

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ TLE ЭЛЕМЕНТОВ В КЛАССЕ
БЕТА-АВТОРЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ**

Сарычев А.П. д.т.н., в.н.с.; Первий Б.А., м.н.с.

Институт технической механики НАН и ГКА Украины

Проблема повышения точности прогноза движения спутников актуальна для задач определения времени их существования, предсказания столкновения спутников, каталогизации мелкого космического мусора, навигации и др. Для решения этой задачи в основном используются физические подходы, однако они требуют полной информации о космическом объекте в начале расчетов траектории и окружающей среде, а также данных о маневрах исследуемого объекта [1]. Во всех случаях такие данные не полные или не обновляются регулярно, а текущие возможности наблюдений ограничены или затратны.

Отличительной особенностью временных рядов TLE-элементов [2] является то, что они представлены наблюдениями не на равномерной по времени сетке, а т. н. "неравноотстоящими наблюдениями" с нерегулярными временными интервалами. Эта особенность учтена при разработке метода оценивания параметров авторегрессионных моделей с неравноотстоящими во времени наблюдениями для моделирования динамики больших фрагментов космического мусора [3]. Разработанный метод, представляющий собой модификацию разработанных ранее методов построения авторегрессионных моделей [4]–[6], применён для моделирования движения космических объектов по временным рядам их TLE-элементов.

На основе результатов, полученных в процессе моделирования группы космических объектов, разработана система моделирования, которая включает в себя: определение оптимального объёма обучающих выборок при моделировании временных рядов TLE-элементов; определение порядка авторегрессии для каждой переменной (TLE-элемента); определение оптимальной структуры и идентификация параметров модели авторегрессии для каждой переменной; выявление закономерностей эволюции среднеквадратичной ошибки авторегрессионных моделей во времени на

основе моделирования временных рядов TLE-элементов по принципу "скользящего интервала".

На отдельных участках временных рядов ошибки моделей принимают значения, которые существенным образом превышают значения из приведенных диапазонов. Эти превышения могут быть использованы как признаки непредвиденного изменения режима движения космического объекта.

References

1. Luo Y.Z. A Review of Uncertainty Propagation in Orbital Mechanics / Y.Z. Luo // Progress in Aerospace Sciences, 2017. – С. 89.
2. FSCC TLE Source [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.space-track.org/#Landing>
3. Sarychev O. P. Optimal regressors search subjected to vector autoregression of unevenly spaced TLE series / O. P. Sarychev, B. A. Perviy, // Системні технології. – Випуск 2 (121). – 2019. – С. 95–110.
4. Alexander P. Sarychev Modeling in the Class of Systems of Regression Equations by the Group Method of Data Handling / A. P. Sarychev // Journal of Automation and Information Sciences. – Begell House Inc. – 2013. – Volume 45, Number 3. – P. 4–22.
5. А. Сарычев. Моделирование сложных систем в условиях структурной неопределённости: регрессионные и авторегрессионные модели / А. П. Сарычев. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, Saarbrücken, Deutschland. – 2016. – 274 с.
6. Alexander P. Sarychev Modeling in the Class of Autoregression Equations Systems in Conditions of Structural Uncertainty / A. P. Sarychev // Journal of Automation and Information Sciences. – Begell House Inc. – 2015. – Volume 47, Number 7. – P. 59–88.