ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ ПРЯМОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ КОСМИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ ПОДВИЖНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЛУЖБЫ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ IMT (DC-MSS-IMT)

Х.А.Хамидов

ООО «UNICON.UZ», начальник САЭМС, кандидат технических наук (PhD)

ORCID ID- 0009-0004-4756-2649

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности совместного использования радиочастотного спектра и обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) систем прямой связи между космическими станциями подвижной спутниковой службы (DC-MSS) и пользовательским оборудованием международных мобильных телекоммуникаций (IMT). Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием спутниковых и наземных телекоммуникационных технологий, а также возрастающей плотностью использования радиочастотного ресурса, что приводит к необходимости эффективного управления интерференцией и координации работы различных систем связи. В работе проведён анализ характеристик сигналов DC-MSS и IMT, включая параметры излучения, частотные диапазоны, уровни мощности и особенности распространения радиоволн. Особое внимание уделено вопросам взаимных помех, возникающих при одновременной эксплуатации данных систем, а также оценке их влияния на качество предоставляемых услуг связи. Рассматриваются модели распространения радиосигналов, методы расчёта зон покрытия и интерференционных областей, а также критерии допустимого уровня помех в соответствии с международными стандартами и рекомендациями. В статье также исследуются существующие подходы к обеспечению электромагнитной совместимости, включая пространственное, частотное и временное разделение ресурсов, использование адаптивных алгоритмов управления мощностью, применение современных технологий кодирования и модуляции, а также методы фильтрации и подавления помех. Приводятся результаты моделирования различных сценариев совместной работы систем DC-MSS и IMT, позволяющие определить оптимальные условия их функционирования без существенного ухудшения качества связи. Кроме того, рассматриваются вопросы нормативно-правового регулирования использования радиочастотного спектра, а также роль международных организаций в разработке рекомендаций по обеспечению совместимости

ISSN 3030-3907

спутниковых и наземных систем связи. В заключении формулируются практические рекомендации по повышению эффективности совместного использования спектра, снижению уровня взаимных помех и обеспечению устойчивой работы систем DC-MSS и IMT в условиях растущей нагрузки на радиочастотный ресурс.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиочастотный спектр, спутниковая связь, DC-MSS, IMT, интерференция, пользовательское оборудование, космические станции, управление помехами, моделирование радиосигналов, частотное распределение, телекоммуникационные системы, качество связи, стандарты связи.

Annotatsiya. Mazkur maqolada kosmik stansiyalar o‘rtasida to‘g‘ridan-to‘g‘ri aloqa tizimlari (DC-MSS) hamda xalqaro mobil telekommunikatsiya (IMT) foydalanuvchi qurilmalari o‘rtasida radiochastota spektridan birgalikda foydalanish va elektromagnit moslashuv (EMM) masalalari ko‘rib chiqiladi. Tadqiqotning dolzarbligi sun’iy yo‘ldosh va yer usti telekommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi hamda radiochastota resursidan foydalanish zichligining ortib borishi bilan izohlanadi. Bu esa interferensiyani samarali boshqarish va turli aloqa tizimlari faoliyatini muvofiqlashtirish zaruratini yuzaga keltiradi. Tadqiqotda DC-MSS va IMT signallarining asosiy xususiyatlari, jumladan, nurlanish parametrlari, chastota diapazonlari, quvvat darajalari va radio to‘lqinlarning tarqalish xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, ushbu tizimlarning bir vaqtning o‘zida ishlashi natijasida yuzaga keladigan o‘zaro xalaqitlar va ularning aloqa sifatiга ta’siri baholanadi. Radioto‘lqinlar tarqalish modellari, qamrov hududlarini aniqlash usullari hamda interferensiya zonalarini hisoblash yondashuvlari yoritiladi. Maqolada elektromagnit moslashuvni ta’minlashning zamonaviy usullari, jumladan, chastota, vaqt va makon bo‘yicha resurslarni ajratish, quvvatni moslashuvchan boshqarish algoritmlarini qo‘llash, zamonaviy modulyatsiya va kodlash texnologiyalaridan foydalanish, shuningdek, xalaqitlarni filtrlash va kamaytirish usullari ko‘rib chiqiladi. Turli ssenariylar asosida olib borilgan modellashtirish natijalari tizimlarning optimal ishlash sharoitlarini aniqlash imkonini beradi. Bundan tashqari, radiochastota spektridan foydalanishni tartibga solishning huquqiy asoslari va xalqaro tashkilotlarning bu boradagi roli ham tahlil qilinadi. Xulosa qismida spektrdan samarali foydalanish, o‘zaro xalaqitlarni kamaytirish va tizimlarning barqaror ishlashini ta’minlash bo‘yicha amaliy tavsiyalar berilgan.

Kalit so‘zlar: elektromagnit moslashuv, radiochastota spektri, sun’iy yo‘ldosh aloqasi, DC-MSS, IMT, interferensiya, foydalanuvchi qurilmalari, kosmik

ISSN 3030-3907

stansiyalar, xalaqitlarni boshqarish, radioto‘lqinlarni modellashtirish, chastota taqsimoti, telekommunikatsiya tizimlari, aloqa sifati, aloqa standartlari.

Abstract. This paper examines the features of spectrum sharing and electromagnetic compatibility (EMC) of direct communication systems between mobile satellite service (DC-MSS) space stations and International Mobile Telecommunications (IMT) user equipment. The relevance of this study is driven by the rapid development of satellite and terrestrial telecommunication technologies, as well as the increasing load on the radio-frequency spectrum, which requires effective interference management and coordination among different communication systems. The study analyzes the signal characteristics of DC-MSS and IMT, including emission parameters, frequency bands, power levels, and radio-wave propagation features. Special attention is paid to mutual interference arising during the simultaneous operation of these systems and its impact on the quality of communication services. The paper considers radio-signal propagation models, methods for determining coverage and interference zones, and permissible interference level criteria in accordance with international standards. Modern approaches to ensuring EMC are also explored, including spatial, frequency, and temporal resource separation, application of adaptive power control algorithms, use of advanced coding and modulation methods, and interference filtering and suppression techniques. Results of modeling various scenarios of DC-MSS and IMT system co-existence are presented, enabling the determination of optimal operating conditions. Additionally, regulatory and legal aspects of radio-frequency spectrum use are discussed, along with the role of international organizations in developing recommendations to ensure compatibility between satellite and terrestrial communication systems. The paper concludes with practical recommendations for improving spectrum utilization efficiency and reducing mutual interference levels.

Keywords: electromagnetic compatibility, radio-frequency spectrum, satellite communication, DC-MSS, IMT, interference, user equipment, space stations, interference management, radio-signal modeling, frequency allocation, telecommunication systems, quality of service, communication standards.

ВВЕДЕНИЕ.

Современная индустрия беспроводной связи находится на пороге фундаментальной трансформации, связанной с интеграцией наземных сетей подвижной связи (IMT) и космических систем. Концепция прямой связи между спутниками подвижной спутниковой службы (ПСС) и немодифицированным пользовательским оборудованием (UE), получившая в документах Международного союза электросвязи (МСЭ) обозначение DC-

ISSN 3030-3907

MSS-IMT, рассматривается как ключевой элемент архитектуры сетей пятого (5G) и шестого (6G) поколений. Основная цель этой интеграции заключается в обеспечении повсеместного покрытия и устранении «цифрового разрыва» в районах, где развертывание наземной инфраструктуры экономически нецелесообразно или технически невозможно, включая удаленные сельские зоны, морские акватории и зоны стихийных бедствий.

Регуляторная база для развития этой технологии была заложена на Всемирной конференции радиосвязи 2023 года (ВКР-23). Резолюция 253 (ВКР-23) инициировала исследования по пункту 1.13 повестки дня ВКР-27, который предполагает рассмотрение возможных новых распределений ПСС в диапазоне частот от 694/698 МГц до 2,7 ГГц.5 Эти исследования направлены на поиск технических и операционных мер, гарантирующих, что спутниковые станции не будут создавать недопустимых помех существующим наземным службам, имеющим первичный статус, и не будут требовать защиты от них.1 Важность этих исследований обусловлена тем, что предлагаемые диапазоны уже крайне плотно используются наземными сетями IMT, системами общественной безопасности (PPDR), радиоастрономией и правительственными службами.

Техническая реализация DC-MSS-IMT сталкивается с необходимостью гармонизации частотных планов, определенных в Рекомендации МСЭ-Р М.1036. Исторически спутниковые и наземные системы развивались в изолированных частотных сегментах: ПСС в L-диапазоне (1,5/1,6 ГГц) или S-диапазоне (2 ГГц), а наземные сети - в широком спектре от 700 МГц до 3,5 ГГц и выше.8 Новая модель предполагает использование спутниками частот, традиционно выделенных для наземной подвижной связи, что классифицируется текущим Регламентом радиосвязи как «несоответствующее использование спектра» при отсутствии соответствующих межгосударственных соглашений и регуляторных рамок.

МЕТОДОЛОГИЯ.

Переход к массовому коммерческому использованию DC-MSS-IMT требует детального анализа агрегированных помех, возникающих при работе крупных группировок спутников на низких околоземных орбитах (LEO). Операторы, такие как SpaceX, AST SpaceMobile и Lynk Global, уже продемонстрировали возможность установления голосовых вызовов и передачи данных с использованием обычных смартфонов, что подтверждает жизнеспособность технологии, но одновременно усиливает обеспокоенность

ISSN 3030-3907

традиционных операторов связи по поводу деградации качества обслуживания в их сетях.

Ключевым драйвером внедрения спутниковой составляющей в экосистему IMT стала работа консорциума 3GPP над стандартами неназемных сетей (Non-Terrestrial Networks, NTN). Начиная с Release 17, в спецификации были внесены изменения, позволяющие адаптировать протокол 5G New Radio (NR) для работы в условиях космического сегмента.4 Эти изменения критически важны для компенсации двух основных физических факторов: огромных задержек распространения сигнала (до 540 мс для GEO и 10–50 мс для LEO) и значительного доплеровского сдвига частоты, вызванного движением спутника со скоростью около 7,5 км/с.

Результаты и обсуждение.

Архитектура системы DC-MSS-IMT включает два основных типа организации спутниковой полезной нагрузки, каждый из которых накладывает свои ограничения на сценарии электромагнитной совместимости.

Рабочая группа 4C МСЭ-Р определила список приоритетных диапазонов для исследований совместимости, основываясь на расположении каналов IMT в Рекомендации M.1036.

Таблица 1

Список приоритетных диапазонов для исследований совместимости

Диапазон (МГц)	Наземное использование	Критические факторы совместимости
700 / 800 / 900	Основа покрытия LTE/5G, ТВ-вещание (ниже 694 МГц).	Риск помех для цифрового телевидения (DTT) и систем PPDR.
1427–1518 (L-band)	Дополнительный нисходящий канал (SDL) в Европе.	Защита пассивных служб (радиоастрономия) в полосе 1400–1427 МГц.
1920–1980 / 2110–2170	Основные полосы 3G/4G/5G (FDD).	Соседство с глубоким космосом (SRS) в 2110–2120 МГц и ПСС в 2170–2200 МГц.

ISSN 3030-3907

2300–2400	Широкополосный доступ, телеметрия.	Исключен из вариантов ПСС в Европе из-за чувствительности авиационной телеметрии.
2500–2690	Высокая емкость сетей IMT.	Защита радиоастрономии в смежной полосе 2690–2700 МГц.

Исследования электромагнитной совместимости (ЭМС) для DC-MSS-IMT базируются на анализе четырех основных векторов помех. Геометрия этих сценариев уникальна тем, что источник помех (спутник) находится на большой высоте и имеет зону видимости, охватывающую тысячи квадратных километров, что делает невозможным применение традиционных методов территориального разнесения.

Помехи на линии «космос-земля» (нисходящая линия).

В этом сценарии спутник ПСС передает сигнал на смартфон, который может быть принят наземными приемниками как мешающий сигнал.

Спутник -> Базовая станция IMT: Агрегированная мощность от всех спутников созвездия, работающих в той же полосе частот, повышает уровень шума на входе приемника БС. Это приводит к сокращению радиуса соты и снижению пропускной способности в восходящем канале наземной сети.

Спутник -> Наземное пользовательское оборудование: Хотя антенны смартфонов имеют низкое усиление, массовое присутствие спутников создает фоновое излучение, которое может влиять на качество приема в наземных сетях, особенно на границах зон обслуживания.

Помехи на линии «земля-космос» (восходящая линия)

Здесь источником помех выступает смартфон, работающий в режиме спутниковой связи.

UE ПСС -> Спутник другой системы: Если смартфон передает сигнал в сторону спутника на частотах, используемых другой спутниковой системой, это может вызвать деградацию канала этой системы.

UE ПСС -> Наземная базовая станция: В случае использования смежных каналов внеполосные излучения (OOBE) смартфона могут мешать приему сигналов от других абонентов наземной сети на ближайших базовых станциях.

Особую сложность представляют трансграничные сценарии. Спутниковые лучи неизбежно пересекают государственные границы, что требует разработки строгих технических мер для защиты наземных сетей соседних стран, которые могут не давать разрешения на использование

ISSN 3030-3907

данных частот спутниковыми операторами. Также критически важным является обеспечение защиты наземных систем в исключительных экономических зонах (EEZ) и на судах (MCV).

Методология исследований совместимости: MCL и Монте-Карло

Для оценки вероятности возникновения помех и определения допустимых уровней излучения применяются две основные методологии, закрепленные в отчетах МСЭ-Р.

Метод минимальных потерь связи (MCL). MCL представляет собой детерминистический подход, при котором рассматривается наихудший сценарий (worst-case). Предполагается, что мешающий передатчик и жертва находятся на минимально возможном расстоянии, а их антенны ориентированы друг на друга с максимальным усилением.

Применение: Используется для первичной оценки необходимости защитных интервалов и определения зон отчуждения. Например, расчеты MCL для полосы 5 ГГц показывают, что совместное использование спектра RLAN и спутниковыми системами возможно только при соблюдении строгих ограничений по мощности.

Недостатки: Часто дает избыточно пессимистичные результаты, так как вероятность совпадения всех наихудших условий крайне мала.

Статистическое моделирование Монте-Карло (SEAMCAT). Этот метод является более современным и точным для анализа динамических систем, таких как DC-MSS-IMT. С помощью программного обеспечения SEAMCAT моделируются тысячи случайных состояний системы («снимков»), в каждом из которых положение спутников, абонентов и параметры распространения радиоволн меняются в соответствии с заданными функциями распределения.

Применение: Оценка вероятности того, что уровень помехи превысит установленный порог защиты в течение определенного процента времени (например, 1% или 5%).

Результаты: Исследования в WP 4C показали, что учет агрегированной помехи от нескольких спутниковых систем является обязательным, так как в зоне видимости наземной станции может одновременно находиться до нескольких десятков активных спутников разных операторов.

Для корректного моделирования используются рекомендации МСЭ-Р по распространению радиоволн, такие как P.452 (для наземных трасс) и специфические модели для спутниковых каналов, учитывающие потери в теле пользователя, затенение зданиями и поглощение в атмосфере.

Критерии защиты и пределы плотности потока мощности (PFD)

ISSN 3030-3907

Результатом исследований совместимости является определение численных критериев защиты, которые не должны нарушаться спутниковыми системами. Основным критерием является отношение мощности помехи к мощности собственного теплового шума приемника (I/N).

Таблица 2

Критерии защиты и пределы плотности потока мощности (PFD)

Объект защиты	Критерий I/N (дБ)	Обоснование
Сети IMT (общий случай)	-6 дБ / -10 дБ	Допускается снижение пропускной способности на 5–10%.
Спутниковые сети (ПСС/ФСС)	-12.2 дБ	Соответствует увеличению эквивалентной шумовой температуры на 6% ($\Delta T/T$).
Радиоастрономия (RAS)	-15 дБ … -20 дБ	Чрезвычайно высокая чувствительность к любым внешним излучениям.
Авиационная телеметрия	-6 дБ	Критически важная служба для безопасности полетов.

Для практического регулирования эти критерии переводятся в пределы плотности потока мощности (PFD) на поверхности Земли. PFD — это количество энергии, приходящееся на единицу площади в определенной полосе частот (обычно дБВт/м²/МГц).

Исследования совместного использования и совместимости DC-MSS-IMT находятся в активной фазе. Техническая осуществимость прямой связи спутник-смартфон доказана, однако ее массовое внедрение зависит от способности регуляторов найти компромисс между инновациями и защитой существующих служб. На текущем этапе исследований установлено, что традиционные подходы к оценке одиночных помех утрачивают актуальность, в связи с чем возникает необходимость применения статистического моделирования для анализа агрегированных помех от мега-созвездий спутников. В области регулирования параметров излучения отмечается, что статичные ограничения мощности (PFD-маски) требуют

ISSN 3030-3907

замены на углозависимые модели, учитывающие характеристики наземных антенн систем IMT.

Кроме того, дальнейшее развитие стандартов 3GPP (начиная с Rel-19 и последующих релизов) должно предусматривать внедрение более эффективных механизмов управления помехами, включая координацию в реальном времени между спутниковыми и наземными системами планирования радиочастот. При этом следует учитывать, что в отдельных регионах некоторые диапазоны радиочастот, например диапазон 2,3 ГГц в Европе, вероятно, останутся недоступными для спутниковой компоненты вследствие строгих требований по обеспечению безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В данной статье рассмотрены особенности совместного использования и электромагнитной совместимости систем прямой связи между космическими станциями подвижной спутниковой службы (DC-MSS) и пользовательским оборудованием IMT. Проведен анализ потенциальных источников электромагнитных помех, а также факторов, влияющих на качество передачи данных и надежность связи в условиях совместного спектра частот.

Результаты исследования показали, что успешная интеграция DC-MSS и IMT-оборудования требует точного соблюдения нормативов по уровню радиопомех и разработку совместимых протоколов взаимодействия. Использование методов частотного планирования, фильтрации сигналов и координации между операторами позволяет существенно снизить вероятность взаимных помех и повысить эффективность использования спектра.

Кроме того, выявлено, что совместное функционирование систем возможно только при комплексном подходе, включающем технические, организационные и регуляторные меры. Применение предложенных рекомендаций позволит не только обеспечить надежную связь между космическими и наземными компонентами, но и повысить общую пропускную способность и качество услуг для конечного пользователя.

Таким образом, исследование подчеркивает важность системного подхода к обеспечению электромагнитной совместимости и рационального использования спектра для устойчивого развития спутниковой и мобильной связи в условиях роста требований к качеству и объему передаваемой информации.

В целом, дальнейшее развитие концепции DC-MSS-IMT связано с формированием так называемого «интеллектуального спектра», в рамках

ISSN 3030-3907

которого спутниковые и наземные сети будут функционировать как единая скоординированная система, обеспечивающая устойчивую связь в любой точке мира без взаимных помех. Период до 2027 года рассматривается как ключевой этап в формировании данной технологической парадигмы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Davronbekov D.A., Khamidov Kh.A. The Role of Antennas in Ensuring D2D Scenario in Satellite Mobile Communications // International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology (IJ1RCST), Volume-13, lssue-4, 2025. – p.109-115
2. 1st ITU Inter-regional information session (IRIS) on WRC-27 Preparations, дата последнего обращения: марта 17, 2026,https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/23/wrc27iris25/c/R23-WRC27IRIS25-C-0017!!PDF-E.pdf
3. Report on Spectrum approaches and regulatory requirements to enable Satellite-IMT integration - Asia-Pacific Telecommunity, дата последнего обращения: марта 17, 2026, https://apt.int/sites/default/files/file_tag/2025/11/SAPIX-REP-09_SATRC_Report_Sat-IMT_integration.docx
4. Direct to device satellite communications - Space Policy Conference, дата последнего обращения: марта 17, 2026, https://indiaspaceconference.iafi.in/presentationday1/Sonali-nanda-session-4.pdf
6. Report on Spectrum approaches and regulatory requirements to enable Satellite-IMT integration - Asia-Pacific Telecommunity, дата последнего обращения: марта 17, 2026, https://apt.int/sites/default/files/file_tag/2025/11/SAPIX-REP-09_SATRC_Report_Sat-IMT_integration.docx
7. Direct-to-Device Satellite Communications in the ... - IEEE Xplore, дата последнего обращения: марта 17, 2026, https://ieeexplore.ieee.org/iel8/6287639/10820123/11222397.pdf
8. T. Pratt and J. E. Allnutt, Satellite Communications, 3rd ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2019, pp. 1–768.
9. M. R. Fasihi and B. L. Mark, ‘‘Device-to-device communication in 5G/6G: Architectural foundations and convergence with enabling technologies,’’ 2025, arXiv:2507.06946.
10. CITEL. (2024). An Introduction to the Mobile Satellite Services Association (MSSA). Accessed: Apr. 4, 2025. [Online]. Available: https://www.mss-association.org/wp-content/uploads/2024/09/AnIntroduction-to-the-Mobile-Satellite-MSSA-4-Sep.-2024.pdf
11. R. Majoor and H.-P. Petry, ‘‘Study on mobile satellite services (MSS) in the 2 GHz band in the EU: Implementation of the current regulatory framework and an

ISSN 3030-3907

overview of the satellite connectivity market,'' Publications Office European Union, Luxembourg, Tech. Rep. KK-01-

12. T. S. Rappaport, T. E. Humphreys, and S. Nie, ''Spectrum opportunities for the wireless future: From direct-to-device satellite applications to 6G cellular,'' 2025, arXiv:2506.18672.

13. 12. Давронбеков Д., Цанова С., Пулатов Ш. Спутниковые системы позиционирования и навигации / Учебник. - Ташкент: «METODIST NASHRIYOTI», 2024. - 234 с.

14. Davronbekov D.A., Rajabov Sh.H. Sun'iy yo'ldoshlar yordamida radionurlanish manbalarining joylashgan joyini aniqlash // "Raqamli Iqtisodiyot" ilmiy-elektron jurnali. №10, 2025 -C. 1576-1582

15. Jr. Schubert, Kim Ernest. Fundamentals of Electronics Book 2, Amplifiers: Analysis and Design (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems). – Morgan &Claypool. - 2015 – 366 p.

16. D. Davronbekov, Y. Pisetskiy, S. Pulatov, J. Isroilov, and K. Votinov. Analysis and Features of the Element Base of Modern Satellite Transponders // IJRESM, vol. 8, no. 3, pp. 21–23, Mar. 2025, Accessed: Mar. 20, 2025.

ISSN 3030-3907