

Еремеев Н.Н., Леонов Т.В.,

студенты

1 курса, факультета «Ракетно-космической техники»

БГТУ «Военмех»

Россия, г. Санкт-Петербург

СЛОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ В РАСЧЕТЕ РЕТРАНСЛЯТОРА ДЛЯ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕФОНА ЧЕРЕЗ ГЕОСТАЦИОНАРНЫЙ АППАРАТ СВЯЗИ

Аннотация: Расчет ретранслятора спутникового телефона через геостационарный аппарат связи требует одновременной проверки энергетики канала, помеховой совместимости, устойчивости усилительного тракта и разрешенной ЭИИМ. В статье рассмотрены ограничения L-диапазона для подвижной спутниковой службы, влияние геометрии линии, атмосферных поправок, нелинейности усилителей и закрытости параметров спутникового протокола. Предложена расчетная логика, при которой аппаратный выбор ретранслятора выполняется после проверки радиолинии и нормативных ограничений.

Ключевые слова: спутниковый телефон, геостационарный аппарат связи, ретранслятор, энергетический расчет, L-диапазон, ЭИИМ, C/N0, развязка антенн.

Annotation: The calculation of a satellite phone repeater through a geostationary communication satellite requires simultaneous verification of the channel's energy, interference compatibility, amplifier path stability, and permitted EIRP. The article discusses the limitations of the L-band for mobile satellite services, the impact of line geometry, atmospheric corrections, amplifier nonlinearity, and the confidentiality of satellite protocol parameters. A calculation

logic is proposed, where the hardware selection of the repeater is performed after verifying the radio link and regulatory restrictions.

Key words: *satellite phone, geostationary communication satellite, repeater, link budget, L-band, EIRP, C/N0, antenna isolation.*

Ретранслятор спутникового телефона используют, когда абонентский терминал не видит геостационарный аппарат напрямую: в здании, укрытии, салоне транспортного средства или зоне радиозатенения. Схема содержит наружную донорную антенну, приемно-усилительный тракт, фильтры, внутреннюю сервисную антенну и обратный тракт от телефона к спутнику. Для геостационарных мобильных земных станций стандарты ETSI задают работу в полосах подвижной спутниковой службы около 1,5 ГГц на прием и 1,6 ГГц на передачу [1]. Устройство становится частью спутниковой линии и одновременно источником излучения в регулируемой полосе [2].

Первая трудность связана с неполнотой исходных данных. Спутниковый телефон управляет мощностью, регистрируется в сети, синхронизируется с лучом и работает с параметрами протокола, которые оператор обычно не раскрывает. Расчетчик видит частотный диапазон, тип терминала, допустимые уровни на входе и общую структуру линии, но не всегда знает пороги кодирования, временные окна и алгоритмы power control. Из-за этого расчет дает инженерную оценку запаса. Попытка компенсировать неопределенность ростом усиления опасна: она увеличивает риск самовозбуждения, перегрузки приемника и недопустимого восходящего излучения.

Базой расчета служит геометрия трассы до GSO. Дальность зависит от положения подспутниковой точки и угла места антенны, а не только от высоты орбиты. При малом угле места растут потери, затенение и поляризационное рассогласование. Свободные потери оценивают в децибельной форме:

$$L_{fs} = 92,45 + 20\log_{10}f + 20\log_{10}R \quad (1)$$

В формуле (1), f выражена в ГГц, R — в километрах. Для 1,6 ГГц и дальности 40 тыс. км получается около 188,6 дБ. Штатная сеть MSS компенсирует такие потери диаграммами лучей, высоким G/T спутникового приемника и управлением ресурсом. Ретранслятор внутри объекта имеет меньший запас: несколько децибел потерь в кабеле, фильтре или ориентации донорной антенны способны сорвать регистрацию телефона.

Для каждого направления рассчитывают отношение несущей к спектральной плотности шума:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = P_{\text{ЭИИМ}} + \left(\frac{G}{T}\right)_r - L_{fs} - L_{atm} - L_{pol} - L_{misc} + 228,6 \quad (2)$$

В формуле (2) $P_{\text{ЭИИМ}}$ задана в дБВт, G/T — в дБ/К, потери — в дБ, результат — в дБГц. Атмосферная добавка L_{atm} для L-диапазона обычно меньше, чем для Ku- и Ka-диапазонов. Методы ITU-R P.618, P.676 и P.840 задают расчет земно-космического распространения, газового поглощения, облаков и тумана [3]–[5].

Параметр G/T связывает усиление антенны с системной шумовой температурой:

$$\left(\frac{G}{T}\right)_r = G_r - 10\log_{10}T_{sys} \quad (3)$$

Длинный фидер, грозозащита и фильтр перед малошумящим усилителем ухудшают T_{sys} до того, как сигнал будет усилен. Усилитель после потерь поднимает уже ухудшенную смесь сигнала и шума. Для двухстороннего ретранслятора добавляется собственный шум тракта, поэтому итоговое отношение C/N_0 считается через сумму обратных линейных вкладов:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_\Sigma = -10\log_{10}\left(10^{-(C/N_0)_d/10} + 10^{-(C/N_0)_u/10} + 10^{-(C/N_0)_{rep}/10}\right) \quad (4)$$

Наименьший вклад доминирует в сумме и задает фактический предел качества. Для телефона это проявляется срывами регистрации, повторными попытками доступа и нестабильной связью при перемещении внутри помещения.

Самовозбуждение ограничивает усиление раньше, чем энергетика канала. Сервисная антенна излучает внутри объекта, а часть мощности через конструкции, кабельные наводки и боковые лепестки возвращается на донорный вход. Условие устойчивости записывается как:

$$I_{DS} \geq G_{rep} + M_{stab} \quad (5)$$

где I_{DS} — развязка донорной и сервисной антенн, G_{rep} — полный коэффициент усиления, M_{stab} — запас устойчивости. В практическом расчете запас обычно принимают не меньше 10 дБ, а в многоканальном варианте увеличивают. Ограничение конфликтует с требованием повысить уровень сигнала у телефона: рост усиления требует большей развязки, расстояния, экранирования и направленности антенн.

Ретранслятор может создать достаточный уровень приема в помещении, но на передачу он обязан не превышать разрешенную ЭИИМ. Нелинейность усилителя, точка компрессии и интермодуляция влияют на спектр сильнее, чем на показания индикатора уровня в телефоне. Если терминал меняет мощность по командам сети, автоматическая регулировка усиления должна удерживать уровень без всплесков, которые спутниковый приемник воспринимает как помеху соседним каналам.

Итоговый запас:

$$M = \left(\frac{C}{N_0} \right)_{\Sigma} - \left(\frac{C}{N_0} \right)_{req} - L_{fade} - L_{impl} \quad (6)$$

Исходя из формулы (6), если значение M положительно, то расчет энергетики выполняется при принятых исходных данных. Документы ITU задают правила использования спектра и спутниковых орбит, а региональные требования определяют допустимость активных земных устройств [2]. Спецификации 3GPP NTN и спутникового узла доступа показывают ту же инженерную логику. Спутниковый канал проектируют с учетом мощности, частотной ошибки, занимаемой полосы и внеполосных излучений [6]-[7]. Обзорные работы по NTN выделяют задержку, доступ к спектру и управление ресурсами как постоянные ограничения спутниковых архитектур [8].

Расчет ретранслятора для спутникового телефона через геостационарный аппарат ограничен совокупностью малых запасов. Геометрия GSO задает высокое базовое затухание и задержку. L-диапазон снижает атмосферные потери, но не устраняет затенение, поляризационное рассогласование и многолучевость. Аппаратная часть добавляет шум, компрессию и риск обратной связи. Нормативные требования запрещают компенсировать эти факторы произвольным ростом усиления.

Использованные источники:

1. ETSI EN 301 681 V2.1.2. — ETSI, 2016. — URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301600_301699/301681/02.01.02_60/en_301681v020102p.pdf (дата обращения: 14.06.2026).
2. Radio Regulations, Edition of 2024. Volume 1: Articles. — Geneva: International Telecommunication Union, 2024. — URL: <https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2024/> (дата обращения: 14.06.2026).
3. Recommendation ITU-R P.618-14. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. — ITU-

R, 2023. — URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.618-14-202308-I/en> (дата обращения: 14.06.2026).

4. Recommendation ITU-R P.676-13. Attenuation by atmospheric gases and related effects. — ITU-R, 2022. — URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.676/en> (дата обращения: 14.06.2026).

5. Recommendation ITU-R P.840-9. Attenuation due to clouds and fog. — ITU-R, 2023. — URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.840> (дата обращения: 14.06.2026).

6. ETSI TR 138 821 V16.2.0. 5G; Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN) (3GPP TR 38.821 version 16.2.0 Release 16). — ETSI, 2023. — URL: https://portal.etsi.org/webapp/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=68417 (дата обращения: 14.06.2026).

7. ETSI TS 138 108 V18.7.0. 5G; NR; Satellite Access Node radio transmission and reception (3GPP TS 38.108 version 18.7.0). — ETSI, 2025. — URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/138108/18.07.00_60/ts_138108v180700p.pdf (дата обращения: 14.06.2026).

8. Azari, M. M. Evolution of Non-Terrestrial Networks From 5G to 6G: A Survey / M. M. Azari, S. Solanki, S. Chatzinotas, O. Kodheli, H. Sallouha, A. Colpaert [et al.] // IEEE Communications Surveys & Tutorials. — 2022. — Vol. 24, № 4. — P. 2633–2672. — DOI: 10.1109/COMST.2022.3199901.