

А.В. ДИДЕНКО, Б.И. ДЕМЧЕНКО, Л.А. УСОЛЬЦЕВА

ЗАВИСИМОСТЬ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ИХ ВРЕМЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ОТ ТИПА (КЛАССА) ГСС

На основе информации, имеющейся в собственной Базе Данных (БД), проанализирована эволюция параметров орбиты ($i \leftrightarrow \Omega$) для всех классов наблюдаемых ГСС. Выделены три основных типа их естественной эволюции и установлена связь с конкретными классами запускаемых аппаратов.

Специфика работы космического аппарата (КА) на геостационарной орбите заключается в том, что в течение всего активного периода он должен находиться вблизи плоскости экватора и примерно на одной географической долготе. Довольно часто это условие достигается коррекцией КА только в плоскости орбиты (коррекция по долготе, но не по широте), при этом активно используется естественная эволюция его орбиты, как если бы этот ГСС был пассивным (некорректируемым). В этом случае наиболее значимыми элементами являются углы наклона плоскости орбиты и долготы восходящего узла относительно плоскости экватора i и Ω , по эволюции которых можно, например, определить примерную

дату запуска КА. Параметры орбиты геостационарного или геосинхронного спутника (ГСС) и особенности их эволюции успешно используют при его идентификации, [1 - 4].

В первом выпуске нашего Зонального каталога [3] была приведена эволюционная диаграмма «наклон – узел», показывающая связь i и Ω . Алгоритм расчета элементов орбит изложен в работе [5], использована информация из нашей БД на 1996 год. С тех пор количество объектов на геостационарной орбите значительно увеличилось. В качестве примера на рисунке 1 показаны аналогичные диаграммы, построенные по наблюдениям, проведенным с промежутком в 4 года, начиная с 1996-го. По осям координат от-

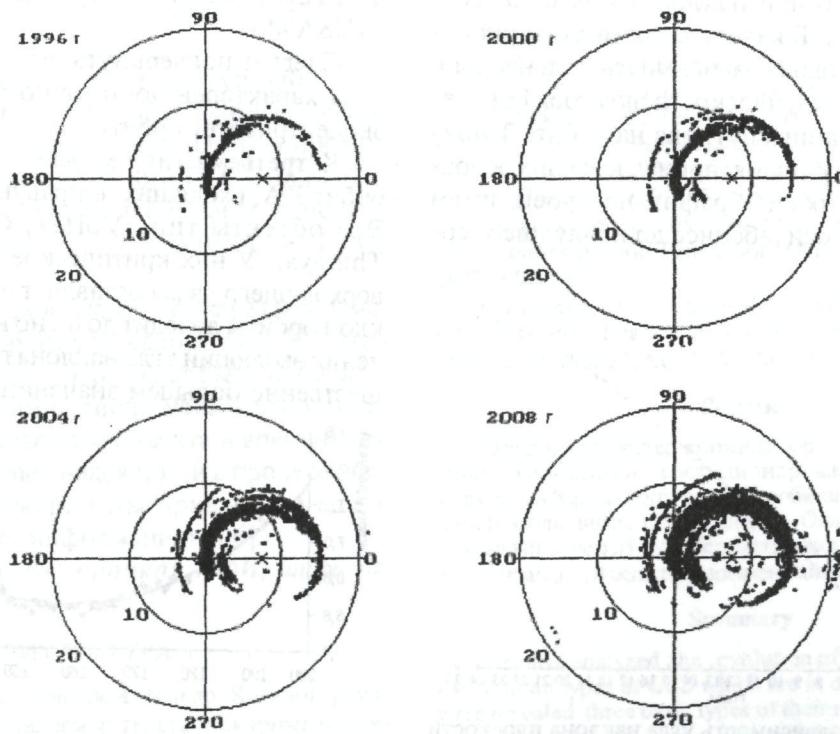


Рис. 1. Эволюционная диаграмма «наклон – узел» относительно плоскости экватора (крестиком на горизонтальной оси обозначено положение плоскости Лапласа), сведения относятся к 1996 г., 2000 г., 2004 г. и 2008 г.

ложены: по радиусу - i , по полярному углу - Ω . В сущности, эта диаграмма представляет собой проекцию единичного вектора момента импульса ГСС на плоскость экватора, только вместо $\sin(i)$ фигурирует i . Время существования ГСС на орбите увеличивается по часовой стрелке.

Согласно работе А.Г. Сочилиной и др. [1], полный оборот на диаграмме совершается за 54 года. Примерно к 2014 - 2017 гг. диаграмма полностью замкнется, и тогда отличить новый ГСС от старого, запущенного 54 года назад, используя только параметры орбиты, станет практически невозможно. Начиная с этого времени, при проведении процедуры идентификации КА, резко возрастет роль некоординатных наблюдений.

Анализ информации, имеющейся в нашей БД, позволил выделить три основных типа естественной эволюции параметров, связав их с конкретными классами запускаемых аппаратов. К первому, основному типу, относятся объекты с эволюцией орбиты, характерной для большинства вновь запускаемых аппаратов. Все КА этой группы находятся на основной, наиболее «населенной» ветви эволюционной диаграммы. После завершения активной стадии существования такого ГСС наклон его орбиты к плоскости экватора начинает возрастать со скоростью около $0.8^\circ/\text{год}$ и только при наклонах более 10° этот рост замедляется. В качестве примера на рисунке 2 показана сводная зависимость угла наклона плоскости орбиты к плоскости экватора i от времени существования спутника на орбите Т примерно для 100 спутников, принадлежащих основной ветви рисунка 1. График построен путем сдвига точек по оси абсцисс до наилучшего совпадения.

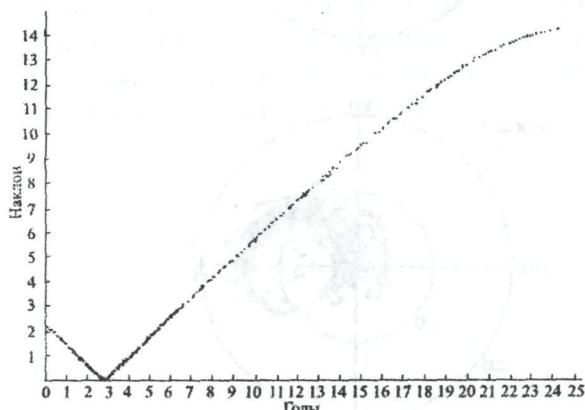


Рис. 2. Сводная зависимость угла наклона плоскости орбиты к плоскости экватора от времени существования спутника на орбите примерно для 100 спутников, принадлежащих основной ветви рисунка 1.

Такая эволюция i (T) характерна для большинства российских и зарубежных аппаратов - Raduga, Cosmos, Luch, Gals, Gorizont, Intelsat и др. Как правило, они выводятся на орбиту с начальной долготой восходящего узла $\Omega \approx 275^\circ$ и наклоном $i \approx 2^\circ$, в последующем i уменьшается примерно на $0.8^\circ/\text{год}$. При переходе Ω через ноль наклон начинает возрастать с такой же скоростью. Далее, до достижения максимума, характер поведения i (Ω) можно аппроксимировать формулой

$$i = -0.00006 \Omega^3 + 0.0321 \Omega^2 - 0.0331\Omega + 2.05$$

с коэффициентом доверительности сглаживания 0,9995.

На рисунке 3 приведена зависимость $i_s(\Omega_s)$ для ГСС 91010A «Cosmos 2133», где i_s и Ω_s – наклон плоскости орбиты и долгота восходящего узла относительно плоскости Лапласа.

Аналогичная эволюция параметров орбит наблюдается и у американских КА класса DSP.

Второй тип эволюции характерен для достаточно многочисленной группы КА, включающей объекты класса Magnum, Orion. Эти ГСС относятся к левой ветви эволюционной диаграммы (см. рисунок 1), у них критическое значение долготы восходящего узла составляет 180° , а начальный наклон орбиты доходит до 6° . На рисунке 4 показана зависимость $i_s(\Omega_s)$ для 89090B Magnum-2 (USA 48).

Следует подчеркнуть, что для ГСС данного типа характерен достаточно большой, до 0.03, эксцентриситет орбиты.

К третьему типу можно отнести эволюцию орбит КА, входящих в правую ветвь рисунка 1. Это объекты типа Vortex, Canyon, Chalet и Thuraya. У них критическое значение долготы восходящего узла составляет 0° , а начальный наклон орбиты доходит до 6° , но изменение направления эволюции угла наклона происходит при существенно большем значении i (от 2° до 4°). На

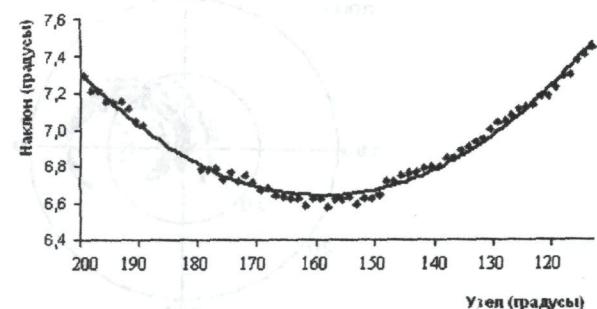


Рис. 3. Зависимость $i_s(\Omega_s)$ для ГСС 91010A «Cosmos 2133», параметры орбит отнесены к плоскости Лапласа

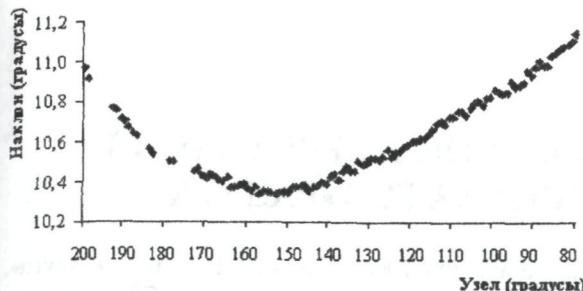


Рис. 4. Зависимость $i_s(\Omega_s)$ для ГСС 89090B Magnum-2, параметры орбит относены к плоскости Лапласа

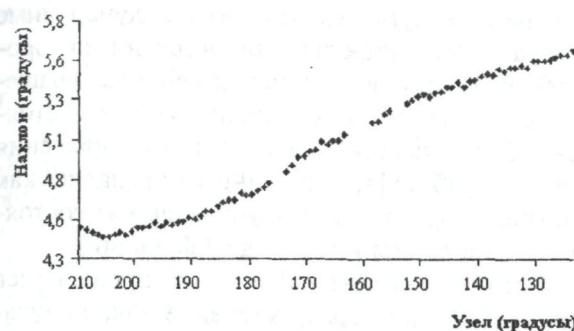


Рис. 5. Зависимость $i_s(\Omega_s)$ для ГСС 93056A UFO 2, параметры орбит относены к плоскости Лапласа

на рисунке 5 приведена зависимость $i_s(\Omega_s)$ для 93056A UFO 2.

Следует отметить, что характер эволюции орбиты последней ступени ракеты-носителя, выводящей аппарат на геостационарную орбиту, аналогичен таковой для самого ГСС. На рисунках 7 и 8 в качестве примера показаны зависимости $i_s(\Omega_s)$ для Cosmos 2133 f.s. (91010F) и IUS-4 97008D.

Из этих примеров видно, что характер изменения элементов орбит у каждой группы КА имеет свои особенности. Это может быть использовано (и успешно нами используется) для определения типа наблюдаемого объекта и времени его запуска. Для большей надежности в процессе проведения идентификации мы привлекаем еще и фотометрическую информацию [4,6].

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351

ЛИТЕРАТУРА

- Сочилина А. С., Вершков А. Н. и др. Каталог улучшенных орбит неуправляемых геостационарных объектов. С.-Петербург, ИТА РАН, 1994. т.т. 1, 2.
- Сочилина А.С., Киладзе Р.И. и др. Каталог орбит геостационарных спутников. С.-Петербург, ИТА РАН, 1996, 104с.

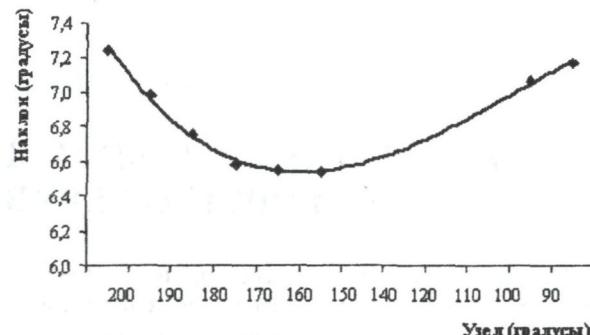


Рис. 7. Зависимость $i_s(\Omega_s)$ для российского блока Cosmos 2133 f.s. (91010F), параметры орбит относены к плоскости Лапласа

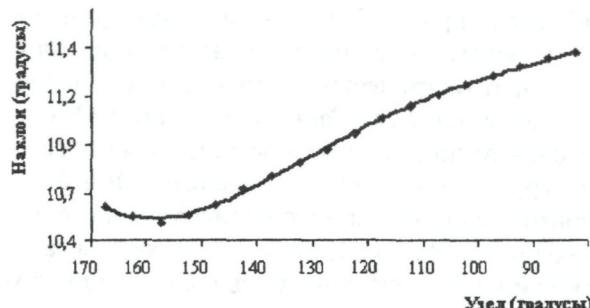


Рис. 8. Зависимость $i_s(\Omega_s)$ для IUS-4 97008D, параметры орбит относены к плоскости Лапласа

3. Демченко Б.И. Диденко А.В., Усольцева Л.А., Бочаров И.Ю., Афонин А.Н. Зональный каталог геостационарных спутников, Алматы, Гылым, 1996, 92 с.

4. Диденко А.В., Демченко Б.И., Усольцева Л.А., Афонин А.Н. и др. Зональный каталог геостационарных спутников. Выпуск 2, 2000, Алматы, Гылым, 108 с.

5. Демченко Б.И. Об определении параметров орбит геостационарных спутников по коротким временным рядам наблюдений. Известия НАН РК, № 4, Алматы, 2007, с.97-99.

6. Didenko A.V., Usoltzeva L.A. Methods of geostationary satellites' identification by the photometric information // Transaction of the KAU. 2001, № 2, P. 83-91.

Резюме

Өзіндік мәліметтер қорында бар болған мағлұмат бойынша бақыланған геостационарлық Жердің жасанды серіктердің барлық топтары үшін орбитаның параметрлерінің ($i \leftrightarrow \Omega$) эволюциясы талдап шықты. Олардың табиғи эволюциясының 3 негізгі түрі белгіленді және оның ұшырылған аппараттардың накты топтарымен байланысты.

Summary

We have analyzed the evolution of orbital parameters ($i \leftrightarrow \Omega$) for all types of GSS which are in our Database. There were revealed three basic types of their natural evolution and connection with concrete classes of GSS.

Астрофизический институт
им. В.Г.Фесенкова МОН РК,
г.Алматы

Поступила 29.04.08