

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НАВИГАЦИОННО-БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МНОГОСПУТНИКОВЫХ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

*Албул А. С., аспирант; Бабаков М. Ф., к.т.н., проф.
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина*

Основой многоспутниковых низкоорбитальных систем (МНС) является орбитальная система космических аппаратов (КА), которая определяется как совокупность КА, упорядоченно расположенных на орбитах и совместно выполняющих целевые задачи системы [1]. Одним из наиболее важных требований [1,2], предъявляемых к орбитальным группировкам, является поддержание их устойчивой навигационно-баллистической структуры. Это связано с тем, что в процессе функционирования происходит постоянное изменение параметров движения как каждого КА, так и всей орбитальной группировки в целом. Изменения параметров орбитальной группировки в свою очередь приводит к увеличению необходимых энергетических характеристик в радиоканалах "КА-КА", "Земля-КА", "КА-Земля".

Эффективное использование КА в орбитальной системе возможно при условии, если навигационно-баллистические характеристики всех КА группировки известны и стабильны. Поэтому необходимо исследовать возможные варианты орбитального построения КА и провести анализ параметров орбиты, для чего требуется разработать методы построения навигационно-баллистической структуры МНС.

Основными показателями качества навигационно-баллистической структуры являются [2,4]:

- вероятность k -связности P_k (вероятность существования k независимых маршрутов) между двумя абонентами;
- коэффициент оперативной готовности сети $K_{ог}$;
- среднее время задержки пакета $T_{пер}$ обусловленное временем ретрансляции сигнала, аппаратурными задержками и др.

При синтезе навигационно-баллистической структуры сети принимаются следующие условия [3]:

1. Космические аппараты сети находятся на круговых орбитах с одинаковой высотой H и наклоном i .
2. КА расположены в m плоскостях по n КА в каждой.
3. Равномерное распределение:
 - плоскостей орбит — по долготе восходящего узла $\Omega_i = 1, \dots, m$,
 - космических аппаратов в каждой плоскости — по аргументу широты $u_j, j = 1, \dots, n$.

4. Земля аппроксимируется сферой радиусом $R_z = 6371$ км.

5. Ширина диаграммы направленности бортовых антенн 2γ обеспечивает получение максимально возможного угла обзора φ_3 при заданном минимальном угле возвышения КА над горизонтом δ .

Проведенный анализ влияния ошибок выведения и возмущающих факторов на эволюцию орбитальной системы позволил сделать следующие выводы:

1. Орбитальную сеть МНС целесообразно строить на круговых орбитах с одинаковой высотой 700...2000 км и наклоном $70...90^\circ$. В этом случае, при нулевых ошибках выведения КА на орбиты обеспечивается стабильность сети в условиях нецентральности гравитационного поля Земли, воздействия лунно-солнечной гравитации и атмосферного сопротивления [1].

2. Основной причиной нарушения условий покрытия Земли зонами обслуживания являются взаимные погрешности выведения КА на орбиту по высоте и скорости, которые приводят к изменению начальных значений аргументов широты (нарушению внутривекторной структуры сети). Управление другими параметрами орбит в основном носит одноразовый характер.

3. Нецелесообразно согласование параметров КА сети с точностью, превышающей относительные ошибки 10^{-3} , поскольку гравитационное вековое возмущение угловой дальности между КА имеет порядок $C_{20} \sim 10^{-3}$.

4. Обеспечение глобальности обслуживания абонентов достигается поддержанием взаимной ориентации плоскостей орбит. Нарушение заданного положения КА по аргументу широты может лишь ухудшить показатели оперативности (непрерывность) обслуживания.

5. Вследствие практической невозможности выведения КА на орбиты с нулевыми ошибками создание МНС на основе сети сфазированных КА нецелесообразно, поскольку требует больших экономических и технических затрат на поддержание взаимного положения КА по аргументу широты [3].

Исследование навигационно-баллистической структуры многоспутниковых низкоорбитальных сетевых систем позволило разработать модель такой системы, которая учитывает расположение КА на круговых орбитах с одинаковой высотой и наклоном. При этом узлы сети расположены в m плоскостях по n КА в каждой. Для получения максимального угла обзора φ_3 при заданном минимальном возвышении КА над горизонтом δ и ширине диаграммы направленности используемых антенн, необходимо обеспечить требуемую точность наведения этих антенн.

Анализ воздействий возмущающих факторов на стабильность навигационно-баллистической структуры сети указывает на то, что торможение в верхних слоях атмосферы вызывает вековое изменение (уменьшение) периода обращения, круговые орбиты при этом остаются круговыми. Учет

влияния атмосферы целесообразен до высот 600... 1000 км, причем при большом отношении площади поперечного сечения КА к его массе. На высотах менее 2000 км лунно-солнечные гравитационные возмущения пренебрежительно малы по сравнению с возмущениями, вызванными нецентральностью гравитационного поля Земли, в первую очередь зональной гармоникой разложения геопотенциала.

При вероятностной оценке некорректируемой МНС расчеты показали хорошую сходимость с известными теоретическими выкладками. Определено, что при увеличении числа КА в плоскости орбиты в два раза эффективность функционирования системы возрастает с 66 % до 89 %, при трехкратном увеличении числа КА с 89 % до 98 %, а при четырехкратном увеличении числа КА можно говорить об обеспечении непрерывности обзора. Также показано, что при увеличении СКО ошибок выведения по высоте, наблюдается незначительное изменение эффективности функционирования системы.

Перечень источников

1. Аболиц А.И. Системы спутниковой связи. Основы структурно параметрической теории и эффективность/А.И. Аболиц. — М.: ИТИС, 2004. — 426с.: ил.
2. Камнев В.Е. Спутниковые сети связи: Учеб. Пособие/В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. — М.: «Альпина Паблишер», 2004. — 536 с.: ил.
3. Весоловский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи/ Весоловский Кшиштоф; [пер. с польск. И.Д. Рудинского; под ред. А.И. Ледовского]. М.: Горячая линия- Телеком, 2006. — 536 с.
4. Баранов А.А. Изменение положения КА в спутниковой системе /А.А. Баранов// Космические исследования. — 2008. — №3. — С. 219-224.

Анотація

Проведено аналіз навігаційно-балістичної структури багатосупутникових систем, а також аналіз впливів збурюючих факторів на її стабільність. Розроблена модель навігаційно-балістичної структури багатосупутникових низькоорбітальних систем зв'язку, яка враховує розташування космічних апаратів на кругових орбітах з однаковою висотою і нахилом.

Ключові слова: навігаційно-балістична структура, орбіта, космічний апарат.

Аннотация

Проведен анализ навигационно-баллистической структуры многоспутниковых систем, а также анализ воздействий возмущающих факторов на её стабильность. Разработана модель навигационно-баллистической структуры многоспутниковых низькоорбитальных систем связи, которая учитывает расположение космических аппаратов на круговых орбитах с одинаковой высотой и наклоном.

Ключевые слова: навигационно-баллистическая структура, орбита, космический аппарат.

Abstract

The model of navigation and ballistic structure of multisatellite LEO communication systems which takes into account the location of the spacecraft in circular orbits at the same height and inclination is designed.

Keywords: navigation and ballistic structure, orbit, spacecraft.