

## ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Доброславского Александра Владимировича «Исследование усредненных движений КА в ограниченной задаче трех тел с учетом сил светового давления», представляемой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

Диссертационная работа Доброславского Александра Владимировича посвящена исследованием в области небесной механики и направлена на разработку математической модели ограниченной задачи трех тел в случае воздействия на объект светового давления. Разработка вычислительных моделей, позволяющих учитывать фотогравитационное воздействие в ограниченной задаче трех тел при движении объектов большой парусности, в настоящее время имеет большую актуальность в связи с исследованием движения космического мусора на высоких орбитах. Также в настоящее время практически отсутствуют работы, посвященные описанию совместного воздействия сил светового давления и гравитационного притяжения со стороны двух небесных тел на невозмущенное кеплеровское движение спутника на асимптотически больших интервалах времени.

В первой главе проводится исследование влияния зоны земной тени орбиты спутников, находящиеся в плоскости эклиптики во внешней сфере гравитационного влияния Земли. В результате численного моделирования было установлено, что увеличение большой полуоси орбиты спутника ведет к уменьшению среднего времени нахождения в земной тени. Также установлено влияние эксцентриситета: его увеличение приводит к увеличению среднего времени нахождения спутника в тени, хотя с приближением к внешней границе сферы гравитационного влияния Земли влияние уменьшается.

Во второй главе была исследована эволюция высоких орбит спутника Земли, принадлежащих плоскости эклиптики, под действием гравитационных возмущений от Солнца и светового давления. Получена возмущающая функция задачи при условии, что спутник является шаром, получено также среднее значение возмущающей функции в отсутствие резонансов между средним невозмущенным движением спутника и средним движением Солнца. Показано, что интегралами осредненных оскулирующих уравнений являются большая полуось орбиты спутника и среднее значение возмущающей функции. Подробно изучен хилловский вариант задачи, при котором расстояние до спутника много меньше расстояния между Землей и Солнцем.

В третьей главе рассмотрена плоская ограниченная планетная задача четырёх тел с учётом сил светового давления, когда орбита Земли – кеплеровский эллипс с фокусом в Солнце, орбита Луны – кеплеровский эллипс с фокусом в Земле, спутник – пассивно гравитирующее тело. Получена усреднённая силовая функция задачи в оскулирующих элементах в нерезонансном случае, когда невозмущённая орбита спутника Земли принадлежит внешней сфере гравитационного влияния Земли, расположенной за лунной сферой Хилла. Показано, что интегралами усреднённых уравнений

в оскулирующих элементах являются большая полуось орбиты спутника и среднее значение силовой функции. Исследованы стационарные режимы колебаний, их бифуркация в зависимости от коэффициента светового давления и большой полуоси невозмущенной орбиты спутника. Построены фазовые портреты колебаний при разных значениях коэффициента светового давления, в частности для бифуркационных значений. Показано, что существует два типа эволюционирующих орбит: орбиты либрационного и ротационного типов. Для орбит первого типа оскулирующие аргумент перигея и эксцентриситет меняются периодически, но с малыми амплитудами, орбита близка к траектории, отвечающей стационарной точке и сохраняющей значения своих невозмущенных кеплеровских элементов во всё время движения. Орбиты второго типа имеют непрерывно возрастающий аргумент перигея, и, как следствие, медленное вращение линии апсид оскулирующего эллипса, на которое накладывается медленное периодическое изменение эксцентриситета.

В четвертой главе рассмотрены пространственные оскулирующие эллиптические движения астероида бесконечно малой массы вокруг звезды (Солнца) под действием двух возмущений: гравитационного притяжения со стороны внешней планеты (Юпитера), движущейся по круговой орбите, и солнечного светового давления. Использована схема Гаусса двукратного усреднения возмущенной силовой функции задачи по долготе планеты и истинной аномалии невозмущенного движения спутника. Впервые получено явное аналитическое выражение усредненной силовой функции в виде ряда Фурье, коэффициенты которого выражаются через известные специальные функции.

Научная новизна заключается в следующем:

- найдены новые положения равновесия, а также новые области осциллирующих движений в плоскости орбиты по сравнению с классической ограниченной задачей трех тел.
- показано, что фотогравитационный случай приводит к бифуркации положения равновесия по параметру светового давления на спутник и по большой полуоси орбиты спутника в случае ограниченной планетной задачи четырех тел.
- доказано, что дважды усредненная силовая функция допускает, на основе применения формулы Парсевала, явное аналитическое представление через гипергеометрические функции, допускающие разложение в сходящиеся степенные ряды.
- построены фазовые портреты колебаний во втором, третьем и четвертом приближениях силовой функции.

Практическая значимость полученных в диссертационной работе результатов состоит в получении эффекта сдвига траекторий ИСЗ в сторону, более удаленную от Солнца, по сравнению с классической ограниченной задачей трех тел.

Достоверность полученных результатов обеспечивается строгим использованием математического аппарата теоретической и небесной

механики, применением классических аналитических и приближенно-аналитических методов исследования. Автореферат полностью и корректно отражает содержание диссертации.

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

1. П. 1. научной новизны нельзя, на мой взгляд, отнести к научной новизне как таковой: «...хорошо известны исследования двукратно усредненной классической ограниченной задачи трех тел. Для фотогравитационной задачи трех тел такие исследования являются новыми». Что нового здесь? Тоже самое можно сказать и о п.4. научной новизны: «Исследовано влияния конической тени на среднее движение спутника...». Результат исследований может иметь научную новизну, а не процесс получения результата. Остальные четыре пункта научной новизны хорошо сформулированы и весьма значимы.

2. Из раздела «Научная и практическая значимость» не ясно, какой(ие) пункт(ы) относятся к практической значимости.

3. Почему используются интеграл площадей (1.12) и уравнение Кеплера в разделах 1.4 и 1.5, когда эти соотношения не имеют никакого отношения к задаче трех тел? Тоже самое касается оскулирующих уравнений Лагранжа (2.22). Кроме того, в главе 2 *Эволюция движений спутника в плоской ограниченной задаче трех тел...* я, вообще, не нашел классических уравнений задачи трех тел. Это требует комментариев.

4. Допущения в п. 2.1: «Будем считать, что все тела движутся в одной плоскости, при этом тело  $P_1$  (Солнце) массы  $m_1$  обращается вокруг тела  $P_0$  массы  $m_0$  (Земля) по эллиптической орбите. Считаем также, что невозмущенная орбита пассивно-гравитирующего тела  $P$  (спутника-баллона) есть кеплеровский эллипс с фокусом в точке  $P_0$ . На спутник действуют гравитационные силы со стороны массивных тел  $P_0$  и  $P_1$ .» Другими словами, тела  $P$  и  $P_1$  (Солнце) обращаются вокруг Земли ( $P_2$ ). Солнце вращается вокруг общего центра масс системы Солнце-Земля, который находится вблизи Солнца, но никак не относительно Земли. И тело  $P$  не вращается в общем случае относительно Земли согласно задаче трех тел. На мой взгляд, допущения не должны искажать физическую картину изучаемого процесса. Если это не так, то автору необходимо было дать подробные объяснения.

5. Раздел 2.3 Гипергеометрические функции, на мой взгляд, уместно было разместить во начальной главе (например, *Методы и модели...*), поскольку этот материал вспомогательный и не имеет отношения у научным результат автора.

6. Стилистическое замечание. На двух соседних строках (стр. 34) написано: «...усреднённой возмущающей функции...Осредним возмущающую функцию». Лучше принять единое **У** или **О**.

7. В некоторых случаях, стиль написания вызывает недоумение, например, на стр. 72 «...частота  $\lambda$  не резонирует с частотой  $n$ ...». Почему бы не написать, что *рассматривается только нерезонансный случай*, и далее, объяснить это.

Несомненные достоинства работы:

- хороший язык написания и диссертация очень хорошо структурирована, поэтому ее легко читать;
- автор не забывал о верификации своих аналитических положений путем численного моделирования, например, в 4 главе на стр. 99 «Численно подтверждено, что ряд Фурье является асимптотическим и, как следствие, расходящийся ряд Фурье можно аппроксимировать аналитической функцией, состоящей из совокупности первых 20-ти членов этого ряда.».


Диссертация свидетельствует о высоких аналитических способностях и математической культуре автора.

После анализа диссертации и публикаций соискателя можно утверждать, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой проведено исследование имеющее практическую значимость в решении ограниченной задачи трех тел с учетом сил светового давления. Обоснованность основных положений, новизна и достоверность результатов не вызывают сомнения. Результаты диссертации опубликованы в 4 изданиях, рекомендованных ВАК и индексируемых в WoS и Scopus, докладывались на многочисленных конференциях.

Исходя из вышеизложенного, считаю, что представленная работа соответствует специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» и удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а ее автор, Доброславский Александр Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Асланов Владимир Степанович  «23» 03 2022 г.

Подпись <u>Асланова ВС</u> удостоверяю.
Начальник отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета

« 23 » марта



Почтовый адрес: 443086, г Самара,  
Московское шоссе, д. 34  
Тел. +7-927-688-97-91  
E-mail: [aslanov\\_vs@mail.ru](mailto:aslanov_vs@mail.ru)

С отзывом ознакомлен  
30.03.2022  
