

программно-технологическую среду высокого уровня для эффективного решения задач проектирования систем управления движущимися объектами.

Список литературы

Опарин Г.А., Феоктистов Д.Г., Журавлев А.Е. Инструментальное программное обеспечение для автоматизации разработки прикладных интеллектуальных систем //Сб. докл. Всесоюз. научно-техн. конф. "Интеллектуальные системы в машиностроении". Ч. 3. - Самара: СМ ИМАШ АН СССР, 1991. - С. 93-96.

УДК 629.78

Г.А.Педан, И.Г.Лагода

ПОСТРОЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА ОКОЛОСТАЦИОНАРНЫХ ОРБИТАХ

Преимущества использования ИСЗ, движущегося на геостационарной орбите (ГСО), обусловили интенсивное заполнение этой орбиты различными информационными спутниковыми системами. При управлении их движением необходимо обеспечивать поддержание заданной орбитальной структуры для исключения взаимных помех и реализации этих преимуществ. Из-за влияния возмущающих факторов, в первую очередь нецентральности гравитационного поля Земли, притяжения Луны и Солнца, происходит изменение параметров орбиты ИСЗ на ГСО, что требует проведения периодических коррекций поддержания их в заданной области значений и сокращает время целевого использования ИСЗ. С помощью метода осреднения, разработанного Крыловым И.М., Боголюбовым Н.Н. и Митропольским Ю.А., авторами были исследованы основные закономерности эволюции движения ИСЗ на околостационарной орбите из-за влияния возмущений. Для анализа использовалась система дифференциальных уравнений движения ИСЗ для не-сингулярных переменных, свободная от особенностей, связанных с геостационарной орбитой (эксцентриситет e и наклонение орбиты i близки к 0):

$$\frac{dh}{dt} = \frac{2p}{\gamma} \sqrt{\frac{p}{u}} T,$$

$$\frac{df}{dt} = \sqrt{\frac{p}{u}} \left(S \sin F + \frac{T}{\gamma} [\cos F(1+\gamma) + h] - \frac{f\varepsilon}{\gamma} W \right),$$

$$\frac{df}{dt} = \sqrt{\frac{p}{u}} \left(-S \cos F + \frac{T}{\gamma} [\sin F(1+\gamma) + f] + \frac{h\varepsilon}{\gamma} W \right),$$

$$\frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{p}{u}} \frac{n}{2\gamma} W \cos F,$$

$$\frac{de}{dt} = \sqrt{\frac{p}{u}} \frac{n}{2\gamma} W \sin F,$$

$$\frac{dF}{dt} = \sqrt{\frac{u}{p}} \frac{\gamma^2}{p} + \sqrt{\frac{p}{u}} \frac{\varepsilon}{\gamma} W,$$

где $p=a(1-e^2)$, $h=ecos(\Omega+\omega)$, $f=esin(\Omega+\omega)$, $\alpha=tg\frac{1}{2}\cos\Omega$, $\rho=tg\frac{1}{2}\sin\Omega$, $F=\Omega+\omega+\theta$, $\gamma=1+h\cos F+f\sin F$, $n=1+\alpha^2+\rho^2$, $\varepsilon=\alpha\sin F-\rho\cos F$; a , e , i , Ω , ω , u — кеплеровские элементы орбиты; S , T , W — соответственно, радиальная, тангенциальная и бинормальная составляющие возмущающей силы. Можно рассматривать независимо эволюцию движения ИСЗ в плоскости орбиты и эволюцию положения плоскости орбиты в пространстве.

Решение приведенной выше системы дифференциальных уравнений движения объекта с учетом изложенных возмущений, можно получить методом осреднения, т.е. построением промежуточного решения асимптотическим методом. Сущность метода состоит в построении осредненной системы, соответствующей исходной и обладающей свойством, в силу которого решение исходной системы в начальный момент времени $t=t_0$ совпадает с решением осредненной и они близки на интервале $t-t_0 \sim 1/\Delta$, где Δ — малый параметр. В основе осреднения лежит некоторая замена переменных, позволяющая перейти от исходной системы к осредненной с любой степенью точности относительно Δ . Характер движения ИСЗ в плоскости околостационарной орбиты можно представить на фазовой плоскости $\Delta T, \lambda$ (Рис.1), где ΔT — отклонение периода обращения объекта от звездных суток $T_{\text{зв}}=86164$ с.

Существует две точки устойчивого положения ($\lambda_1 \sim 76^\circ$ в.д., $\lambda_2 \sim 107^\circ$ з.д.), относительно которых осуществляется дрейф КА, если отклонение его периода обращения от звездных суток меньше предельно допустимого $\Delta T_{\text{пр}}$. (см. Рис.1).

При выведении ИСЗ в окрестность точек устойчивого положения с периодом, равным звездному периоду обращения, в течение достаточно

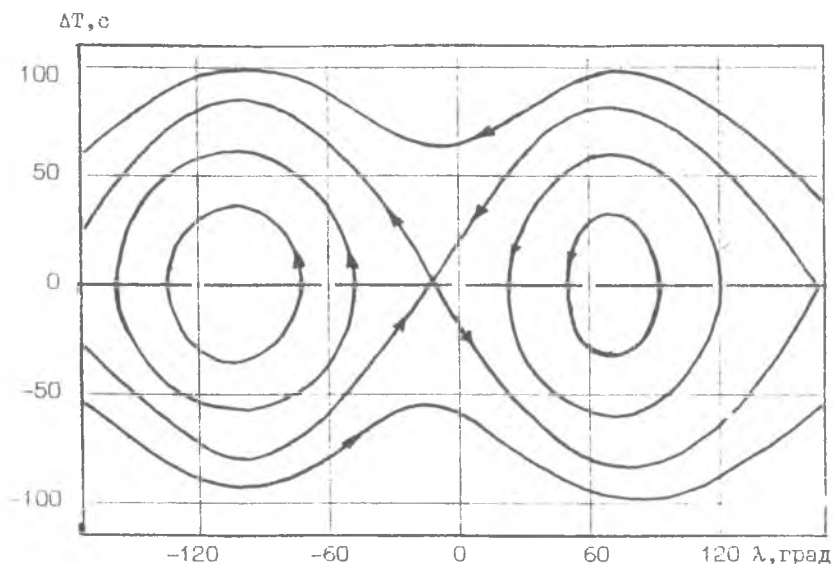


Рис.1. Фазовые траектории движения ИСЗ в плоскости ГСО
длительного интервала времени будут происходить только малые периоди-
ческие изменения элементов, описывающих движение ИСЗ в плоскости ор-
биты. Характер изменения наклонения i и долготы восходящего узла Ω
орбиты в зависимости от их начальных значений представлен на фазовой
плоскости i, Ω (Рис.2).

Существует устойчивое положение плоскости околостационарной ор-
биты, задаваемое значениями $i_0 = 7,5^\circ$, $\Omega_0 = 0^\circ - 12^\circ$ (в зависимости от да-
ты), когда плоскость орбиты ИСЗ практически не изменяется на длитель-
ном интервале времени: на интервале 10 лет изменение Δi составляет
менее 30 угловых минут, $\Delta \Omega = 1^\circ - 2^\circ$. Таким образом, возможно создание ус-
тойчивой спутниковой системы с сохранением преимуществ ГСО, но не тре-
бующей коррекций поддержания орбитальных элементов ИСЗ на длительных
интервалах времени (до 10 лет).

1, град

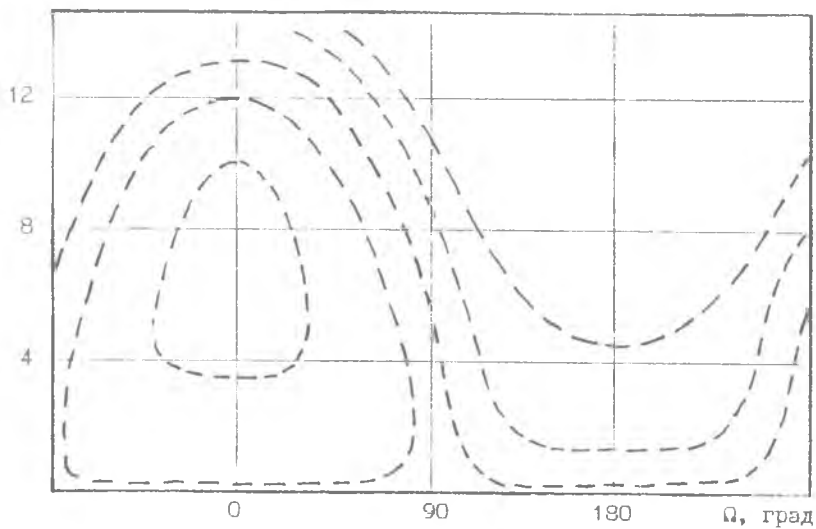


Рис.2. Эволюция положения плоскости околостационарной орбиты ИСЗ