

УДК 629.783+531

Оптимизация низкоорбитальной спутниковой группировки для наземного наблюдения Казахстана

Сюй Пэньюе^(*)

pengyuexu@mail.ru

Ракишева Зауре Баяновна

zaure.ra@gmail.com

Калиева Назгуль Болатовна

nazgul.kaliyeva@gmail.com

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аннотация. В данном исследовании рассматривается проектирование и оптимизация группировки спутников на низкой околоземной орбите, предназначенной для миссий наземного наблюдения над Казахстаном. Предложена оптимальная схема группировки, минимизирующая количество спутников при сохранении высокого уровня покрытия и сокращении времени повторных пролетов. Модель оптимизации подтверждена с помощью моделирования в STK, демонстрируя полное покрытие территории Казахстана со средним интервалом повторного пролета 104 секунды.

Ключевые слова: низкоорбитальная спутниковая группировка, наземное наблюдение, орбитальная динамика, время повторного пролета, моделирование в STK

Введение. Разработка эффективных спутниковых группировок на низкой околоземной орбите (LEO) особенно актуальна для стран с обширной территорией и разнообразными климатическими условиями, таких как Казахстан. Спутниковые системы наблюдения предоставляют оперативные данные для мониторинга сельского хозяйства, климатических изменений и управления природными ресурсами [1]. За последние годы возрос интерес к LEO-группировкам благодаря их преимуществам: высокому пространственному разрешению и частой повторяемости наблюдений [2].

Материалы и методы; результаты. Целью данного исследования является разработка оптимальной схемы размещения LEO-спутников, которая минимизирует количество аппаратов при сохранении высокого уровня покрытия территории Казахстана и сокращении времени повторных пролетов. Для достижения поставленной цели была разработана оптимизационная модель, основанная на принципах орбитальной механики с учетом возмущающих сил, таких как нецентральность гравитационного поля Земли, атмосферное сопротивление и гравитационное влияние Луны и Солнца [3]. В модели учитывались ключевые параметры орбиты, включая высоту, наклонение, количество орбитальных плоскостей и спутников в каждой плоскости.

Были рассмотрены различные варианты конфигураций группировки с высотами орбиты от 600 до 800 км и наклонениями от 70° до 85°. Анализ показал, что оптимальное сочетание достигается при высоте орбиты около 800 км и наклонении 85°, что обеспечивает полное покрытие территории Казахстана с минимальным количеством спутников. Оптимальная конфигурация вклю-

чает три орбитальные плоскости, в каждой из которых размещено восемь спутников. Такое распределение спутников позволяет достичь среднего времени повторного пролета около 104 секунд и максимального времени не более 5 минут. Это соответствует требованиям к частоте обновления данных для задач наземного наблюдения в реальном времени.

Для проверки модели использовалось программное обеспечение STK (Systems Tool Kit). Результаты подтвердили, что предложенная конфигурация соответствует заданным требованиям по покрытию и частоте обновления данных. Кумулятивное покрытие территории достигается в короткие временные интервалы, а расчетные значения времени повторного пролета совпадают с результатами моделирования.

Заключение. Исследование подтвердило эффективность предложенной оптимизационной модели для проектирования спутниковой группировки на низкой околоземной орбите в Казахстане. Конфигурация из трех орбитальных плоскостей и восьми спутников в каждой обеспечивает высокую частоту обновления данных при минимальных затратах.

Список источников

- [1] Мусабаев Т.А., Молдабеков М.М., Нургужин М.Р. и др. Earth Observation System of the Republic of Kazakhstan. *Proceedings of the International Astronautical Congress*, IAC, 2013.
- [2] Ustin S.L., Middleton E.M. Current and near-Term Advances in Earth Observation for Ecological Applications. *Ecological Processes*, 2021, vol. 10, no. 1.
<https://doi.org/10.1186/s13717-020-00255-4>
- [3] Arnas D., Casanova D., Tresaco E. Time Distributions in Satellite Constellation Design. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 2017, vol. 128, no. 2–3, pp. 197–219.