УДК 521.1

Т.В. БОРДОВИЦЫНА, И.В. ТОМИЛОВА

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РЕЗОНАНСНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НАВИГАЦИОННЫХ ИСЗ[1]

Ключевые слова: *искусственные спутники Земли, вековые резонансы, динамическая эволюция.*

В [1] была представлена долговременная орбитальная эволюция неуправляемых объектов навигационных систем ГЛОНАСС и GPS на интервале времени 500 лет. Эта эволюция является следствием совместного действия резонансов различных типов. В данной работе приведена дополнительная информация, раскрывающая особенности этого действия.

Для объектов систем ГЛОНАСС и GPS из совокупности 29 резонансных соотношений (см. табл. 1 в [1]) были выделены те, которые переходят через нулевое значение на рассматриваемом интервале времени либо колеблются около этого значения. На рис. 1 – для объекта системы ГЛОНАСС, а на рис. 2 – для объекта системы GPS сопоставлены изменения резонансных соотношений и соответствующих им критических аргументов.

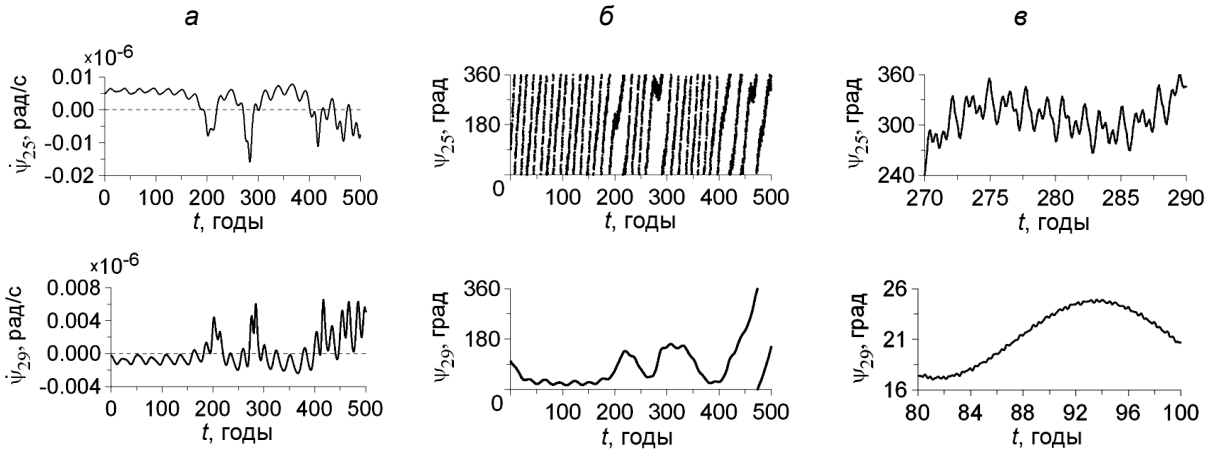

Рис. 1. Эволюция резонансных соотношений (*а*), соответствующих им критических аргументов (*б*) и фрагменты графиков (*б*) для объекта навигационной системы ГЛОНАСС (*в*)

Объект системы ГЛОНАСС проходит через два острых вековых резонанса: апсидально-нодальный резонанс $\underline{\underline{\dot{\psi}}}_{25} = \left(\dot{\Omega} - \dot{\Omega}'_M\right) - \dot{\omega} + \dot{\omega}'_M \approx 0$ и резонанс Лидова – Козаи $\underline{\underline{\dot{\psi}}}_{29} = \dot{\omega} \approx 0$, но только действие резонанса Лидова – Козаи можно считать устойчивым, поскольку его критический аргумент либрирует на интервале времени 400 лет, а в конце интервала переходит в режим циркуляции. Это, по-видимому, и приводит к появлению хаотичности в движении объекта на данном интервале эволюции (см. рис. 2 в [1]). Критический аргумент резонанса $\underline{\underline{\dot{\psi}}}_{25} \approx 0$ практически на всем временном интервале показывает циркуляцию с тремя кратковременными переходами в режим либрации. Влияние этого резонанса незначительно.

Объект системы GPS имеет три резонансных соотношения с номерами 12, 25 и 27, которые в процессе эволюции переходят через нулевые значения и из которых только вековой резонанс $\underline{\underline{\dot{\psi}}}_{12} = \left(\dot{\Omega} - \dot{\Omega}'_S\right) + 2\dot{\omega} - 2\dot{\omega}'_S \approx 0$ имеет устойчивое влияние на движение объекта. Критический аргумент, соответствующий $\underline{\underline{\dot{\psi}}}_{12}$, испытывает либрацию, которая нарушается в момент прохождения через орбитальный резонанс. Особенностью орбитальной эволюции рассматриваемого объекта системы GPS является его прохождение в процессе эволюции через орбитальный резонанс 2/1 со скоростью вращения Земли. На рис. 3 слева показаны изменения периода обращения объекта GPS и критического аргумента его орбитального резонанса на интервале времени 500 лет, а справа – фрагменты эволюции этих параметров на интервале времени, где объект неоднократно проходит через орбитальный резонанс.

[1] Работа выполнена в рамках Программы повышения конкурентоспособности ТГУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

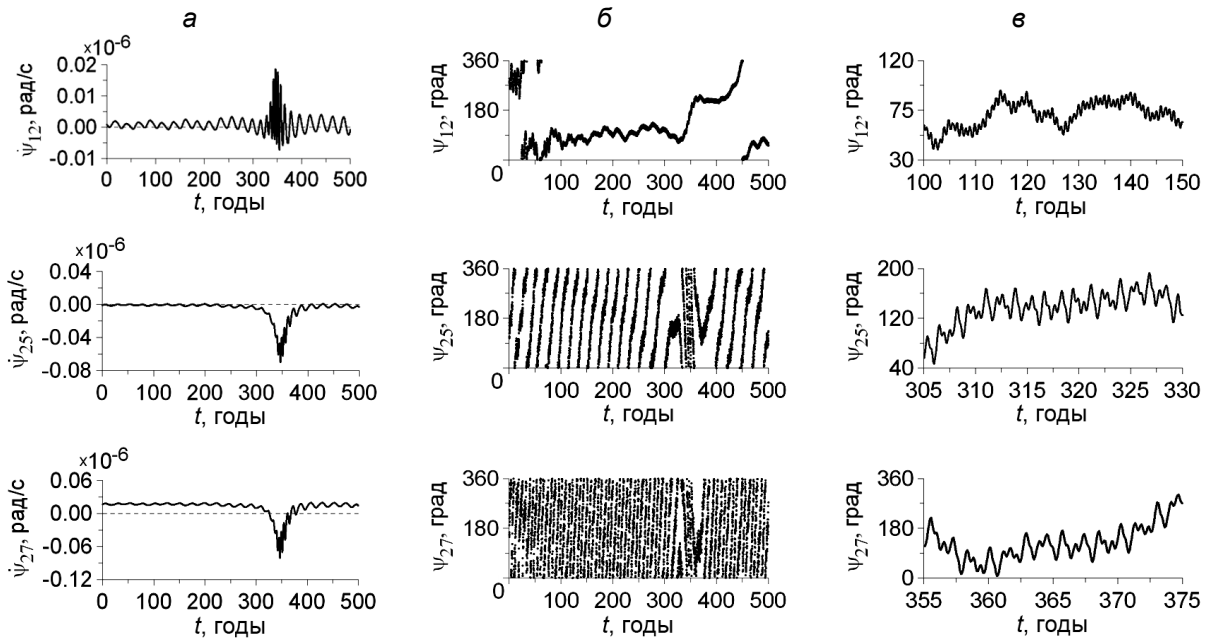

Рис. 2. Эволюция резонансных соотношений (*а*), соответствующих им критических аргументов (*б*) и фрагменты критических аргументов графиков (*в*) для объекта навигационной системы GPS

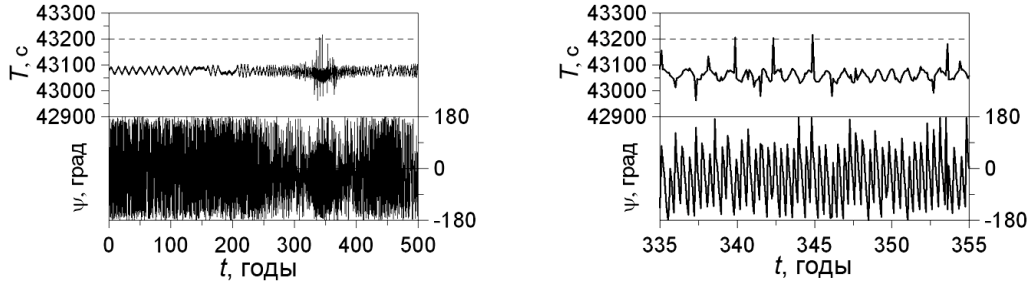

Рис. 3. Эволюция критического аргумента для орбитального резонанса

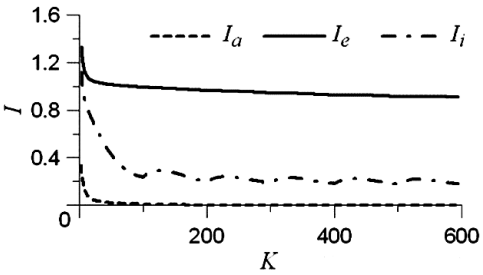

Рис. 4. Поведение интегральных автокорреляционных функций для большой полуоси *a*, эксцентриситета *e* и наклонения орбиты *i* объекта GPS

Как показывают данные [1] об орбитальной эволюции объекта, наложение устойчивого векового резонанса на неустойчивый орбитальный резонанс приводит к быстрой хаотизации движения. Автокорреляционный анализ эволюции основных орбитальных элементов объекта системы GPS (рис. 4) показал, что наибольшую степень стохастичности имеет большая полуось орбиты объекта.

Таким образом, приведенные в настоящем сообщении данные позволяют лучше понять особенности орбитальной эволюции неуправляемых объектов систем ГЛОНАСС и GPS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бордовицына Т.В., Томилова И.В., Чувашов И.Н. // Астрон. вест. – 2014. – Т. 48. – № 4. – С. 280–259.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
E-mail: tvbord@sibmail.com

Поступило в редакцию 15.12.14.

Бордовицына Татьяна Валентиновна, д.ф.-м.н., профессор;
Томилова Ирина Владимировна, мл. науч. сотр. НИИ ПММ ТГУ.