

К ОБОСНОВАНИЮ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЕКОВЫХ РЕЗОНАНСОВ*

Н.А. Попандопуло, А.Г. Александрова, Т.В. Бордовицына

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Приводятся результаты обоснования численно-аналитической методики определения вековых частот в процессе выявления вековых резонансов в динамике околопланетных объектов. Представленная методика объединяет два подхода: традиционный аналитический и численный. Каждый из подходов имеет свои особенности: аналитический подход не пригоден при работе с большими эксцентриситетами, поскольку использует формулы, полученные для малых эксцентриситетов, а формулы, реализующие численный подход, имеют неустраняемые особенности при малых эксцентриситетах и наклонах орбит. Поскольку особенностью влияния вековых резонансов является рост эксцентриситетов от нулевых значений до значений, близких к единице, объединение этих двух подходов позволяет получать надежные результаты, что подтверждается примерами исследования влияния вековых резонансов на динамику окололунных объектов.

Ключевые слова: вековые резонансы, численное моделирование, динамика искусственных спутников Луны, орбитальная эволюция.

Введение

Настоящая работа написана с целью дальнейшего обоснования методик вычисления вековых частот при исследовании влияния вековых резонансов на динамику околопланетных объектов. Традиционно для этой цели используется аналитический подход [1–4]. Численно-аналитическая методика, применяемая в работах [5, 6], предполагает численное моделирование движения и аналитический способ вычисления частот. Полностью численная методика выявления и исследования вековых резонансов в динамике околопланетных объектов была предложена в работе [7]. Практическое ее применение показало, что у чисто численного подхода тоже есть недостаток: уравнения Ньютона – Эйлера [8] имеют особенности при малых значениях эксцентриситетов и наклонов орбит. Поэтому мы сочли целесообразным объединить методики и использовать аналитические формулы, полученные для малых эксцентриситетов, на участках орбиты, где эксцентриситет мал.

В предыдущей работе [7] мы рассматривали эффективность численного подхода на примере исследования резонанса Лидова – Козаи в динамике околоземных объектов. В настоящей работе мы анализируем совместное использование аналитического и численного подходов, расширяем спектр рассматриваемых вековых резонансов, а также меняем область применения представляемой методики на исследование динамической эволюции окололунных объектов. Численное моделирование движения искусственных спутников Луны (ИСЛ) проводится с помощью разработанного авторами программно-математического комплекса «Численная модель движения ИСЛ» [9].

1. Численно-аналитическая методика

Исследование структуры вековых резонансов осуществляется по следующей схеме.

1. Изучается эволюция во времени резонансных (критических) аргументов, полученных из аргументов возмущающей функции для однократно и двукратно осредненной ограниченной задачи трех тел

$$\underline{\psi} = (l - 2p' + q')M' + (l - 2p)\omega - (l - 2p')\omega' + \bar{m}(\Omega - \Omega'), \quad (1)$$

$$\underline{\underline{\psi}} = (l - 2p)\omega - (l - 2p')\omega' + \bar{m}(\Omega - \Omega'). \quad (2)$$

2. Оценивается степень близости к нулю полученных по формулам (1), (2) резонансных соотношений [10]:

$$\underline{\dot{\psi}} \approx 0, \quad \underline{\underline{\dot{\psi}}} \approx 0. \quad (3)$$

Здесь обозначения элементов орбит общепринятые, при этом элементы, обозначенные штрихом, относятся к третьему телу, а без штриха – к спутнику; $l, p, p', \bar{m}, q'$ – целочисленные индексы.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-72-10022).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>