 © Авторы статьи / Authors of the article

РАДИОТЕХНИКА, В ТОМ ЧИСЛЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕВИДЕНИЯ/RADIO ENGINEERING, INCLUDING TELEVISION SYSTEMS AND DEVICES

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.48 EDN: WUUEZR

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ОРБИТАЛЬНЫМ ПОЗИЦИЯМ, ПАРАМЕТРАМ ИЗЛУЧЕНИЙ ПЕРЕДАТЧИКОВ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ И НЕГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТАХ, ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ И ОТЕЧЕСТВЕННЫМ НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ

Научная статья

Антипин Б.М.[1,] *, Виноградов Е.М.[2], Мункуева О.Б.[3]
[1] ORCID : 0000-0003-1414-7989;
[2] ORCID : 0009-0009-0618-8554;
[3] ORCID : 0009-0009-1462-4440;
[1, 2, 3] Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (boris_antipin[at]mail.ru)

Предложена: 03.09.2026; Принята: 10.11.2026; Опубликована: 17.11.2026

Аннотация

В последнее время особую актуальность приобретают гибридные орбитально-наземные сети связи, которые состоят из наземного сегмента, включающего гибридные сети, и спутникового сегмента, включающего спутниковые сети связи, состоящие из космических аппаратов на низкой, средней, высокой околоземных и геостационарной орбитах. При функционировании гибридных орбитально-наземных сетей связи необходимо обеспечивать электромагнитную совместимость между ее отдельными элементами. В статье проводится анализ требований к параметрам космических аппаратов на различных орбитах, сформулированные в международных и отечественных нормативных документах. Это создаст предпосылки для определения электромагнитной обстановки, что является необходимым условием для последующей оценки электромагнитной совместимости между спутниками, находящимися на различных орбитах.

Ключевые слова: системы спутниковой связи, космические аппараты, типы орбит спутников, электромагнитная обстановка, материалы МСЭ, решения ГКРЧ.

ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR ORBITAL POSITIONS AND THE RADIATION PARAMETERS OF TRANSMITTERS IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS OPERATING IN GEOSTATIONARY AND NON-GEOSTATIONARY ORBITS, IN ACCORDANCE WITH INTERNATIONAL AND DOMESTIC REGULATORY DOCUMENTS

Research article

Antipin B.M.[1,] *, Vinogradov E.M.[2], Munkueva O.B.[3]
[1] ORCID : 0000-0003-1414-7989;
[2] ORCID : 0009-0009-0618-8554;
[3] ORCID : 0009-0009-1462-4440;
[1, 2, 3] The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, Saint Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (boris_antipin[at]mail.ru)

Suggested: 03.09.2026; Accepted: 10.11.2026; Published: 17.11.2026

Abstract

Hybrid orbital-ground-based communications networks have recently become particularly relevant; these consist of a ground segment, including hybrid networks, and a satellite segment, comprising satellite communications networks made up of spacecraft in low, medium and high Earth orbits, as well as geostationary orbit. When hybrid orbital-ground-based communication networks are in operation, it is essential to ensure electromagnetic compatibility between their individual components. The article analyses the requirements for the parameters of spacecraft in various orbits, as set out in international and domestic regulatory documents. This will lay the groundwork for determining the electromagnetic environment, which is a prerequisite for the subsequent assessment of electromagnetic compatibility between satellites in different orbits.

Keywords: satellite communication systems, space vehicles, types of satellite orbits, electromagnetic environment, ITU documents, SCRF decisions.

Введение

Современное развитие систем телекоммуникаций привело к возникновению гибридных орбитально-наземных сетей связи, которые обладают целом рядом полезных свойств, например обеспечивает предсказуемую задержку, непрерывность сессий и отказоустойчивость при передаче данных на большие расстояния в условиях сложной электромагнитной обстановки (ЭМО) [1], [2], [3]. Такие сети включают в себя наземные сети радиосвязи, беспилотные авиационные системы, а также широкий спектр спутниковых сетей связи. При этом космические аппараты последних

 © Авторы статьи / Authors of the article

могут находиться на различных орбитах — низкой, средней, высокой околоземной и геостационарной. Таким образом, гибридная сеть связи содержит большое количество одновременно функционирующих радиосредств различного назначения. В таких ситуациях неизбежно возникает необходимость обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) между радиосредствами. Совместимость требуется обеспечить между наземными и спутниковыми, между наземными и воздушными [4], между воздушными и спутниковыми средствами. Кроме того, внутри наземных, воздушных и спутниковых систем также должна быть обеспечена ЭМС. По сведениям авторов наименее проработанный вопрос в этих задачах состоит в обеспечения ЭМС между спутниковыми системами, находящихся на различных орбитах. Для решения данного вопроса, прежде всего, необходимо определить электромагнитную обстановку, которая имеет место в гибридной системе применительно к спутниковым системам, космические аппараты которых находятся на разных орбитах. Согласно [5], «Электромагнитная обстановка — совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах». Для определения ЭМО, в первую очередь, необходимо определиться с полосами частот, в которых совместно функционируют средства радиосвязи, а также выяснить возможные значения характеристик радиоизлучений этих средств, влияющих на электромагнитную совместимость. В данном случае ЭМО определяют, в первую очередь, номинальные значения параметров излучений передатчиков космических аппаратов, их положения на орбитах, а также предельно допустимые отклонения от номинальных значений, сформулированные в международных и отечественных нормативных документах.

Целью данной статьи является анализ международных и отечественных нормативных документов, которые определяют обязательные требования к орбитальным позициям спутников, а также к мощностным характеристикам их излучений. Достижение данной цели является необходимым условием для определения ЭМО, необходимой для последующей оценки электромагнитной совместимости между спутниками, находящимися на различных орбитах.

Требования к положению спутников на орбите

Предварительный анализ международных и отечественных документов показал, что конкретные требования к орбитальным позициям спутников в международных документах практически сформулированы только для космических аппаратов на геостационарных орбитах. А именно, в Разделе III «Поддержание положения космических станций» Регламента радиосвязи [6] в статье 22 п.п. 22.7, 22.8 указывается, что космические станции на борту геостационарных спутников, которые используют любую из полос частот, распределенных фиксированной спутниковой службе или радиовещательной спутниковой службе, должны иметь возможность поддерживать свое положение в пределах ±0,1° относительно долготы своего номинального положения. При этом в п. 22.9 отмечается, что экспериментальные станции на борту геостационарных спутников могут не соблюдать требования пп. 22.7 и 22.8, но должны поддерживать свое положение в пределах ±0,5° относительно долготы своего номинального положения.

Допуски на определенные орбитальные характеристики космических станций на негеостационарных орбитах, относящихся к Фиксированной спутниковой службе, Радиовещательной спутниковой службе или к Подвижной спутниковой службе, обнаружены только в Резолюции 8 [7, С. 243].

Наконец, в [8] отмечается, что движение спутника, выведенного на орбиту с высотой полностью над геостационарной орбитой, будет периодически испытывать возмущения ввиду влияния:

– гравитационного воздействия асферичности Земли;

– гравитационного притяжения Солнца и Луны;

– давления излучения Солнца.

Общее орбитальное возмущение d может быть эмпирически представлено двумя компонентами. Совокупное влияние периодических гравитационных возмущений d_{GRAV} не должно превышать 35 км для любого спутника на круговой орбите (эксцентриситет менее 0,003).

Для более эксцентрических орбит удаления эффект возмущения может быть более 35 км.

Максимальная величина возмущения от давления излучения Солнца (SRP) будет определяться индивидуальными характеристиками спутника и рассчитывается (в км) как:

$$\delta_{SRP} < 1000^{*}Cr^{*}A/M,$$

где *Cr* — коэффициент отражательной способности спутника в начале срока эксплуатации, колеблется от 1 до 2 в зависимости от характеристик его поверхности; *A* — площадь ракурса спутника, подвергающаяся воздействию Солнца ($м^2$); *M* — сухая масса спутника (кг). В итоге

$$\delta = \delta_{GRAV} + \delta_{SRP}.$$

Соотношение *A/M*, как правило, составляет до 0,01 до 0,1 в зависимости от характеристик спутника [8].

Требования к предельно допустимым уровням эквивалентной плотности потока мощности

Как правило, мощности передатчиков спутников не указываются в открытой печать, но всегда нормируются предельно допустимые уровни плотности потока мощности или эквивалентной плотности потока мощности у поверхности Земли от спутников как международными документами (обычно МСЭ-Р), так и российскими нормативными актами (решения Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ), постановления Правительства, санитарные правила).

Данные о допустимых пределах плотности потока мощности, излучаемой космическими станциями, приводятся также в статье 2 Регламента радиосвязи [6].

Если интересует диапазон частот 6700–7075 МГц, в котором потребуется определить максимальную суммарная плотность потока мощности, то это можно сделать, воспользовавшись Рекомендацией МСЭ-Р S.1256-0 [9].

Методология имитационного моделирования для определения статистик кратковременных помех между спутниковыми системами различного назначения и оценки уровней эквивалентной плотности потока мощности для систем фиксированной спутниковой связи на негеостационарных орбитах даны в Рекомендации ITU-R S.1325 [10].

 © Авторы статьи / Authors of the article

Среди отечественных нормативных документов, которые определяют ограничение на плотность потока мощности, создаваемого излучениями космических станций системы спутниковой связи следует указать Решения ГКРЧ [11], [12], [13], а также Постановление Правительства РФ [14].

Отметим, что, зная уровень плотности потока мощности у поверхности Земли, а также частоту, ширину полосы частот излучения передатчика спутника и его высоту над поверхностью Земли, можно оценить уровень эффективной излучаемой мощности передатчика спутника на различных орбитах, используя соответствующие математические модели для потерь распространении излучений в пространстве [15]. При этом в качестве первого приближения для таких расчетов может подойти модель распространения излучений в свободном пространстве, в которой

$$L=32{,}4 + 20\lg f + 20\lg r,$$

где L — потери, дБ; f — частота излучения, МГц; r — расстояние, км, на котором оцениваются потери.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

• требования к орбитальным позициям космических аппаратов определены, в основном, только для аппаратов, находящихся на геостационарных орбитах. Основным документом, в котором сформулированы данные требования, является Регламент радиосвязи (статьи 21, 22 [6]);

• допуски на определенные орбитальные характеристики космических станций, развернутых в рамках систем на негеостационарных спутниковых орбитах для предоставления услуг фиксированной спутниковой связи, спутникового вещания или мобильной спутниковой связи, даются в [7];

• значения мощности передатчиков космических аппаратов указываются косвенно через плотность потока мощности излучения у поверхности Земли;

• данные, представленные в рассмотренных международных и отечественных документах, определяющих требования к орбитальным позициям космических аппаратов и к параметрам излучений передатчиков, могут служить основой для определения электромагнитной обстановки с целью последующей оценки ЭМС между спутниками, находящимися на разных орбитах.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации по теме: «Разработка фрагмента модельной гибридной орбитально-наземной сети связи и проведение прикладных научных исследований на её базе», соглашение № 071-03-2026-010.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.48.1

Funding

The study was carried out with financial support from the Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation on the topic: "Development of a fragment of a model hybrid orbital-terrestrial communication network and conducting applied scientific research based on it", agreement No. 071-03-2026-010.

Conflict of Interest

None declared.

Review

Community of Reviewers of the International Research Journal
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.48.1

Список литературы / References

1. Киричек Р.В. Архитектура гибридной орбитально-наземной сети связи для бесшовного сетецентричного управления беспилотными системами / Р.В. Киричек // Электросвязь. — 2025. — № 9. — С. 22–37.

2. Иванов О.А. Анализ состояния и тенденций развития гибридных наземно-спутниковых систем связи на геостационарных орбитах / О.А. Иванов, Е.Е. Девяткин, М.В. Иванкович [и др.] // Электросвязь. — 2025. — № 10. — С. 2–12.

3. Аль-Кереа З.А.Х. Архитектурная эволюция сетей: распределенный интеллект и конвергенция космических, воздушных, наземных и подводных сетей связи / З.А.Х. Аль-Кереа, А.С.А. Мутханна, А.Е. Кучерявый // Электросвязь. — 2025. — № 10. — С. 63–71.

4. Антипин Б.М. Расчет электромагнитной совместимости радиооборудования пункта управления беспилотной авиационной системы со стационарными наземными радиоэлектронными средствами / Б.М. Антипин, Е.М. Виноградов, Е.И. Туманова [и др.] // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. — 2024. — № 3 (64). — С. 7–24.

5. ГОСТ 30372-95/ГОСТ Р 50397-92. Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. — Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. — URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/5fe/4294824936.pdf (дата обращения: 03.09.2026).

6. Регламент радиосвязи 2024 // МСЭ. — URL: https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2024/ (дата обращения: 03.09.2026).

7. World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23) Final Acts // ITU. — URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.16-2024-PDF-R.pdf (accessed: 03.09.2026).

8. Рекомендация МСЭ-R S.1003-2. Защита геостационарной спутниковой орбиты как окружающей среды // МСЭ. — URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1003-2-201012-I/en (дата обращения: 03.09.2026).

9. Рекомендация МСЭ-R S.1256-0. Методология определения максимальной суммарной плотности потока мощности на геостационарной спутниковой орбите в полосе 6700–7075 МГц от фидерных линий негеостационарных спутниковых систем подвижной спутниковой службы в направлении космос–земля // МСЭ. — URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1256/en (дата обращения: 03.09.2026).

10. Recommendation S.1325. Simulation methodologies for determining statistics of short term interference between co frequency, codirectional non-geostationary-satellite orbit fixed-satellite service systems in circular orbits and other non-geostationary fixed satellite service systems in circular orbits or geostationary-satellite orbit fixed satellite service networks // ITU. — URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1325/en (accessed: 03.09.2026).

11. Решение ГКРЧ № 20-54-03-1 от 17.03.2020. О выделении полос радиочастот, внесении изменений в решения ГКРЧ и продлении срока действия решений ГКРЧ. — URL: https://e-ecolog.ru/docs/QWbFjA6hcjzwSVQcd-J2x/1 (дата обращения: 03.09.2026).

12. Решение ГКРЧ № 22-65-05 от 23.12.2022. О выделении полос радиочастот, внесении изменений в решения ГКРЧ и продлении срока действия решений ГКРЧ и прекращении действия решений ГКРЧ. — URL: https://base.garant.ru/406192695/ (дата обращения: 03.09.2026).

13. Решение ГКРЧ № 10-07-01 от 15.07.2010. О выделении полос радиочастот для радиоэлектронных средств любительской и любительской спутниковой служб. — URL: https://srr.ru/wp-content/uploads/2026/06/Proekt_izmenij_v_Reshenie_GKRCH_ot_15.07.2010_10_07_01_v.1.pdf (дата обращения: 03.09.2026).

14. Постановление Правительства РФ от 18.09.2019 № 1203. Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации. — URL: http://government.ru/docs/all/123896/ (дата обращения: 03.09.2026).

15. Антипин Б.М. Анализ моделей для оценки потерь распространения сигналов при расчетах электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Б.М. Антипин, Е.М. Виноградов // Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. — 2021. — № 1 (76). — С. 233–235.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kirichek R.V. Arkhitektura gibridnoj orbital'no-nazemnoj seti svyazi dlya besshovnogo setetsentricheskogo upravleniya bespilotnymi sistemami [Architecture of a hybrid orbital-ground communication network for seamless network-centric control of unmanned systems] / R.V. Kirichek // Ehlektrosvyaz' [Telecommunications]. — 2025. — № 9. — P. 22–37. [in Russian]

2. Ivanov O.A. Analiz sostoyaniya i tendentsij razvitiya gibridnykh nazemno-sputnikovykh sistem svyazi na geostatsionarnykh orbitakh [Analysis of the status and development trends of hybrid non-terrestrial networks in geostationary orbits] / O.A. Ivanov, E.E. Devyatkin, M.V. Ivankovich [et al.] // Ehlektrosvyaz' [Telecommunications]. — 2025. — № 10. — P. 2–12. [in Russian]

3. Al-Kerea Z.A.Kh. Arkhitekturnaya ehvolyutsiya setej: raspredelennyj intellekt i konvergentsiya kosmicheskikh, vozdushnykh, nazemnykh i podvodnykh setej svyazi [Architectural evolution of networks: distributed intelligence and convergence of space, air, ground and underwater communication networks] / Z.A.Kh. Al-Kerea, A.S.A. Mutkhanna, A.E. Kucheryavyj // Ehlektrosvyaz' [Telecommunications]. — 2025. — № 10. — P. 63–71. [in Russian]

4. Antipin B.M. Raschet ehlektromagnitnoj sovmestimosti radiooborudovaniya punkta upravleniya bespilotnoj aviatsionnoj sistemy so statsionarnymi nazemnymi radioehlektronnymi sredstvami [Calculation of electromagnetic compatibility of radio equipment of an unmanned aircraft system control point with stationary ground-based radio-electronic facilities] / B.M. Antipin, E.M. Vinogradov, E.I. Tumanova [et al.] // Doklady Akademii nauk vysshej shkoly Rossijskoj Federatsii [Reports of the Academy of Sciences of the Higher School of the Russian Federation]. — 2024. — № 3 (64). — P. 7–24. [in Russian]

5. GOST 30372-95/GOST R 50397-92. Mezhgosudarstvennyj standart. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv ehlektromagnitnaya. Terminy i opredeleniya [Interstate standard. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Terms and definitions]. — Moscow : IPK Standarts Publishing House, 2001. — URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/5fe/4294824936.pdf (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

6. Reglament radiosvyazi 2024 [Radio Regulations 2024] // MSMEH [ITU]. — URL: https://www.itu.int/hub/publication/r-reg-rr-2024/ (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

7. World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23) Final Acts // ITU. — URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.16-2024-PDF-R.pdf (accessed: 03.09.2026).

8. Rekomendatsiya MSMEH-R S.1003-2. Zashchita geostatsionarnoj sputnikovoj orbity kak okruzhayushchej sredy [Recommendation ITU-R S.1003-2. Protection of the geostationary satellite orbit as an environment] // MSMEH [ITU]. — URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1003-2-201012-I/en (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

9. Rekomendatsiya MSMEH-R S.1256-0. Metodologiya opredeleniya maksimal'noj summarnoj plotnosti potoka moshchnosti na geostatsionarnoj sputnikovoj orbite v polose 6700–7075 MGts ot feedernykh linij negeostatsionarnykh sputnikovykh sistem podvizhnoj sputnikovoj sluzhby v napravlenii kosmos–zemlya [Recommendation ITU-R S.1256-0. Methodology for determining the maximum aggregate power flux density at the geostationary satellite orbit in the 6700–7075 MHz band from feeder links of non-geostationary mobile-satellite service systems in the space-to-Earth direction] // MSMEH [ITU]. — URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1256/en (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

10. Recommendation S.1325. Simulation methodologies for determining statistics of short term interference between co frequency, codirectional non-geostationary-satellite orbit fixed-satellite service systems in circular orbits and other non-geostationary fixed satellite service systems in circular orbits or geostationary-satellite orbit fixed satellite service networks // ITU. — URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-S.1325/en (accessed: 03.09.2026).

 © Авторы статьи / Authors of the article

11. Reshenie GKRCH № 20-54-03-1 ot 17.03.2020. O vydelenii polos radiochastot, vnesenii izmenenij v resheniya GKRCH i prodlenii sroka dejstviya reshenij GKRCH [Decision of the SCRF No. 20-54-03-1 of March 17, 2020. On the allocation of radio frequency bands, amendments to SCRF decisions and extension of the validity of SCRF decisions]. — URL: https://e-ecolog.ru/docs/QWbFjA6hcjzwSVQcd-J2x/1 (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

12. Reshenie GKRCH № 22-65-05 ot 23.12.2022. O vydelenii polos radiochastot, vnesenii izmenenij v resheniya GKRCH i prodlenii sroka dejstviya reshenij GKRCH i prekrashchenii dejstviya reshenij GKRCH [Decision of the SCRF No. 22-65-05 of December 23, 2022. On the allocation of radio frequency bands, amendments to SCRF decisions, extension of the validity of SCRF decisions and termination of SCRF decisions]. — URL: https://base.garant.ru/406192695/ (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

13. Reshenie GKRCH № 10-07-01 ot 15.07.2010. O vydelenii polos radiochastot dlya radioehlektronnykh sredstv lyubitel'skoj i lyubitel'skoj sputnikovoj sluzhb [Decision of the SCRF No. 10-07-01 of July 15, 2010. On the allocation of radio frequency bands for radio-electronic means of amateur and amateur-satellite services]. — URL: https://srr.ru/wp-content/uploads/2026/06/Proekt_izmenij_v_Reshenie_GKRCH_ot_15.07.2010_10_07_01_v.1.pdf (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

14. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 18.09.2019 № 1203. Ob utverzhdenii Tablitsy raspredeleniya polos radiochastot mezhdu radiosluzhbami Rossijskoj Federatsii i priznanii utrativshimi silu nekotorykh postanovlenij Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii [Decree of the Government of the Russian Federation No. 1203 of September 18, 2019. On approval of the Table of distribution of radio frequency bands between radio services of the Russian Federation and recognition as invalid of certain decrees of the Government of the Russian Federation]. — URL: http://government.ru/docs/all/123896/ (accessed: 03.09.2026). [in Russian]

15. Antipin B.M. Analiz modelej dlya otsenki poter' rasprostraneniya signalov pri raschetakh ehlektromagnitnoj sovmestimosti radioehlektronnykh sredstv [Analysis of models for estimating signal propagation losses in calculations of electromagnetic compatibility of radio-electronic devices] / B.M. Antipin, E.M. Vinogradov // Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya Sankt-Peterburgskogo NTO REHS im. A.S. Popova, posvyashchennaya Dnyu radio [Scientific and Technical Conference of the St. Petersburg Scientific and Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communications named after A.S. Popov, dedicated to Radio Day]. — 2021. — № 1 (76). — P. 233–235. [in Russian]