

**В. Л. Воронцова** (Казань, КГФЭИ). **Сравнение поведения предельных циклов при разных значениях аэродинамического параметра и эксцентриситета орбиты.**

Рассматривается движение орбитальной «связки тел» — двух материальных точек с массами  $m_1$  и  $m_2$ , соединенных идеальной гибкой безмассовой нерастяжимой нитью, под действием гравитационных и аэродинамических сил, приложенных к точкам  $m_1$  и  $m_2$  [1].

Уравнения относительного движения связки с учетом гравитационного воздействия, аэродинамического давления, аэродифференциального и диссипативного факторов подробно описаны в [2]. Параметры  $n, a, k, b$  описывают следующие физические воздействия:  $n$  — гравитационные,  $a$  — аэродинамическое давление,  $k$  — аэродифференциальный эффект за счет градиента плотности атмосферы вдоль гантели,  $b$  — аэродинамическое трение.

Для случая круговой орбиты ранее было выявлено, что сочетание аэродифференциальной раскрутки связки с ее торможением аэродинамическим трением в пределе приводит либо к относительным равновесиям, либо к так называемым «предельным циклам» — замкнутым фазовым траекториям, охватывающим фазовый цилиндр (угловая скорость связки вдоль цикла постоянна).

Исследуется проблема орбитально-устойчивого предельного цикла для рассматриваемого уравнения в случае эллиптической орбиты. Сначала были построены фазовые портреты для орбиты с очень малой эллиптичностью  $e = 0,001$ . Рассматривалась система с длиной гантели порядка 6 км, в этом случае  $b/k = 0,01$ ,  $k/a = 0,1$ ,  $b/a = 10^{-3}$ . Значения параметров  $k$  и  $b$  одинаковы ( $k = 1$ ,  $b = 0,01$ ), параметр  $a$  меняется (случай 1). Предельный цикл возникает при  $a = 15$  в окрестности  $\alpha' = 29,5$ . Составлена таблица расположения предельного цикла в зависимости от параметра  $a$ . При  $a = 38$  предельный цикл исчезает.

**Таблица 1**

|           |      |      |      |       |
|-----------|------|------|------|-------|
| $a$       | 15   | 30   | 36   | 37,5  |
| $\alpha'$ | 29,5 | 25,2 | 23,8 | 23,55 |

Кроме того, были построены фазовые портреты при значениях параметров  $k = 0,1$ ,  $b = 0,001$ , в этом случае длина гантели порядка 0,6 км,  $b/k = 0,01$ ,  $k/a = 0,1$ ,  $b/a = 10^{-3}$ . Параметр  $a$  меняется (случай 2). Предельный цикл возникает при  $a = 4$  в окрестности  $\alpha' \approx 29,9$ . Для этого случая составлена таблица 2. При возрастании параметра  $a$  предельный цикл снижается, исчезает он при  $a = 46$ .

**Таблица 2**

|           |      |       |       |        |      |      |
|-----------|------|-------|-------|--------|------|------|
| $a$       | 4    | 5     | 15    | 30     | 36   | 45,8 |
| $\alpha'$ | 29,6 | 28,47 | 19,92 | 15,693 | 14,8 | 13,9 |

Далее строились фазовые портреты с ростом эксцентриситета ( $e = 0,01$ ). Сначала рассматривалась система с теми же параметрами, как и в случае 1 ( $k = 1$ ,  $b = 0,01$ ) (случай 3). Предельный цикл возникает при  $a = 15$  в окрестности  $\alpha' \approx 29,9$ . Расположение предельного цикла для  $e = 0,01$  приведено в таблице 3. При возрастании параметра  $a$  предельный цикл снижается, но менее быстро, чем при  $e = 0,001$ . Исчезает предельный цикл уже при  $a > 43$ .

**Таблица 3**

|           |      |      |    |      |       |
|-----------|------|------|----|------|-------|
| $a$       | 15   | 30   | 36 | 37   | 43    |
| $\alpha'$ | 29,9 | 26,2 | 25 | 24,8 | 23,25 |

Далее были построены фазовые портреты для  $e = 0,01$  с параметрами  $k = 0,1$ ,  $b = 0,001$ , как в случае 2 (случай 4). Предельный цикл возникает при  $a = 4$  в окрестности  $\alpha' \approx 29,6$ , исчезает при  $a > 45,6$ . Расположение предельного цикла для  $e = 0,01$  приведено в таблице 4.

**Таблица 4**

|           |       |      |      |      |      |      |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|
| $a$       | 4     | 5    | 15   | 30   | 36   | 45,6 |
| $\alpha'$ | 29,65 | 28,6 | 20,8 | 16,5 | 15,8 | 15,1 |

Из сравнения таблиц видно, что при возрастании эксцентриситета орбиты на порядок при одинаковых значениях параметра  $a$  и значениях параметров  $k$  и  $b$ , расположение предельного цикла становится значительно выше.

В докладе приведен сравнительный анализ поведения предельного цикла в зависимости от роста эксцентриситета и аэродинамического параметра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белецкий В. В., Воронцова В. Л., Коф Л. М., Панкова Д. В.* Влияние аэродинамики на относительное движение орбитальной связки двух тел. Ч. 1. Регулярные движения. Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, 1996, № 38, 32 с.
2. *Белецкий В. В., Пивоваров М. Л.* О влиянии атмосферы на относительное движение гантелеобразного спутника. — Прикладная математика и механика, 2000, № 4, 11 с.