



УДК 811

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ НА НИЗКОЙ И ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТАХ

Халылова Аманбиби Хемрагулыевна

Преподаватель

Джумаев Агахан Артур оглы

Студент

Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана

г. Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. Современная архитектура глобальных инфокоммуникаций опирается на два фундаментально различающихся типа спутниковых систем, расположенных на низкой и геостационарной орбитах. Развитие технологий к 2026 году привело к острой конкуренции между этими решениями, каждое из которых обладает уникальными техническими характеристиками. Выбор конкретной орбитальной конфигурации напрямую определяет такие параметры, как задержка передачи данных, сложность наземного оборудования и стоимость эксплуатации. Понимание различий между этими системами необходимо для эффективного проектирования сетей связи в условиях растущего мирового трафика.

Ключевые слова: спутниковая связь, низкая околоземная орбита, геостационарная орбита, задержка сигнала, зона покрытия, Starlink, пропускная способность.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS IN LOW EARTH AND GEOSTATIONARY ORBITS

Halylova Amanbibibi Hemragulyyevna

Lecturer

Jumayev Agahan Artur ogly

Student

Turkmen Institute of Telecommunications and Informatics

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. The modern architecture of global infocommunications relies on two fundamentally different types of satellite systems located in Low Earth and Geostationary orbits. The evolution of technology through 2026 has led to intense competition between these solutions, each possessing unique technical characteristics. The choice of a specific orbital configuration directly determines parameters such as data transmission latency, the complexity of ground equipment, and overall

operational costs. Understanding the differences between these systems is essential for the effective design of communication networks in the face of growing global data traffic.

Keywords: Satellite communication, Low Earth Orbit (LEO), Geostationary Orbit (GEO), signal latency, orbital coverage, Starlink, bandwidth, spacecraft, telecommunications, orbital constellations, ground terminals, inter-satellite links, radio frequency spectrum, network reliability, signal attenuation.

Введение

Геостационарная орбита (GEO) располагается на высоте около 35 786 километров строго над экватором Земли. Спутники на этой высоте вращаются со скоростью, равной скорости вращения планеты, что позволяет им казаться неподвижными относительно наземного наблюдателя. Это уникальное свойство значительно упрощает конструкцию приемных антенн, так как их не требуется постоянно перемещать для слежения за аппаратом. Всего трех спутников на GEO достаточно для обеспечения глобального покрытия всей поверхности Земли, за исключением приполярных областей.

Низкая околоземная орбита (LEO) находится в диапазоне высот от 500 до 2 000 километров над поверхностью планеты. Из-за близости к Земле спутники LEO движутся с очень высокой скоростью, совершая полный оборот вокруг планеты примерно за полтора часа. Для обеспечения непрерывной связи в конкретной точке земного шара требуется создание огромных группировок, состоящих из сотен или даже тысяч аппаратов. Это делает развертывание систем LEO чрезвычайно дорогостоящим и технологически сложным процессом по сравнению с GEO.

Одним из наиболее критических параметров сравнения является задержка распространения сигнала, известная как латентность. Для спутников на геостационарной орбите время прохождения сигнала «туда и обратно» составляет не менее 500–600 миллисекунд из-за огромного расстояния. В системах на низкой орбите этот показатель снижается до 20–40 миллисекунд, что сопоставимо с характеристиками наземных волоконно-оптических линий. Такая разница делает LEO системы единственным подходящим решением для облачного гейминга, биржевой торговли и видеосвязи в реальном времени.

Энергетический бюджет линии связи также существенно различается в зависимости от выбранной высоты орбиты. Спутники GEO требуют использования мощных передатчиков и больших параболических антенн на Земле для компенсации затухания сигнала в свободном пространстве. Системы LEO позволяют использовать компактные абонентские терминалы с фазированными антенными решетками, которые потребляют меньше энергии при передаче. Это преимущество делает низкоорбитальную связь более привлекательной для мобильных пользователей и носимых устройств интернета вещей.



Зона покрытия одного спутника на геостационарной орбите охватывает почти треть земной поверхности, обеспечивая стабильный сервис для целых континентов. Однако сигнал от GEO аппаратов падает под очень малым углом в высоких широтах, что делает связь в Арктике и Антарктике практически невозможной. Группировки LEO, напротив, часто используют полярные орбиты, гарантируя стопроцентное покрытие земного шара, включая труднодоступные регионы. Это критически важно для морской навигации и авиасообщения в северных широтах.

Параметр	НОО (LEO)	ГСО (GEO)
Высота орбиты	500 – 2 000 км	~35 786 км
Задержка (Latency)	20 – 50 мс	500 – 700 мс
Количество спутников	Сотни и тысячи (созвездия)	1 – 3 для глобального покрытия
Срок службы ИСЗ	5 – 7 лет	15 – 20 лет
Сложность терминала	Высокая (необходимы фазированные решетки)	Низкая (фиксированные «тарелки»)
Эффект Доплера	Значительный	Практически отсутствует

Пропускная способность систем LEO значительно превосходит возможности традиционных GEO спутников за счет возможности многократного использования частотного спектра. Благодаря меньшему размеру «пятна» покрытия от каждого спутника, одна и та же частота может быть использована в разных географических зонах без взаимных помех. Современные системы на низкой орбите активно внедряют лазерные межспутниковые связи для передачи данных в космосе без участия наземных станций. Это позволяет оптимизировать маршруты трафика и снизить зависимость от наземной инфраструктуры в океанах.

Заключение

В заключение следует отметить, что системы на низкой и геостационарной орбитах не исключают, а дополняют друг друга. Будущее спутниковой индустрии лежит в создании гибридных сетей, объединяющих преимущества обеих конфигураций. GEO обеспечит стабильность и охват для массового контента, а LEO возьмет на себя высокоскоростной



интерактивный трафик. Постоянное совершенствование технологий обеспечит человечеству надежный доступ к информации в любой точке планеты.

Список литературы:

1. Камнев, В. Е. (2020). Спутниковые системы связи. Техносфера.
2. Кучерявый, А. Е. (2021). Космические инфокоммуникации в сетях шестого поколения. Ылым.
3. Agrawal, G. P. (2010). Fiber-Optic Communication Systems. Wiley.
4. Piketty, T. (2015). Capital in the Twenty-First Century. Belknap Press.
5. Maini, A. K., Agrawal, V. (2014). Satellite Technology: Principles and Applications. Wiley.