

УДК 629.78+531.55

Обзор проблемы устойчивости средних орбит в окрестности глобальных навигационных спутниковых систем

Гришко Дмитрий Александрович^(*)dim.gr@mail.ru
SPIN-код: 5021-4745

Иванов Сергей Геннадьевич

isgsial@mail.ru
SPIN-код: 2768-6099

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Для периода 2000–2025 гг. выполнен обзор российских и зарубежных научных работ, в которых рассматривались вопросы динамики изменения параметров средних орбит под действием различных природных возмущений. Проведенный анализ результатов каждого исследования позволяет утверждать, что данный регион околоземного пространства изучен недостаточно. Одновременно для него характерно отсутствие единых стандартов, связанных с завершением эксплуатации космических средств. Выполнена классификация имеющихся работ, показаны возможные направления развития исследований.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, орбиты захоронения, устойчивость, гравитационный резонанс, возмущения от Солнца и Луны

Введение. Обширный регион средних околоземных орбит в основном занят объектами, относящимися к глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС). Разница по высоте между четырьмя системами (Глонасс, GPS, Beidou и Galileo) составляет около 1000–1500 км, поэтому до недавнего времени считалось, что независимые меры по захоронению, предпринимаемые для объектов одной системы, не создают угроз функционирования для трех остальных. Исследования А. Jenkin [1, 2], позже подтвержденные различными исследовательскими группами [3–5], показали, что при небрежном выборе параметров орбиты захоронения космических средств, относящихся к ГНСС, она по прошествии нескольких десятилетий может стать неустойчивой, создавая дополнительный риск столкновения и фрагментации.

Методы и материалы; результаты. Движение центра масс космического объекта описывается системой уравнений, которая может быть записана как в неподвижных Декартовых координатах, так и в оскулирующих переменных. В случае экваториальных орбит (например, для системы ОЗб) потребуется использование неособенных оскулирующих элементов орбиты. Прогноз движения, как правило, выполняется на временном интервале в 100–300 лет, что позволяет сделать вывод об запасе устойчивости рассматриваемых средних орбит. Критерием устойчивости является величина амплитуды долгопериодических колебаний эксцентриситета и большой полуоси под действием возмущений различной природы, причем основной вклад в эти колебания вносят гравитационные возмущения от Солнца и Луны.

Отдельный интерес представляет долгосрочная динамика движения объектов с большим отношением площади к массе, а также объектов, находящихся на высокоэллиптических орбитах. В первом случае существенный вклад в изменение орбиты вносит сила давления солнечного излучения, зависящая от ориентации объекта по отношению к направлению на Солнце. Во втором случае изначально большой эксцентриситет приводит к повышенной чувствительности орбиты к возмущениям от Луны.

Заключение. За последние 20 лет различными исследователями определена фундаментальная причина специфического возрастания и убывания эксцентриситета орбиты при почти неизменной ее большой полуоси, показаны сочетания начальных параметров движения, которые формируют устойчивые и неустойчивые режимы эволюции средних орбит. Отдельный интерес представляет использование внешних возмущений природного характера в проектируемых космических программах.

Список источников

- [1] Jenkin A.B., Gick R.A. Collision risk associated with instability of MEO disposal orbits. *Proceedings of the 3rd European Conference on Space Debris*, 2001. URL: <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc3/paper/64/SDC3-paper64.pdf> (accessed 12.04.2025).
- [2] Jenkin A.B., Gick R.A. Dilution of Disposal Orbit Collision Risk for the Medium Earth Orbit Constellations. *Proceedings of the 4th European Conference on Space Debris (ESA SP-587)*, 2005. URL: <https://adsabs.harvard.edu/full/2005ESASP.587..309J> (accessed 12.04.2025).
- [3] Domínguez-González R., Sánchez-Ortiz N., Francesco C. Disposal strategies analysis for MEO orbits. *Proceedings of the International Astronautical congress*, 2013, vol. IAC-13.A6.2.5
- [4] Alessi E.M. A Numerical Investigation on the Eccentricity Growth of GNSS Disposal Orbits. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 2016, vol. 125, pp. 71–89. <https://doi.org/10.1007/s10569-016-9673-4>
- [5] Celletti A., Gales C. A study of the lunisolar secular resonance $2\dot{\omega} + \dot{\Omega} = 0$. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 2016, vol. 3, art. no. 11. <https://doi.org/10.3389/fspas.2016.00011>