

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 621.391.82

ИНТЕГРАЦИЯ НЕНАЗЕМНОЙ СВЯЗИ (NTN) С 5G И ВЫШЕ

Шепелев С.В., Бабин А.И., Коротков М.В.

АО «МТУ Сатурн», Москва,

e-mail: SShepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru, MKorotkov@k-tech.ru

Аннотация. В последнее время в мире связи наблюдается повышенный интерес к объединению технологий, соединению наземных и неназемных услуг мобильных сетей 4G/5G и в перспективе 6G, обеспечивая связь в удаленных районах и недоступных ситуациях. Целью статьи является научный обзор особенностей создания неназемных сетей NTN и гибридных сетей на этапах стандартизации технических параметров и диапазонов частот для сетей NTN в релизах 3GPP 16-18, рассмотрение организации работ по выбору диапазонов частот NTN Администрацией связи России. Платформы NTN представлены спутниковыми системами LEO, MEO, GEO, находящимися на различных орбитах, беспилотными летательными аппаратами, включая аэростатные платформы HAPS. Концепция реализации неназемных сетей в 5G представлена в релизе Rel.17 3GPP, где рассмотрены и стандартизованы основные технические компоненты NTN. Релиз Rel.18 3GPP будет включать в себя ряд обновлений: усовершенствования NTN-IoT, а также добавление в NTN-NR новых частот, сервисов и моделей трафика. Авторами рассмотрен мировой опыт стандартизации и применения диапазонов частот для NTN. Проанализирована организация работ по выбору диапазонов частот NTN Администрацией связи России. Создание отечественных спутниковых систем LEO и MEO позволит организовать на территории Российской Федерации гибридные сети LTE/5G и в перспективе 6G-NTN.

Ключевые слова: неназемные сети, наземные сети, гибридные сети, внеземной компонент, NTN, TN, NT, HAPS

INTEGRATION OF NON-TERRESTRIAL COMMUNICATION (NTN) WITH 5G AND ABOVE

Shepelev S.V., Babin A.I., Korotkov M.V.

Joint-stock company MTU Saturn, Moscow,

e-mail: SShepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru, MKorotkov@k-tech.ru

Annotation. Recently, there has been an increased interest in the world of communications in combining technologies, connecting terrestrial and non-terrestrial services of 4G/5G and, in the future, 6G mobile networks, providing communication in remote areas and inaccessible situations. The purpose of the article is a scientific review of the features of creating NTN networks and hybrid networks at the stages of standardization of technical parameters and frequency ranges for NTN networks in 3GPP releases 16-18, consideration of the organization of work on the selection of NTN frequency ranges by the Russian Communications Administration. NTN platforms are represented by LEO, MEO, GEO satellite systems in various orbits, unmanned aerial vehicles, including HAPS balloon platforms. The concept of implementing non-terrestrial networks in 5G is presented in the release Rel.17 3GPP, where the main technical components of NTN are reviewed and standardized. The release of Rel.18 3GPP will include a number of updates: improvements to NTN-IoT, as well as the addition of new frequencies, services and traffic models to NTN-NR. The authors consider the world experience of standardization and application of frequency ranges for NTN. The organization of work on the selection of NTN frequency ranges by the Russian Communications Administration is analyzed. The creation of domestic LEO and MEO satellite systems will make it possible to organize LTE/5G and, in the future, 6G-NTN hybrid networks on the territory of the Russian Federation.

Keywords: non-terrestrial networks, terrestrial networks, hybrid networks, extraterrestrial component, NTN, TN, NT, HAPS

Термин *NTN* (Non-Terrestrial Networks), неназемные сети, относится не только к спутниковой связи. На самом деле это относится к развертыванию любой неназемной сети с использованием внеземных компонентов *NT* (Non-Terrestria): спутников, аэростатов, самолетов или беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Сети NTN обеспечивают связь в районах, где наземные сети *TN* (Terrestrial Network) имеют сложности в развертывании, образуя гибридные сети. О необходимости развития гибридных сетей спутниковой и сотовой связи говорится в Стратегии развития телекоммуникационной отрасли до 2030 г.

Ключом к открытию этих новых услуг внеземной сети 5G (NTN) является объединение наземных и неzemных услуг путем повторного использования существующих опорных сигналов, существующих функций базовой сети 5G и форм-фактора сотовой трубки [1].

Целью работы является исследования особенностей создания сетей NTN и гибридных сетей NTN+TN на этапах стандартизации технических параметров и диапазонов частот для сетей NTN в релизах 3GPP 16–18, рассмотрение организации работ по выбору диапазонов частот NTN Администрацией связи России.

Материалы и методы исследования

При проведении научного обзора применяются теоретические (анализ, синтез) и логические методы (факты и умозаключения) исследований.

В техническом отчете Rel.16 3GPP спецификации TS 38.821 [2] платформы NTN определяются с точки зрения спутников, находящихся на различных орбитах, включая платформы *HAPS* (High-Altitude Platform Station) в виде аэростатов.

Неназемные сети NTN обычно относятся к сетям связи, которые не зависят исключительно от традиционной наземной инфраструктуры и используют различные наземные технологии и платформы для обеспечения подключения. Вот несколько ключевых элементов и примеров NTN:

– *Спутниковые сети*: Спутники на геостационарной орбите или на более низких околоземных орбитах (LEO) обеспечивают широкополосный доступ в Интернет, телекоммуникационные услуги и передачу данных в отдаленные и недостаточно обслуживаемые районы.

– *Высотные платформы HAPS*: на больших высотах в атмосфере Земли, такие как стратосферные воздушные шары или беспилотные летательные аппараты на солнечной энергии. Они могут служить ретрансляционными станциями для беспроводной связи.

– *Воздушные платформы*: В некоторых решениях NTN используются БПЛА (беспилотные летательные аппараты), оснащенные коммуникационным оборудованием, для создания временных сетей связи, особенно в районах, пострадавших от стихийных бедствий, или во время мероприятий, где традиционной инфраструктуры недостаточно.

– *Гибридные подходы*: Некоторые решения NTN сочетают в себе различные технологии, такие как комбинация спутников и высотных платформ, для расширения покрытия сети и повышения надежности.

На рисунке представлены варианты архитектуры NTN, классифицированные по роли внеземного компонента NT в общей коммуникационной цепи наземной сети TN: на (а) платформа NT в качестве пользователя; на (б) в качестве ретранслятора для обратной транспортировки трафика; на (в) в качестве ретранслятора для конечных пользователей; на (д) в качестве базовой станции [3].

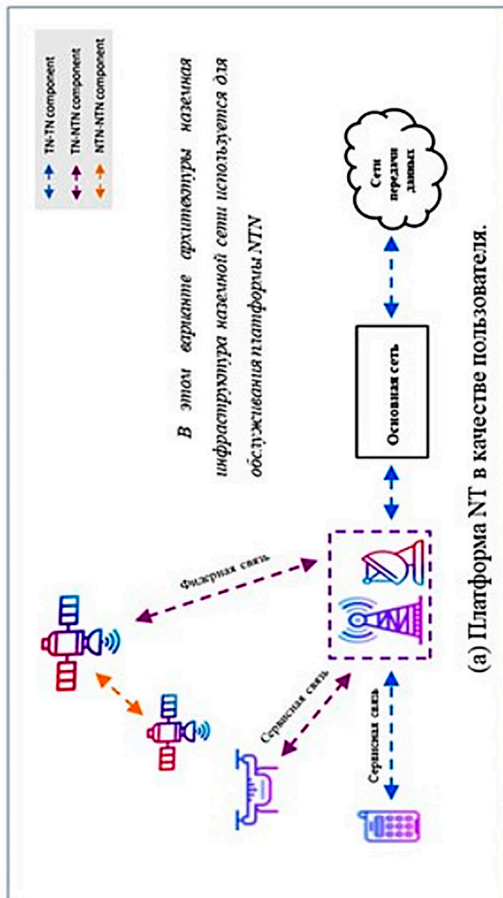
В спецификации TR 21.917 релизе Rel.17 3GPP [4] описаны требования для спутниковой связи 5G. 3GPP разделяет спутники по типу орбит и платформ: низкоорбитальные *LEO* (Low-Earth Orbit) с орбитой от 300 до 2000 км; среднеорбитальные *MEO* (Medium-Earth Orbit) с орбитой от 8000 до 20000 км и геостационарные *GEO* (Geostationary Earth Orbit) с высотой орбиты 35786 км. В табл. 1 представлены характеристики таких спутниковых платформ. Системы GEO и БПЛА используются в основном для обеспечения регионального или местного покрытия, при этом радиолучи, как правило, остаются фиксированными по отношению к мобильному устройству или устройству. Платформы LEO (низкая околоземная орбита) и MEO (средняя околоземная орбита) могут использоваться для предоставления услуг как в Северном, так и в Южном полушариях, однако эти спутники и связанные с ними радиолучи будут перемещаться относительно мобильного телефона или устройства по мере того, как они вращаются вокруг Земли [4].

Неназемные сети имеют два направления сценария услуг: NTN-IoT и NTN-NR. В устройства (смартфоны, носимые устройства и автомобили) могут встраиваться чип-сетей NTN NB-IoT для реализации экстренного вызова и двунаправленной передачи сообщений в регионах, не имеющих доступа к наземным сетям TN. Возможность отслеживания ценных ресурсов (например, грузовые контейнеры или транспортные средства) при их транспортировке в районах с ограниченным доступом к сотовым сетям связи.

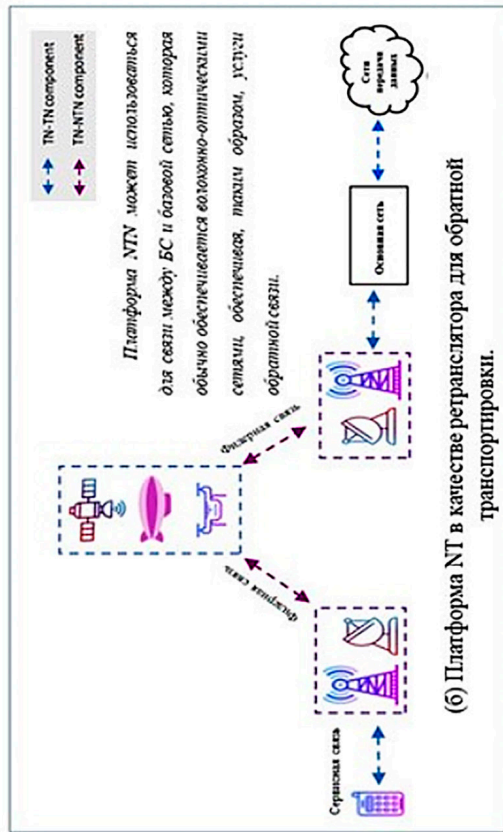
Таблица 1

Характеристики спутниковых платформ

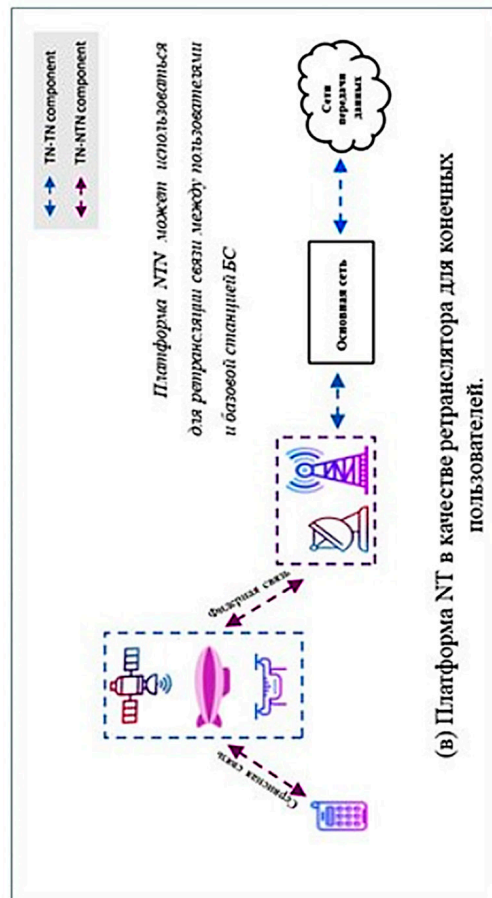
Тип орбиты	Угол места 90°		Угол места 10°		Максимальная односторонняя задержка от телефона до шлюза, мс
	Расстояние до спутника (высота орбиты), км	Задержка сигнала от телефона/шлюза до спутника, мс	Расстояние до спутника, км	Задержка сигнала от телефона/шлюза до спутника, мс	
LEO	600	2	1932	6	12
MEO	8000	27	11826	39	79
GEO	35786	119	40586	135	271



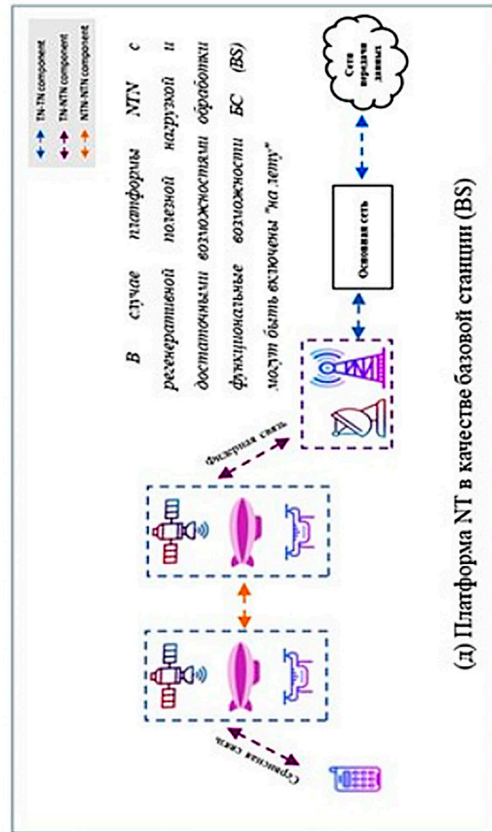
(а) Платформа NT в качестве пользователя.



(б) Платформа NT в качестве ретранслятора для обратной транспортировки.



(в) Платформа NT в качестве ретранслятора для конечных пользователей.



(д) Платформа NT в качестве базовой станции (BS)

Варианты архитектуры NTN, классифицированные по роли компонента NT в общей коммуникационной цепи наземной сети

Технология NTN-NR расширяет спектр возможностей наземных сетей за счет предоставления аналогичных сервисов, как NTN-IoT, но в значительно более крупных масштабах. Наземные сети повышают надежность и интенсивность использования фиксированного беспроводного доступа 5G FWA, упрощенный роуминг 5G, эффективно выполнять функции транспортной сети для сетей 5G.

Результаты исследования и их обсуждение

Релиз Rel.17 3GPP был посвящен реализации наземных сетей в 5G, тогда как Rel.18 3GPP включает в себя обновления: усовершенствования NTN-IoT, а также добавление в NTN-NR новых частот, сервисов и моделей трафика [5, с. 42].

Спецификация 3GPP TS 38.108 и TS 37.340 [6] устанавливает минимальные ВЧ-характеристики и требования к производительности спутниковых узлов доступа NR (SAN) в сетях 5G. Она гарантирует, что узлы SAN соответствуют требованиям действующих стандартов для обеспечения надежной и эффективной связи через каналы спутниковой связи, путем определения следующих параметров: мощность передачи, чувствительность приемника, диапазон частот, схемы модуляции и полосы пропускания каналов. Сценарии аттестационных испытаний ВЧ-характеристик для спутниковых узлов доступа определены в спецификации 3GPP TS 38.181.

Согласно стандарту Международного союза электросвязи ITU-T G.107, минимальная односторонняя задержка (от одного абонента до другого), которую абонент может заметить при телефонном разговоре, составляет около 100–150 мс [7]. 3GPP специфицирует спутниковую связь для мощности передатчика абонентского устройства UE класса 3 (излучаемая мощность 23 ± 2 дБм или 200 мВт) в S-диапазоне (2ГГц) с нена-

правленной антенной [8]. Спецификации 3GPP TS 31.102 и TS 23.122 требуют SIM-карту для системы NTN с поддержкой «satellite NG-RAN» [9].

В ходе проведения в феврале 2024 г. Всемирного ежегодного мобильного Конгресса и выставки MWC 2024 был учрежден альянс, который инициирован ассоциациями GSMA (Ассоциация операторов мобильной связи) с GSOA (Глобальная ассоциация спутниковых операторов) с целью содействия интеграции наземных и наземных (NTN) сетей. GSA (Глобальная ассоциация поставщиков мобильной связи) тоже планирует присоединиться. GSA в 2023–2024 гг. зарегистрировала 13 организаций, которые в настоящее время планируют запустить услугу «Спутник – мобильный телефон».

Мировой опыт стандартизации применения диапазонов частот для NTN

Спецификации 3GPP Release 18 в настоящее время не определяют огромный список поддерживаемых частотных диапазонов для доступа к спутниковым устройствам 5G NTN. В табл. 2 показаны основные диапазоны частот NTN. В NTN FR1 (диапазон частот 1), охватывает диапазон от 410 до 7125 МГц. Для спутниковой связи в релизе Rel.17 3GPP спецификациями TS 38.108 и TS 38.133 выделялись специальные частотные поддиапазоны n256 и n255. Они образуют предложение диапазона 5G NTN для L-диапазона и S-диапазона, что соответствует существующей терминологии спутникового диапазона. Напротив, NTN FR2 (диапазон частот 2) охватывает диапазон от 17300 до 30000 МГц и является частью спутникового диапазона Ka. Что касается 5G NTN, то в настоящее время предлагается три спутниковых диапазона FR2 NTN: n510, n511 и n512.

Как и многие каналы связи Ka-диапазона, нисходящий диапазон (спутник – наземная станция) является нижней частотой.

Таблица 2

Диапазоны частот 3GPP для систем NTN

Стандартизированные диапазоны частот 3GPP для сетей NTN		Uplink (от наземного терминала к спутнику)	Downlink (от спутника к наземному терминалу)
3GPP NTN FR1 (L и S диапазоны)	n256 (FDD)	1980–2010 МГц	2170–2200 МГц
	n255 (FDD)	1626,5–1660,5 МГц	1525–1559 МГц
3GPP NTN FR2 (Ka диапазон)	n510 (FDD)	27,5–28,35 ГГц	17,7–20,2 ГГц
	n511 (FDD)	28,35–30,0 ГГц	17,7–20,2 ГГц
	n512 (FDD)	27,5–30,0 ГГц	17,7–20,2 ГГц

Выбор диапазона связан с различными нормативными требованиями в разных странах, например, диапазон n512 применим в странах Европы, на которые распространяются решения СЕРТ (Европейская конференция почтовых и телекоммуникационных администраций) ЕСС (Комитет по электронным коммуникациям) Европы. Диапазоны n511/n512 применимы в США и регулируются различными правилами FCC (Федеральной комиссии по связи США).

Предложения по диапазонам частот NTN Администрации связи России

Согласно Плану подготовки Администрации связи Российской Федерации к Всемирной конференции радиосвязи 2027 г. (далее ВКР-27), утвержденному ГКРЧ России от 29.03.2024 №24-72-03, пунктом 1.7 повестки дня ВКР-27 в соответствии с Резолюцией 256 (ВКР-23) [10, с. 499] ставится задача рассмотреть результаты исследований совместного использования частот и совместимости для использования Международной подвижной электросвязи (ИМТ) в полосах частот 4400–4800 МГц, 7125–8400 МГц (или ее частях) и 14,8–15,35 ГГц с учетом существующих первичных служб, работающих в тех же самых и соседних полосах частот. Полосы частот 4400–4800 МГц и 7125–8400 МГц будут рассматриваться для наземных сетей TN 5G/6G. Полоса частот 14,8–15,35 ГГц будет рассмотрена для наземных сетей 5G NTN. Согласно пункту 1.13 повестки дня ВКР-27, в соответствии с Резолюцией 253 (ВКР-23) [10, с. 490] ставится задача рассмотреть результаты исследования возможных новых распределений подвижной спутниковой службе (ПСС) для прямого подключения между космическими станциями и пользовательским оборудованием Международной подвижной электросвязи (ИМТ) в дополнение к покрытию наземных сетей ИМТ 5G-Advanced/6G. Новые распределения ПСС возможны в полосах частот 2010–2025 МГц (Земля – космос) и 2160–2170 МГц (космос – Земля) в районах 1 и 3 и в полосе частот 2120–2160 МГц (космос – Земля) во всех районах 1–3 в соответствии с Резолюцией 254 (ВКР-23) [10, с. 493], и это будет рассмотрено пунктом 1.14 повестки дня ВКР-27.

Заключение

Системы 5G и более поздние версии будут все больше и больше полагаться на внеземные компоненты NTN для предоставле-

ния своих услуг. Это связано с их уникальными возможностями по расширению зоны покрытия в районах, где наземная инфраструктура недоступна или экономически неэффективна, а также с их дополнительной ролью в разгрузке важной части трафика, особенно в сильно перегруженных районах. Высотные платформы и спутники могут обеспечивать прямую связь на линии прямой видимости, потенциально сокращая задержки и повышая скорость передачи данных. Спутники LEO могут обеспечивать меньшую задержку из-за их большей близости к Земле. Для эффективного распределения ресурсов спектра между наземными и внеземными системами могут быть использованы механизмы динамического распределения спектра. Рабочая группа ГКРЧ во главе с НИИР рассматривает предложения по выбору полос частот для построения гибридных сетей NTN+TN на территории Российской Федерации.

Список литературы

1. Бабин А.И., Тихвинский В.О. Спутниковая связь в будущей инфраструктуре 5G // Connect. 2018. № 7–8. С. 104–107.
2. ETSI 3GPP TR 38.821: Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN). Release 16. Version 16.2.0. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/3525> (дата обращения: 21.02.2024).
3. Mahdi Azari M., Solanki S., Chatzinotas S., Kodheli O., Sallouha H., Colpaert A. Evolution of Non-Terrestrial Networks from 5G to 6G: A Survey. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/353258107.pdf> (дата обращения: 02.02.2024).
4. Стрелец В.А. Вопросы стандартизации спутникового сегмента ИМТ-2020/5G в международных организациях // Электросвязь. 2020. № 10. С. 6–11.
5. ETSI 3GPP TR 21.917: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G. Version 17.0.1 Release 17, 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/121917v170001p.pdf (дата обращения: 01.02.2024).
6. Тихвинский В.О., Девяткин Е.Е., Белявский В.А. По пути от 5G к 5G-Advanced: релизы 17 и 18 // Первая миля. 2021. № 6. С. 38–47.
7. Grem Grin, Non Terrestrial Networks and 5G. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mpirical.com/blog/non-terrestrial-networks-and-5g> (дата обращения: 19.02.2024).
8. ETSI 3GPP TS 37.340: NR; multi-connectivity; overall description; stage-2, Version 18.1.0, Release 18. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/3198> (дата обращения: 12.02.2024).
9. 6G Innovation Centre. 6G wireless: a new strategic vision / 5GIC Strategy Advisory Board. Retrieved from, 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.surrey.ac.uk/sites/default/files/2020-11/6g-wireless-a-new-strategic-vision-paper.pdf> (дата обращения: 16.02.2024).
10. Всемирная конференция радиосвязи 2023 (ВКР-23) / Заключительные акты // ITU-Публикации. Дубай, 2023. 794 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/wrc-23/documents.pdf> (дата обращения: 03.02.2024).