

МЕЖДУНАРОДНЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ: ИТОГИ СИМПОЗИУМА ЭМС ЕВРОПА-24

DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-9-36-40

Manuscript received 05 September 2024;
Accepted 17 September 2024

Тихвинский Валерий Олегович,
МВТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия;
Севастопольский государственный университет, г.
Севастополь; ФГБУ НИИР, Москва, Россия,
vtniir@mail.ru

Ключевые слова: электромагнитная
совместимость, EMC Europe-24, диапазон частот

В статье рассмотрены новейшие научные достижения в области электромагнитной совместимости, представленные на международном региональном симпозиуме по электромагнитной совместимости "EMC Europe 24" ведущими научно-исследовательскими организациями по ЭМС, европейскими, азиатскими, африканскими и южно-американскими университетами, а также крупнейшими компаниями, производителями микроэлектроники, автомобильными и авиационными компаниями. Симпозиум "EMC Europe", является ведущим международным региональным симпозиумом по электромагнитной совместимости и продолжает давнюю традицию регулярных международных симпозиумов по ЭМС, организованных в Европе. На симпозиуме рассматривались вопросы: ЭМС сетей 5G, 6G и Интернета вещей (IoT); стандарты и правила, управление ЭМС, образование ЭМС; ЭМС на основе рисков, электромагнитная устойчивость; ЭМС в приложениях безопасности и охраны, в промышленных условиях и в военных приложениях; электромагнитная среда, молниезащита, преднамеренные ЭМП и ЭМИ, мощные электромагнитные помехи, электростатические разряды; проводная и беспроводная связь, UWB, связь по линиям электропередач, управление спектром; автомобильные, железнодорожные, военно-морские, авиационные и космические системы. Представлены результаты исследований по оценке ЭМС влияния передатчиков устройств Wi-Fi (сетей RLAN) на радиоприемные устройства 5G, применение моделей, разработанных для оценки экранирующих свойств широкого класса изделий, изготовленных из композитных материалов, исследования характеристик и разработке моделей нелинейности усилителей радиочастоты (УРЧ) диапазона FR1 сетей 5G с целью их последующего применения при решении проблем ЭМС радиооборудования мобильной (сотовой) связи в сложной ЭМО, создаваемой в полосах частот 4G/5G и др.

Информация об авторе:

Тихвинский Валерий Олегович, профессор, д.э.н., профессор МВТУ им. Н.Э. Баумана, Севастопольского государственного университета, главный научный сотрудник ФГБУ НИИР, Москва, Россия

Для цитирования:

Тихвинский В.О. Международные региональные проблемы электромагнитной совместимости: итоги симпозиума ЭМС Европа-24 // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №9. С. 36-40.

For citation:

Tikhvinsky V.O. International regional problems of electromagnetic compatibility: results of the symposium EMC Europe-24. T-Comm, vol. 18, no. 9, pp. 36-40. (in Russian)

Введение

В период с 2 по 5 сентября 2024 г. в г. Брюгге (западная Бельгия) в Центре конгрессов и собраний VMCC состоялся второй значимый международный региональный симпозиум по электромагнитной совместимости "EMC Europe -24", другой – азиатско-тихоокеанский симпозиум АРЕМС-24 прошел в конце мая 2024 г. в г. Наха на о. Окинава (Япония). Симпозиум "EMC Europe -24" собрал более 700 участников из более 50 стран мира, которые представляли ведущие научно-исследовательские организации по ЭМС, европейские, азиатские, африканские и южно-американские университеты, а также крупнейшие компании, производители микроэлектроники, автомобильные и авиационные компании.

Симпозиум "EMC Europe", является ведущим международным региональным симпозиумом по электромагнитной совместимости и продолжает давнюю традицию регулярных международных симпозиумов по ЭМС, организованных в Европе: во Вроцлавском техническом университете начиная с 1972 г. (было проведено 20 ежегодных симпозиумов) и в Цюрихском техническом университете (также 20 ежегодных симпозиумов с 1973 г.), а также других европейских симпозиумов, которые были организованы в Риме (с 1994 г.), а затем в городах Брюгге, Сорренто, Эйндховене, Барселоне и Гамбурге. Каждый из этих трех симпозиумов по ЭМС проводился раз в два года.

Начиная с 2010 г. эти научные форумы были объединены в "EMC Europe" – Международный симпозиум и выставку по электромагнитной совместимости. Теперь симпозиум "EMC Europe" ежегодно организуется в одном из европейских городов с научным центром ЭМС, чтобы обеспечить этот международный форум встречей ведущих ученых и специалистов для обмена технической информацией по ЭМС. Совместные симпозиумы "EMC Europe" были организованы в г. Вроцлаве (2010, 2016), г. Йорке (2011), Риме (2012, 2020), Брюгге (2013), Гётенбурге (2014, 2022), Дрездене (2015), г. Анжере (2017), Амстердаме (2018), Барселоне (2019) и Глазго (2021 – виртуально) – эти симпозиумы стали совместными симпозиумами Международного симпозиума IEEE по ЭМС и симпозиума "EMC Europe".

Проблемы электромагнитной совместимости, рассмотренные на EMC Europe-24

На 15 сессиях симпозиума "EMC Europe-24" были рассмотрены следующие вопросы: ЭМС сетей 5G, 6G и Интернета вещей (IoT) [1]; стандарты и правила, управление ЭМС, образование ЭМС; ЭМС на основе рисков [2, 3], электромагнитная устойчивость; ЭМС в приложениях безопасности и охраны [4, 5]; ЭМС в промышленных условиях и на предприятиях; ЭМС в военных приложениях [6-8]; электромагнитная среда, молниезащита [9], преднамеренные ЭМП и ЭМИ, мощные электромагнитные помехи, электростатические разряды; проводная и беспроводная связь [10, 11], UWB, связь по линиям электропередач, управление спектром; автомобильные, железнодорожные, военно-морские, авиационные и космические системы.

На пленарном заседании были сделаны два доклада, связанные с проблемами управления научными программами исследований по вопросам электромагнитной совместимости в рамках работы Европейского агентства по исследованиям REA и компании Филипс по вопросам обеспечения ЭМС медицинских приборов при их применении в современной медицине.

Первый доклад специалистов REA представил возможности кооперации ученых в рамках международных докторских программ исследований как формы объединения усилий ученых и специалистов разных стран [12] при решении проблем ЭМС в виде временных творческих объединений при централизованном финансировании на международном региональном уровне с общим объемом 606 млн. евро в ближайшие три года. Главное целевое финансирование программы – 417 млн. Евро при этом направлено на финансирование исследований аспирантов, исследующих проблемы ЭМС на университетском уровне и объединение их усилий в единой сетевой структуре исследователей перспектив ЭМС. Кроме результативности исследований программа уделяет большое внимание инновационности и патентованию полученных результатов.

Второй доклад был посвящен вопросам управления ЭМС на основе рисков функциональной безопасности при проектировании медицинских устройств. Ввиду того, что электромагнитные среды становятся менее предсказуемыми, то прохождение испытаний на ЭМС на основе действующих нормативов не означает, что медицинское устройство будет безопасно и эффективно в предполагаемой среде использования. Для снижения рисков функциональной безопасности медицинских устройств предложено сочетание решения вопросов электромагнитной совместимости и функциональной безопасности в ходе проектирования для достижения комплексного решения безопасности медицинских устройств.

Традиционно, более 10 лет одной из важных секций симпозиума "EMC Europe" была сессия, организуемая учеными научно-исследовательской лаборатории ЭМС Бело-



русского государственного университета информатики и радиоэлектроники (НИЛ ЭМС БГУИР, <https://emc.bsuir.by/>), посвященная комплексной диагностике ЭМС сложных систем и возглавляемая профессором БГУИР Мордачевым В.И. На сессии было сделано несколько интересных докладов.

Доклад профессора Мордачева В.И. был посвящен разработке технологии анализа статистических характеристик электромагнитной обстановки (ЭМО) у земной поверхности, создаваемой излучениями мега-созвездий низкоорбитальных спутников связи типа Starlink, OneWeb и т.п. Им представлена методика прогноза средней интенсивности электромагнитного фона (ЭМФ), создаваемого этими спутниками, основанная на разработанной автором статистической теории ЭМО и связывающая средние уровни ЭМФ с количеством спутников в группировке, параметрами их излучений по основным и боковым лепесткам, высотами орбит и ограничениями по углу места обслуживания наземного оборудования.

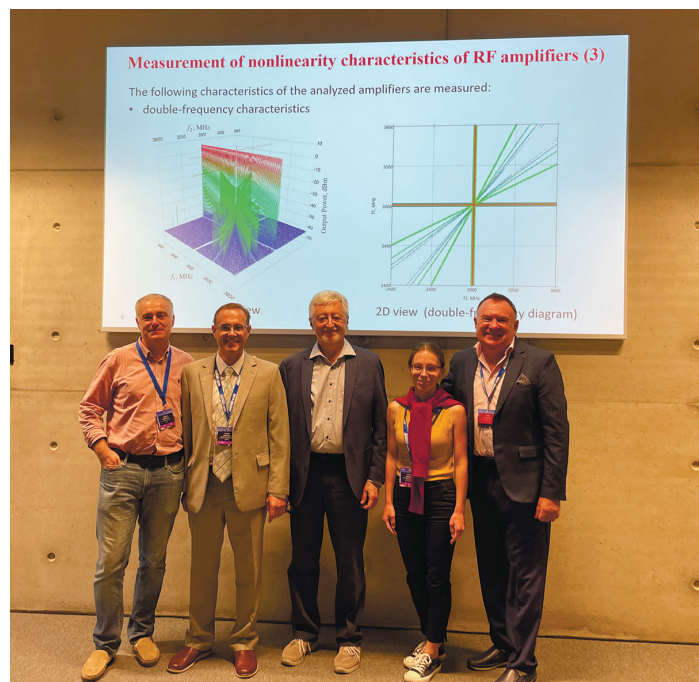
Представленные результаты расчетов показали, что ожидаемые уровни ЭМФ диапазона СВЧ, создаваемого мега-созвездиями низкоорбитальных спутников связи, безопасны, т.к. на много порядков ниже принятого предельно допустимого уровня радиочастотного ЭМФ для населения, но в то же время на много порядков превышают уровни ЭМФ естественного происхождения, что существенно меняет физические характеристики среды обитания и требует серьезного внимания и анализа.

В ходе сессии с двумя докладами от международной кооперации ученых выступил заместитель заведующего НИЛ ЭМС БГУИР Синькевич Е.В. Его первый доклад был посвящен результатам экспериментальных исследований характеристик и разработке моделей нелинейности усилителей радиочастоты (УРЧ) [13] диапазона FRI сетей 5G с целью их последующего применения при решении проблем ЭМС радиооборудования мобильной (сотовой) свя-

зи в сложной ЭМО, создаваемой в полосах частот 4G/5G.

Измерения характеристик усилителей проведены с использованием оригинальной технологии двухчастотного зондирования в диапазоне $n7$ (2500-2570/2620-2690 МГц) который выделен в Республике Беларусь для систем мобильной связи 4G, и диапазона частот $n78$ (3300-3800 МГц) систем мобильной связи 5G. На основе результатов измерений двухчастотных характеристик усилителей, их односигнальных амплитудных характеристик, а также двухсигнальных амплитудных характеристик и значений динамического диапазона по интермодуляции 3-, 5-, 7- и 9-го порядков в первой гармонической зоне синтезированы полиномиальные модели 27-37 порядков, адекватно описывающие передаточные характеристики исследуемых усилителей как в области малой нелинейности, так и в области насыщения. Синтезированные модели охватывают широкий динамический диапазон входных воздействий при одновременном анализе нелинейных эффектов всех видов, включая интермодуляцию, блокирование и перекрестные искажения. При использовании оригинальной технологии дискретного нелинейного анализа ЭМС, которая при фиксированном порядке полиномиальных моделей передаточных характеристик УРЧ инвариантна к сложности ЭМО, полученные модели обеспечивают высокую эффективность количественного анализа нелинейных процессов и радиопомех, возникающих в оборудовании и сетях 4G/5G при любом практически достижимом количестве входных нежелательных сигналов, распределенных в динамическом диапазоне до 120 дБ.

Второй доклад Синькевича Е.В. представил применение моделей, разработанных для оценки экранирующих свойств широкого класса изделий, изготовленных из композитных материалов: силиконовых и резиновых проводящих прокладок, проводящих клеев и красок, поглощающих панелей. Модели позволяют рассчитать эффективность экранирования прокладок и провести анализ погло-



тителей на основе их геометрических параметров и общих сведений о внутренней структуре композитного материала. Аналитическая модель проводимости композитных материалов с токопроводящими наполнителями, основанная на теории перколяции, обладает высокой вычислительной эффективностью и применима в широком диапазоне частот; она применяется для описания экранирующих свойств токопроводящего силикона, резины, токопроводящих материалов на основе вспененного полиуретана, а также для оценки отражательной способности и экранирующих свойств панелей поглотителя.

Эмпирическая модель для оценки эффективности экранирования прокладками, изготовленными из композитных материалов, основана на представлении прокладки в виде эквивалентной проволочной сетки; данная модель может быть использована при проектировании электромагнитной защиты системы в случае, когда информация о внутреннем строении прокладки из композитного материала отсутствует. Справедливость разработанных моделей была подтверждена путем сравнения с результатами экспериментов в диапазоне частот от 800 МГц до 16 ГГц.

В этой сессии симпозиума "EMC Europe -24" принял участие член Редакционной коллегии журнала, профессор, д.э.н. Тихвинский В.О. с докладом от коллектива ученых, в котором были представлены результаты теоретических исследований по оценке ЭМС влияния передатчиков устройств Wi-Fi (сетей RLAN) на радиоприемные устройства 5G (абонентские устройства UE и базовые станции gNB) в диапазоне 6425-7125 МГц в условиях плотной городской застройки. В частности, в докладе было отмечено, что на ВКР-23 (Дубай, ОАЭ) полосы частот 6425-7125 МГц в Районе 1, в некоторых странах в Районе 2 и 7025-7125 МГц в Районе 3 определены для использования Администрациями связи, желающими внедрить наземный компонент Международной подвижной электросвязи (IMT), включая IMT-2020/5G. Некоторые Администрации связи планируют одновременно внедрить сети 5G и Wi-Fi на общих частотных каналах, так и RLAN в этой верхней половине диапазона частот 6 ГГц [14, 15].

Расчеты показали, что в условиях плотной городской застройки в частотном диапазоне 6425-7125 МГц передатчики базовых станций gNB сетей 5G на расстояниях более 50 м. от Wi-Fi, находящихся внутри зданий, не влияют на устройства LBT, предназначенные для запрета работы Wi-Fi в условиях непреднамеренного воздействия помех в рабочем канале. На основе полученных авторами результатов вероятностной оценки ЭМС (SEAMCAT 5.5.0) были оценены уровни снижения пропускной способности абонентских устройств UE и базовых станций gNB при групповом воздействии 50, 100 и 200 передающих устройств Wi-Fi на них и сделан вывод о невозможности совместной работы без частотных разносов, о чем было доложено на симпозиуме "EMC Europe-24".

Следующий этап проведения международных региональных симпозиумов по ЭМС в 2025 году будет включать проведение симпозиумов АРЕМС-25 в мае на о. Тайвань (Китай) и "EMC Europe-25" в Париже (Франция).

Литература

1. Буслаев А.П., Кучелев Д.А., Яшина М.В. Динамические системы и математические модели трафика информации // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 3. С. 22-38.
2. Козлов С.В., Кубанков А.Н. Процессные основы интеграции и комплексного развития информационных, управляющих, роботизированных, телекоммуникационных систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 1. С. 23-31.
3. Dokuchaev V.A., Maklachkova V.V., Statev V.Yu. Classification of personal data security threats in information systems // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 1. С. 56-60.
4. Буренин А.Н., Легков К.Е. Вопросы безопасности инфокоммуникационных систем и сетей специального назначения: основные угрозы, способы и средства обеспечения комплексной безопасности сетей // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 3. С. 46-61.
5. Захарченко Р.И., Королев И.Д. Методика оценки устойчивости функционирования объектов критической информационной инфраструктуры функционирующей в киберпространстве // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 2. С. 52-61.
6. Чиров Д.С., Лобов Е.М. Выбор сигнально-кодовой конструкции для командно-телеметрической линии радиосвязи с беспилотными летательными аппаратами средней и большой дальности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 10. С. 21-28.
7. Чертова О.Г., Чиров Д.С. Построение опорной сети связи на базе малоразмерных беспилотных летательных аппаратов с отсутствием наземной инфраструктуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 3. С. 60-71.
8. Буренин А.Н., Легков К.Е., Оркин В.В. Алгоритм адаптивного управления информационными системами в условиях массовых возмущений // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 90-95.
9. Богачков И.В. Обнаружение натяженных участков в оптических волокнах на основе метода бриллюэновской рефлектометрии // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 12. С. 85-91.
10. Chirov D.S., Lobova E.O. Wideband hf signals dispersion distortion compensator based on digital filter banks. Theory and approximation // Т-Comm. 2020. Т. 14. № 4. С. 57-65.
11. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Растягаев Д.В., Скворцова Ю.И. Численное моделирование распространения пространственно-временных частотно-модулированных радиоволн в анизотропной среде // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 9. С. 40-47.
12. Dymkova S.S. Identifying and implementing successful scientific projects, in the framework of 'IEEE technology and engineering management society' events // В сборнике: 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020. Proceedings. New York, 2020. С. 9261533.
13. Varlamov O. Research of influence of drm broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters // Т-Comm. 2014. Т. 8. № 2. С. 59-60.
14. V. Tikhvinskiy, E. Deviatkin, A. Aitmagambetov, A. Kulakaeva. Provision of IoT services for CO-located 4G/5G networks utilisation with dynamic frequency sharing // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 : Proceedings, Vienna, 20-22 октября 2020 года. P. 9261526. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261526. EDN AEBDVQ.
15. Pastukh A., Tikhvinskiy V., Dymkova S.S., Varlamov O.V. Challenges of using the I-band and s-band for direct-to-cellular satellite 5G-6G NTN systems // Technologies. 2023. Т. 11. № 4. С. 110.

INTERNATIONAL REGIONAL PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY: RESULTS OF THE SYMPOSIUM EMC EUROPE-24

Valery O. Tikhvinskiy, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;
Sevastopol State University, Sevastopol; FSBI NIIR, Moscow, Russia, vtniir@mail.ru

Abstract

The article reviews the latest scientific achievements in the field of electromagnetic compatibility, presented at the international regional symposium on electromagnetic compatibility "EMC Europe 24" by the leading EMC research organizations, European, Asian, African and South American universities, as well as the largest companies, microelectronics manufacturers, automotive and aviation companies. The symposium "EMC Europe" is the leading international regional symposium on electromagnetic compatibility and continues a long tradition of regular international symposiums on EMC, organized in Europe. The symposium considered the following issues: EMC of 5G, 6G networks and the Internet of Things (IoT); standards and rules, EMC management, EMC education; risk-based EMC, electromagnetic immunity; EMC in safety and security applications, in industrial environments and in military applications; Electromagnetic environment, lightning protection, intentional EMF and EMP, high-power electromagnetic interference, electrostatic discharges; wired and wireless communications, UWB, power line communications, spectrum management; automotive, rail, naval, aviation and space systems. The article presents the results of studies on the EMC impact assessment of Wi-Fi device transmitters (RLAN networks) on 5G radio receivers, the application of models developed for the assessment of shielding properties of a wide range of products made of composite materials, the study of characteristics and the development of nonlinearity models of radio frequency amplifiers (RFAs) of the FRI range of 5G networks for their subsequent application in solving EMC problems of mobile (cellular) radio equipment in complex EMO created in the 4G/5G frequency bands, etc.

Keywords: electromagnetic compatibility, EMC Europe-24, frequency range.

References

- [1] A.P. Buslaev, D.A. Kuchelev, M.V. Yashina, "Dynamic systems and mathematical models of information traffic," *T-Comm*. 2018. Vol. 12. No. 3. Pp. 22-38.
- [2] S.V. Kozlov, A.N. Kubankov, "Process foundations of integration and comprehensive development of information, control, robotic, telecommunication systems," *Science-intensive technologies in space research of the Earth*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 23-31.
- [3] V.A. Dokuchaev, V.V. Maklachkova, V.Yu. Statev, "Classification of personal data security threats in information systems," *T-Comm*. 2020. Vol. 14. No. 1. Pp. 56-60.
- [4] A.N. Burenin, K.E. Legkov, "Security issues of infocommunication systems and special-purpose networks: main threats, methods and means of ensuring comprehensive network security," *High-tech in space research of the Earth*. 2015. Vol. 7. No. 3. Pp. 46-61.
- [5] R.I. Zakharchenko, I.D. Korolev, "Methodology for assessing the sustainability of critical information infrastructure facilities operating in cyberspace," *High-tech in space research of the Earth*. 2018. Vol. 10. No. 2. Pp. 52-61.
- [6] D.S. Chirov, E.M. Lobov, "Selection of a signal-code design for a command-telemetry radio communication line with medium- and long-range unmanned aerial vehicles," *T-Comm*. 2017. Vol. 11. No. 10. Pp. 21-28.
- [7] O.G. Chertova, D.S. Chirov, "Construction of a backbone communication network based on small-sized unmanned aerial vehicles in the absence of ground infrastructure," *High-tech in space research of the Earth*. 2019. Vol. 11. No. 3. Pp. 60-71.
- [8] A.N. Burenin, K.E. Legkov, V.V. Orkin, "Algorithm for adaptive control of information systems under conditions of mass disturbances," *High-tech in space research of the Earth*. 2017. Vol. 9. No. 6. Pp. 90-95.
- [9] I.V. Bogachkov, "Detection of strained sections in optical fibers based on the Brillouin reflectometry method," *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No. 12. Pp. 85-91.
- [10] D.S. Chirov, E.O. Lobova, "Wideband hf signals dispersion distortion compensator based on digital filter banks. Theory and approbation," *T-Comm*. 2020. Vol. 14. No. 4. Pp. 57-65.
- [11] A.S. Kryukovsky, D.S. Lukin, D.V. Rastyagaev, Yu.I. Skvortsova, "Numerical modeling of the propagation of spatio-temporal frequency-modulated radio waves in an anisotropic medium," *T-Comm*. 2015. Vol. 9. No. 9. Pp. 40-47.
- [12] S.S. Dymkova, "Identifying and implementing successful scientific projects, in the framework of 'IEEE technology and engineering management society' events," *2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020*. Proceedings. New York, 2020. Pp. 9261533.
- [13] O. Varlamov, "Research of influence of drm broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters," *T-Comm*. 2014. Vol. 8. No. 2. Pp. 59-60.
- [14] V. Tikhvinskiy, E. Deviatkin, A. Aitmagambetov, A. Kulakaeva. Provision of IoT services for CO-located 4G/5G networks utilization with dynamic frequency sharing // *2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020: Proceedings*, Vienna, October 20-22, 2020. P. 9261526. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261526. EDN AEBDVQ.
- [15] A. Pastukh, V. Tikhvinskiy, S.S. Dymkova, O.V. Varlamov, "Challenges of using the l-band and s-band for direct-to-cellular satellite 5G-6G NTN systems," *Technologies*. 2023. Vol. 11. No. 4. Pp. 110.

Information about author:

Valery O. Tikhvinskiy, professor, Doctor of Economics, professor of the Bauman Moscow State Technical University, Sevastopol State University, chief researcher of the Federal State Budgetary Institution Research Institute of Radio Engineering, Moscow, Russia