

Стационарные вращения динамически симметричного спутника в центральном гравитационном поле при наличии внутренней диссипации

Н.И. Амелькин, В.В. Холощак

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Стационарные вращения в центральном гравитационном поле исследовались ранее для спутника, моделируемого одним абсолютно твердым телом [1], и для твердого тела с полостями, заполненными вязкой жидкостью [2]. В данной работе в рамках ограниченной задачи (центр масс движется по неизменной кеплеровской круговой орбите) изучаются стационарные движения спутника, моделируемого системой из двух тел – несущего тела (оболочки) и однородного шарообразного несомого тела (демпфера), центр которого неподвижен относительно оболочки (модель М.А. Лаврентьева). Ранее в рамках такой модели исследовались стационарные движения тела при отсутствии внешнего момента сил [3], а также некоторые свойства движений спутника в центральном гравитационном поле в неограниченной задаче [4].

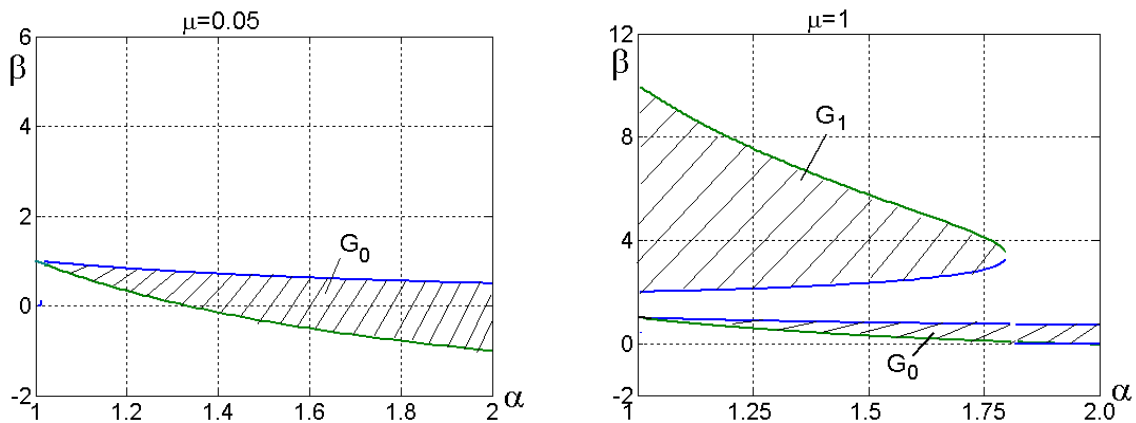
Уравнения вращательного движения спутника на круговой орбите записываются в виде

$$\begin{aligned}
 \mathbf{e}' &= \mathbf{u} \times \mathbf{e} \\
 (A - I)(\mathbf{n} \times \mathbf{u} + \mathbf{u}') + (C - A)[((\mathbf{n} \times \mathbf{u} + \mathbf{u}') \cdot \mathbf{e})\mathbf{e} + ((\mathbf{n} + \mathbf{u}) \cdot \mathbf{e})(\mathbf{n} + \mathbf{u}) \times \mathbf{e}] &= \\
 = \mu(\mathbf{v} - \mathbf{u}) + 3(A - C)(\mathbf{r} \cdot \mathbf{e})(\mathbf{e} \times \mathbf{r}) & \quad (1) \\
 I(\mathbf{n} \times \mathbf{v} + \mathbf{v}') &= -\mu(\mathbf{v} - \mathbf{u})
 \end{aligned}$$

Здесь \mathbf{n} – нормаль к плоскости орбиты, \mathbf{e} – ось симметрии спутника, $\mathbf{u} = \tilde{\boldsymbol{\omega}}/\omega_0$, $\mathbf{v} = \tilde{\boldsymbol{\Omega}}/\omega_0$, $\mathbf{r} = \mathbf{R}/R$, где $\tilde{\boldsymbol{\omega}}$ и $\tilde{\boldsymbol{\Omega}}$ – угловые скорости оболочки и демпфера относительно орбитального базиса, ω_0 – угловая скорость орбитального базиса, \mathbf{R} – радиус-вектор центра масс спутника, A и C – экваториальный и осевой моменты инерции спутника, I – момент инерции демпфера, μ – коэффициент демпфирования. Штрихом обозначена производная по безразмерному времени $\tau = \omega_0 t$. Из уравнений (1) следует, что в рамках рассматриваемой модели единственными стационарными вращениями, отличными от положений относительного равновесия, являются только вращения вокруг оси симметрии, сонаправленной с нормалью к плоскости орбиты (цилиндрические регулярные прецессии):

$$\mathbf{e}^* = \mathbf{n}, \quad \mathbf{v}^* = \mathbf{u}^* = u\mathbf{n}; \quad u \in (-\infty, +\infty). \quad (2)$$

Для исследования устойчивости стационарных вращений (2) была проведена линеаризация уравнений (1) в окрестности решений (2). Результаты анализа линеаризованной системы представлены в виде диаграмм областей устойчивости и неустойчивости в пространстве параметров. Примеры указанных диаграмм приведены на рисунке для случая $I/C=0.5$ и двух разных значений коэффициента демпфирования μ в плоскости параметров $\alpha = (C-I)/(A-I)$ и $\beta = u+1$ (области неустойчивости заштрихованы).



Выводы о характере устойчивости подтверждаются результатами численного интегрирования нелинейных уравнений (1).

Работа выполнена при поддержке Правительства Российской Федерации в рамках выполнения базовой части государственного задания в сфере научной деятельности за №2583.

Литература

1. Черноусько Ф.Л. Об устойчивости регулярной прецессии спутника. // ПММ. 1964. Т. 28. Вып. 1. С. 155-157.
2. Сидоренко В.В. Эволюция вращательного движения планеты с жидким ядром // Астрономический вестник. 1993. Т. 27. №2. С. 119-127.
3. Черноусько Ф.Л. О движении твердого тела, содержащего сферический демпфер. // Журнал прикладной механики и технической физики. 1968. №1. с. 73-79.
4. Амелькин Н.И. Об асимптотических свойствах движений спутников в центральном поле, обусловленных внутренней диссипацией // ПММ, 2011. Т. 75. №2. С. 204-223.