключении этих аппаратов от управления.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты исследования резонансной структуры целой области ОКП являются

частью фундаментальных знаний о среде окружающей человечество. Поэтому теоретическая значимость работа сомнений не вызывает. В тоже время эти результаты имеют вполне определенную практическую ценность

В работе представлены динамические карты исследуемой области, что наглядно показывает зоны высокой и низкой хаотизации движения объектов. На особенности орбитальной эволюции объектов рассматриваемой области ОКП влияют вековые и орбитальные резонансы, которые подробно изучены в работе. Данные исследования позволяют сделать вывод о том, какие области низкоорбитального пространства можно использовать для паркинга или утилизации отработавших объектов, а какие области следует использовать с особой осторожностью.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников (45 наименований) и одного приложения, содержит 107 рисунков и 5 таблиц. Общий объем работы составляет 112 страниц.

В первой главе дается описание используемой численной модели движения ИСЗ. Рассматриваются уравнения движения и математическая модель возмущающих сил, связанных с несферичностью гeопотенциала, влиянием Луны и Солнца, а также с действием светового давления.

Во второй главе приводится описание используемых методов. Дается описание алгоритма вычисления быстрой ляпуновской характеристики MEGNO путем совместного интегрирования уравнений движения и уравнений параметров для вычисления MEGNO.

Вычисление резонансных характеристик движения основано на интегрировании уравнений движения с помощью «Численной модели движения систем ИСЗ», численном и аналитическом определении частот движения околоземных объектов с последующим анализом, получаемых временных рядов.

Третья глава полностью посвящена изложению полученных результатов.

В подразделе 3.1 дано описание общей резонансной структуры низкоорбитальной области. Исследовано и представлено в виде соответствующих карт распределение орбитальных резонансов 4-12 порядков, вековых апсидально-нодальных резонансов 1-6 порядков и полuveковых резонансов со средним движением третьего тела 2-5 порядков. Показано, что наиболее плотно область покрывают вековые апсидально-нодальные резонансы, связанные с прецессией орбиты Луны. Отмечена что нодальный резонанс, как для Солнца, так и для Луны пронизывает все рассмотренное пространство при наклонениях 0° , 90° и 180° . Рассмотрена эволюция элементов орбит объектов под действием этого резонанса.

Подразделы 3.2–3.5 посвящены детальному описанию динамических структур областей орбитальных резонансов от 1:3 до 1:11. Здесь представлены карты всех действующих в областях резонансов, а также MEGNO - карты областей. На карты резонансов нанесены положения реальных объектов из каталога Norad и исследована орбитальная эволюция объектов, попадающих в зоны резонансов.

Подраздел 3.6 связан с исследованием динамики объектов под действием светового давления и вековых резонансов. Здесь проверено и подтверждено численными методами предположение, высказанное в работе (Alessi et al., 2018), что действие вековых резонансов, связанных со средним движением Солнца, усиливает влияние светового давления. Кроме того показано, что влияние светового давления может менять структуру резонансных возмущений объекта.

В подразделе 3.7 обсуждаются особенности динамики объектов, движущихся в рассматриваемой области орбитального пространства рвне зон орбитальных резонансов.

В подразделе 3.8 дан анализ динамики избранных реальных объектов из каталога Norad, попадающих в области действия изучаемых резонансов.

В подразделе 3.9 представлены выводы, сделанные автором на основании проведенных исследований. Наиболее значимые из них состоят в следующем.

Пятикомпонентная структура мультиплета орбитального резонанса подтверждается для большинства рассмотренных резонансов.

Орбитальные резонансы могут способствовать появлению хаоса в движении объектов за счет наложения компонент собственного резонансного мультиплета и во взаимодействии с резонансами других типов

Апсидально-нодальные резонансы пронизывают всю рассматриваемую область, причем резонансы, связанные с прецессией орбиты Луны более плотно покрывают рассматриваемую область орбитального пространства, чем аналогичные резонансы, связанные с Солнцем;

Нодальный резонанс устойчив и для Солнца, и для Луны на всем диапазоне больших полуосей при трех значениях наклона 0° , 90° и 180° .

В областях резонансов 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8 и 1:9 со скоростью вращения Земли хаотизация движения происходит по линии действия второй компоненты орбитального резонанса, в результате наложения на нее резонансов различных типов.

Совместное действие светового давления и резонансов со средним движением Солнца может способствовать росту амплитуды колебаний эксцентриситета. Более того, световое давление способствует более раннему проявлению действия вековых резонансов и способно менять структуру резонансных возмущений объекта.

В заключении перечислены основные результаты, представленные в диссертационной работе.

Следует отметить, что результаты, вошедшие в диссертационную работу Блинковой Е.В., являются частью большой работы по построению динамической структуры всей внеатмосферной зоны ОКП вплоть до сферы притяжения Луны, выполняемой коллективом небесных механиков Томского университета в течение последних 4 лет в рамках грантов РФФИ и РНФ. Диссертант принимала и принимает в этой работе самое активное участие.

По результатам исследования Блинковой Е.В. опубликовано 15 работ. Из них 5 включены в международные базы данных научного цитирования Scopus/Web of Science/RSCI и 10 публикаций в сборниках материалов конференций. Работа докладывалась на 10 научных конференциях высокого уровня.

Таким образом, диссертационная работа Блинковой Е.В. представляет собой законченное научное исследование. Автором решена актуальная научно-практическая задача по исследованию резонансной структуры низкоорбитальной области ОКП и ее влияния на орбитальную эволюцию околоземных космических объектов. В процессе решения данной задачи Блинковой Е.В. получен ряд интересных теоретических и практических результатов.

Считаю, что диссертация Блинковой Е.В. «Исследование динамической структуры низкоорбитального околоземного космического пространства» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым МГУ к кандидатским диссертациям, и может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки).

Научный руководитель,
д.ф.-м.н., профессор,
профессор кафедры астрономии
и космической геодезии,
Томского государственного
университета

Бордовицына Т.В.
14.03.2023г.

ДОСТОВЕРЯЮ
ДОКУМЕНТОВЕД
ГРИНКО И.В.