

* *
*

УДК 521.1

DOI: 10.17223/00213411/63/1/57

А.Г. АЛЕКСАНДРОВА, Т.В. БОРДОВИЦЫНА, Н.А. ПОПАНДОПУЛО, И.В. ТОМИЛОВА

НОВЫЙ ПОДХОД К ВЫЧИСЛЕНИЮ ВЕКОВЫХ ЧАСТОТ В ДИНАМИКЕ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОРБИТАХ С БОЛЬШИМИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ *

Излагается модифицированная методика выявления и исследования вековых резонансов в динамике околоземных объектов. В отличие от традиционно используемого подхода, основанного на приближенных аналитических формулах вычисления вековых частот, справедливых только для малых эксцентриситетов, в предлагаемой методике используются точные значения, получаемые в процессе численного моделирования движения из уравнений Ньютона – Эйлера. Данная методика может использоваться в анализе динамики объектов с любыми эксцентриситетами орбит, но наиболее интересно ее применение к исследованию движения по орбитам с большими или быстро растущими эксцентриситетами. Тестирование проводится на примере исследования резонанса Лидова – Козаи в динамике околоземных объектов

Ключевые слова: численное моделирование, околоземные объекты, вековые резонансы, уточненная методика исследования, результаты применения.

Введение

Традиционно исследование вековых резонансов осуществляется с помощью аналитической [1–4] или численно-аналитической [5, 6] методик. И в том, и в другом случаях для вычисления вековых частот используются приближенные аналитические формулы, полученные для орбит с малыми эксцентриситетами [7]. Особенностью влияния вековых, в первую очередь, апсидально-нодальных резонансов, является рост эксцентриситета [8]. В этом случае применение аналитических формул для описания эволюции резонансных соотношений оказывается некорректным, хотя при изначально малом эксцентриситете эти формулы позволяют установить сам факт наличия векового резонанса. Однако, в тех случаях, когда начальный эксцентриситет велик, эти формулы могут давать оценки, далекие от реальности.

При применении численного моделирования движения представляется более целесообразным вычислять значения вековых частот с той же точностью, с которой вычисляются элементы орбиты, используя для этого уравнения Ньютона – Эйлера [7].

В качестве демонстрационного материала в настоящей работе используются результаты исследования динамической эволюции околоземных космических объектов из различных областей околоземного пространства, в том числе, на вытянутых и приполярных орбитах. Сопоставляются результаты, полученные по новой уточненной методике, с результатами, полученными по ранее применяемой [5, 6]. Структура экспериментов описана в [8–10]. Моделирование динамической эволюции объектов проводилось на интервале времени 100 лет с помощью модифицированной версии «Численной модели движения систем ИСЗ», реализованной на кластере ТГУ «СКИФ Cyberia». Описание последней версии можно найти в работе [11].

1. Модифицированная методика исследования вековых резонансов

Традиционно для выявления и исследования вековых резонансов в динамике околоземных объектов используется методика, представленная ниже.

Условия возникновения вековых резонансов выводятся с использованием аргументов возмущающих функций для однократно и двукратно осредненной ограниченной задачи трех тел, записанных в виде

$$\begin{aligned}\underline{\psi} &= (l - 2p' + q')M_{L,S} - (l - 2p)\omega + (l - 2p')\omega_{L,S} - \bar{m}(\Omega - \Omega_{L,S}), \\ \underline{\underline{\psi}} &= (l - 2p')\omega_{L,S} - (l - 2p)\omega - \bar{m}(\Omega - \Omega_{L,S}),\end{aligned}\tag{1}$$

* 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://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>