

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 623.61:005.6; DOI: 10.61260/2218-130X-2025-4-54-64

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОСТАВНЫХ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ

✉ Дворников Сергей Викторович;

Падишин Сергей Александрович;

Ирза Анастасия Николаевна.

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, Россия.

Васильева Дина Владимировна.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия

✉ practiccsv@yandex.ru

Аннотация. Цель данной работы заключается в разработке научно-методического аппарата, позволяющего проводить оценку оперативной готовности составных линий радиосвязи, отличающуюся более высоким информационным содержанием за счет учета показателя готовности сети профессора Дворникова. Для достижения поставленной цели проведен анализ методического обеспечения по оценке готовности сетей, представленного в ГОСТ 53111–2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования». Результаты исследования показали, что аналитический аппарат, рекомендованный ГОСТ 53111–2008, в ряде случаев дает одинаковые показатели оценки оперативной готовности для составных радиолиний с различной топологической структурой. Вместе с тем разработанный аналитический аппарат позволяет учесть указанные различия. Разработанные предложения могут быть использованы при оценке оперативной готовности сетей, развертываемых в интересах управления и информационного обеспечения подразделений МЧС России на удаленных территориях.

Ключевые слова: составная радиолиния, показатель профессора Дворникова, оценка оперативной готовности составной радиолинии, показатели устойчивости и живучести сети

Для цитирования: Предложения по оценке эффективности составных линий радиосвязи / С.В. Дворников [и др.] // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2025. № 4. С. 54–64. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-4-54-64.

Scientific article

PROPOSALS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF COMPOSITE RADIO COMMUNICATION LINES

✉ Dvornikov Sergey V.;

Padishin Sergey A.;

Irza Anastasia N.

**Military Telecommunication Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S.M.,
Saint-Petersburg, Russia.**

Vasilieva Dina V.

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia

✉ practiccsv@yandex.ru

Abstract. The objective of this work is to develop a scientific and methodological apparatus that allows for the assessment of the operational readiness of composite radio communication lines, characterized by a higher information content due to the consideration of the network readiness indicator of Professor Dvornikov.

To achieve this objective, an analysis of the methodological support for assessing the network readiness presented in GOST 53111–2008 «Sustainability of the public communication network» was carried out. The results of the study showed that the analytical apparatus recommended by GOST 53111–2008 in some cases gives the same indicators for assessing the operational readiness for composite radio links with different topological structures. At the same time, the developed analytical apparatus allows taking into account the specified differences. The developed proposals can be used to assess the operational readiness of networks deployed in the interests of management and information support of EMERCOM of Russia units in remote areas.

Keywords: composite radio link, Professor Dvornikov's indicator, assessment of the operational readiness of a composite radio link, network stability and survivability indicators

For citation: Proposals for assessing the effectiveness of composite radio communication lines / S.V. Dvornikov [et al.] // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 4. P. 54–64. DOI: 10.61260/2218-130X-2025-4-54-64.

Введение

Работа подразделений МЧС России, как правило, происходит в сложных физико-географических условиях на неподготовленных в инженерном плане территориях [1]. В такой обстановке для организации управления и инфокоммуникационного обеспечения подразделений используют радиосети с иерархическим распределением приоритета [2].

Учитывая значительную удаленность возникающих чрезвычайных ситуаций, в частности при возникновении лесных пожаров [3], в радиосетях нередко используют составные радиолинии, которые оснащаются штатными средствами связи [4, 5]. С формальных позиций использование типового оборудования якобы позволяет организовывать радиолинии с одинаковыми параметрами, например пропускной способностью и достоверностью передачи. Однако на практике это сложно обеспечить ввиду различия условий прохождения радиоволн на различных трассах, а также возникновением непреднамеренных помех, обусловленных ограниченностью выбора частотного диапазона [6, 7]. Поэтому оценку эффективности таких сетей необходимо проводить с учетом всех перечисленных факторов.

В настоящей статье представлены предложения по оценке эффективности (готовности) составных радиолиний на основе разработанного научно-методического аппарата.

Особенности организации радиосетей и радионаправлений в подразделениях МЧС России

В подразделениях МЧС России сети и направления радиосвязи организуются в соответствии с требованиями Руководства по радиосвязи Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, утвержденного приказом МЧС России от 26 декабря 2018 г. № 633 [8].

Согласно ст. 22 указанного документа, понятие радионаправления определено как способ организации радиосвязи между корреспондентами, работающими с общими радиоданными. А составная радиолиния, согласно ст. 29, рассматривается как организация радиосвязи через промежуточные радиостанции, которая организуется в тех случаях, когда дистанция связи превышает дальность действия штатных радиостанций.

На каждой составной части таких радиолиний используются новые радиоданные в интересах обеспечения автоматической ретрансляции сообщений [9, 10]. Очевидно, что в таких условиях сложно обеспечить одинаковые условия прохождения сигналов на каждой из частей радиолиний, поскольку будет изменяться не только среда распространения сигналов для различных частот, но и, возможно, дистанции связи. Кроме того, негативным фактором выступает и неравномерность загруженности различных частей частотного диапазона, приводящая к возникновению взаимных помех, снижающих качество приема [11, 12].

И если для радиостанций старого парка с жестко фиксированными параметрами передачи обусловленный характер рассмотренных факторов не играл существенной роли, то для систем с адаптацией параметров это принципиально [13].

Поэтому в качестве целевой установки авторы определили разработку научно-методического аппарата, позволяющего проводить оценку оперативной готовности составных линий радиосвязи, отличающуюся более высоким информационным содержанием за счет учета показателя готовности сети, обоснованного профессором Дворниковым.

Методы оценки готовности радиосетей и радионаправлений

В настоящее время для оценки устойчивости функционирования радиосетей и радионаправлений разработан ГОСТ 53111–2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования» [14].

Согласно указанного ГОСТ, ст. 5.10 в качестве одного из наиболее распространенных источников деструктивного воздействия, влияющих на эффективность функционирования радиолиний, рассматриваются внешние дестабилизирующие факторы (ВДФ) [15, 16], в качестве которых выступают электромагнитные излучения различной интенсивности, проявляющиеся в диапазоне частот. При этом источники ВДФ могут быть как искусственного, так и естественного происхождения (ст. 5.13).

В ст. 5.17 строго определено, что наибольшую угрозу для устойчивости радиосетей и радионаправлений представляют отдельные удаленные источники пространственного действия или же многочисленные источники локального действия, которые способны производить ВДФ в течение относительно коротких интервалов времени с различных направлений.

Следует отметить, что указанный ГОСТ 53111–2008 четко обозначает: устойчивость линий радиосвязи во многом определяется структурой их построения (ст. 5.27).

В качестве базовой оценки устойчивости (надежности и живучести) сетей и линий связи ГОСТ 53111–2008 определена вероятность связности, которую рекомендуют проводить расчетным путем. Причем параметрами выступают коэффициент готовности канала (КГК) и коэффициент оперативной готовности (КОГ) [17].

КГК элементов сети, то есть радиолиний, используется для оценки надежности.

$$K_{\Gamma} = T_{\text{O}} / (T_{\text{O}} + T_{\text{B}}),$$

где T_{O} – среднее время наработки на отказ радиолинии (составной части радиолинии); T_{B} – среднее время восстановления ее работоспособности.

Критерием отказа выступает значение вероятности битовой ошибки $p_{\text{B}} = 10^{-3}$ [18], проявляющееся в течение не менее 10 с на длительности сеанса. А КОГ применяют для оценки живучести сети.

$$K_{\text{ор}} = P(T)K_{\Gamma}$$

где K_{Γ} – коэффициент готовности; $P(T)$ – значение вероятности сохранения работоспособности радиолинии в условиях воздействия ВДФ.

При этом величину КОГ предложено рассчитывать как вероятность связности между двумя абонентами [19].

В качестве методического аппарата расчета оценки связности сети, ГОСТ 53111-2008 предложено использовать аналитический аппарат перебора простых цепей между элементами графа.

Сущность такого перебора заключается в том, что для выбранных узлов связи, рассматриваемых в качестве полюсов графа сети, устанавливают все соединения с соседними узлами.

И под событием связности сети (составной радиолинии) понимают такое событие, при котором между «истоком» и «стоком» графа, используемого для формализации сети, существует хотя бы одна простая цепь [20]. Если же между полюсами сети (составной радиолинии) в работоспособном состоянии нет ни одной простой цепи, то такое состояние сети определено как событие несвязности сети (составной радиолинии).

Далее, в соответствии с рекомендуемой в работе [14] методикой, на графе сети выделяют все простые цепи μ_{ij}^k между выделенной парой узлов связи (полюсов графа) v_i и v_j сети. Затем при заданных значениях КОГ для всех элементов графа рассчитывают связность двухполюсной сети между выделенными узлами v_i и v_j сети посредством обычного объединения простых цепей и учетом эффекта поглощения.

При этом в ходе практических расчетов перечень простых цепей (путей между узлами) выбирают только те, которые содержат допустимое число транзитных участков, зависящее от допустимого уровня искажений передаваемой по линии связи информации. Число транзитных участков определяет ранг простых цепей: r_{max} .

Таким образом, полный перечень простых цепей между узлами связи определяется с учетом максимально допустимого числа транзитных участков (ограничения ранга простых цепей) [21].

Связность p_{ij}^k k -го пути μ_{ij}^k из всей совокупности цепей μ_{ij} определена как совместная вероятность исправного состояния радионаправления из состава сети (исправного состояния всех вершин и ребер графа)

$$p_{ij}^k = \prod_{a \in \mu_{ij}^k} (1 - q_a) = \prod_{a \in \mu_{ij}^k} p_a, \quad (1)$$

где p_a – КОГ a -го элемента последовательности вершин и ребер, принадлежащих μ_{ij}^k пути; $(1 - q_a)$ – коэффициент неготовности a -го элемента последовательности вершин и ребер, принадлежащих μ_{ij}^k пути.

При проведении реальных расчетов показатель $(1 - q_a)$ является более удобным, чем КОГ.

Таким образом, показатель связность p_{ij} между узлами графа v_i и v_j можно рассматривать как вероятность исправного состояния хотя бы одной из простых цепей при условии ограничения числа транзитных участков r_{\max} , которое выступает как ранг сети:

$$p_{ij} = p_{ij}^{\max} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in \mu_{ij}} (1 - p_{ij}^k) \quad (2)$$

Поскольку в реальных условиях цепи взаимозависимы, то есть граф может иметь общие ребра и общие вершины, то результирующее значение p_{ij} может быть завышенным.

Более эффективным показатель (2) будет, если в нем все члены, имеющие показатель степени больше единицы, приравнять к единице. Такое решение позволяет исключить из рассмотрения повторный учет коэффициента готовности совместного ребра или совместной вершины. В математике такая операция получила название «поглощение» и обозначается символом Е [21]. Тогда формулу для вычисления связности сети (элемента сети) можно привести к виду:

$$p_{ij} = E \left\{ p_{ij}^{\max} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in \mu_{ij}} (1 - p_{ij}^k) \right\} \quad (3)$$

Число сомножителей в формулах (2) и (3) будет равно количеству простых цепей, в то время как число перемножаемых сомножителей в формуле (1) равно числу ребер и вершин в одной цепи. То есть показатели надежности и живучести, определяемые (2) и (3) для двухполюсного графа, более предпочтительны.

Предложения по совершенствованию научно-методического аппарата оценки готовности составных линий радиосвязи

Вместе с тем анализ выражений (2) и (3) показывает, что получаемое на их основе решение недостаточно полно характеризует анализируемую сеть, в частности, ее составные линии радиосвязи.

В качестве примера на рисунке демонстрируются две составные радиосети, характеризуемые одинаковыми значениями КОГ $p_a = 0,24$.

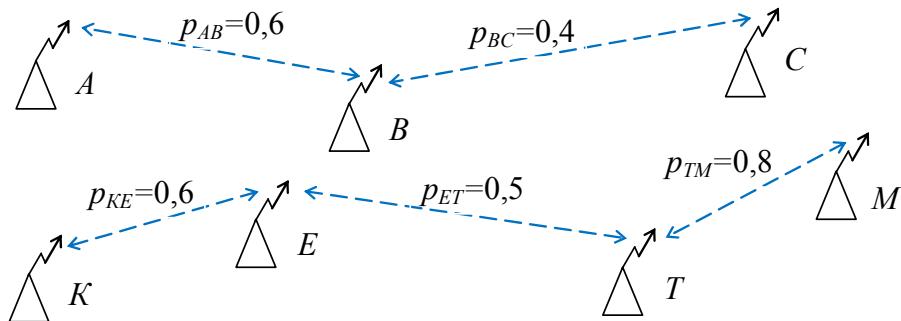


Рис. Пример топологии построения составных сетей с одинаковым значением КОГ

Представленные на рисунке составные радиолинии имеют не только различную конфигурацию, но и различное количество составных элементов. При этом суммарное значение КОГ у них одинаковое. То есть:

$$p_{AC} = p_{KM} = 0,24$$

Очевидно, что при прочих равных условиях составная радиолиния ABC является более предпочтительной, чем линия $KETM$, поскольку первая имеет меньше пролетов, чем вторая. Однако показатель этот факт не учитывает, и пользователю выдаст одинаковый результат. Следовательно, необходим поиск новых показателей оценки готовности применительно к рассматриваемой тематике составных радиолиний. Один из таких базируется на использовании показателя готовности сети, предложенного и обоснованного профессором Дворниковым:

$$p_{\max}^N = \frac{N}{\left(\sum_{i=1}^N p_i \right)^N},$$

где N – количество составных частей радиолинии; p_i – значение КОГ i -й части радиолинии при условии, что $i \in N$.

Особенность показателя в том, что он определяет потенциально максимальное значение КОГ при условии, что

$$\left(\sum_{i=1}^N p_i \right) = \text{const} \quad (4)$$

То есть для условия (4) параметр готовности сети профессора Дворникова всегда определяет ее максимальное значение.

Данный вывод сделан исходя из того, что для анализа ряда, представленного в условии (5), максимальное произведение его членов будет обеспечено только в том случае, если сомножители имеют одинаковое значение.

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,1 \times 0,9 = 0,09 \\ 0,2 \times 0,8 = 0,16 \\ 0,3 \times 0,7 = 0,21 \\ 0,4 \times 0,6 = 0,24 \\ 0,5 \times 0,5 = 0,25 \\ \hline \sum_{i=1}^2 a_i = 1 \rightarrow \text{const} \end{array} \right. \quad (5)$$

Условие (5) выполнимо для ряда с любым числом сомножителей. Тогда, используя показатель профессора Дворникова, условие (1) можно переписать к виду:

$$p^N = \frac{N \times \prod_{i=1}^N p_i}{\left(\sum_{i=1}^N p_i \right)^N} = N \times \prod_{i=1}^N p_i \times \left(\sum_{i=1}^N p_i \right)^{-N}$$

Теперь расчет показателя КОГ для составных радиолиний, представленных на рисунке, дает следующие результаты: для первой составной радиолинии $p_{AC} = 0,96$, а для второй – $p_{KM} = 0,94$.

То есть результат на основе показателя профессора Дворникова позволяет заключить, что готовность первой составной радиолинии выше, чем второй, что является объективным следствием того, что первая радиолиния, состоит всего лишь из двух составных частей.

Заключение

Проведенные исследования показали, что для оценки оперативной готовности составных радиолиний более информативным является показатель профессора Дворникова, который демонстрирует степень приближения готовности составной радиолинии к ее оптимальному значению для заданных параметров.

Дальнейшие исследования авторы связывают с разработкой аналитического аппарата оценки оперативной готовности иерархических сетей, а также расчета показателей живучести сетей в условиях разнонаправленного воздействия ВДФ на ее элементы, используя наработки [22–25].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-79-10259).

Список источников

1. Симонов К.М., Никитюк М.Ю. Анализ ведения аварийно-спасательных работ спасательными воинскими формированиями МЧС России в условиях военных конфликтов // Проблемы обеспечения общественной безопасности: теория, история, практика: материалы Междунар. науч. конф. Москва, 2024. С. 66–73. EDN CIYOCQ.
2. Добрякова Е.И. Исследование закономерностей работы подразделений МЧС в условиях военного конфликта // Научный вестник НИИГД Респиратор. 2024. № 1 (61). С. 106–117. EDN UXUOAN.
3. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео / Д.В. Васильева [и др.] // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2023. № 4. С. 47–58. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-47-58. EDN TQYCOI.
4. Совершенствование тактики действий спасательных воинских формирований (СВФ) МЧС России: сб. трудов XXXI Междунар. науч.-практ. конф. Химки, 2021. 119 с. EDN KXXBMJ.
5. Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Составной тракт доведения информации до робототехнических комплексов в северных морях // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 2–27. EDN YSMMPG.
6. Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А. Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 6. С. 4–9. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. EDN KHPWMU.
7. Петриева О.В. Электромагнитная защищенность УКВ и транкинговой радиосвязи в условиях взаимных непреднамеренных помех // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 9-1(77). С. 93–98. EDN UZWDAK.
8. Об утверждении и введении в действие Руководства по радиосвязи Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 26 дек. 2018 г. № 633. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
9. Степанов Л.А. Энергетические соотношения в составной интегрированной радиолинии // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2008. № 1. С. 62–68. EDN ITDHKV.

10. Дворников С.В., Дворников С.С., Пшеничников А.В. Аппарат анализа частотного ресурса для режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Информационно-управляющие системы. 2019. № 4 (101). С. 62–68. DOI: 10.31799/1684-8853-2019-4-62-68. EDN VUYYFO.
11. Защита от структурных помех радиоканалов с частотной манипуляцией / С.В. Дворников [и др.] // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 3. С. 193–198. EDN YHCWCR.
12. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И. Теоретико-игровой алгоритм формирования сети, учитывающий взаимные помехи узлов // Пятнадцатая нац. конф. по искусственноому интеллекту с междунар. участием: тр. конф.: в 3-х т. Смоленск: Универсум, 2016. С. 311–318. EDN WZOVRZ.
13. Сравнительная эффективность сотовых систем связи, использующих адаптивную модуляцию и кодирование, и систем с управлением мощностью / Д.Д.Н. Беван [и др.] // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2001. Т. 44. № 12. С. 1050–1061. EDN AXEBER.
14. ГОСТ Р 53111–2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
15. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Манаенко С.С. Помехоустойчивая модель сигнала КАМ-16 с трансформированным созвездием // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 9. С. 685–689. EDN UMHSMF.
16. Кругликов С.В., Филипченко И.В., Зализко А.Ю. Способы повышения устойчивости телекоммуникационной сети специального назначения к воздействию внешних дестабилизирующих факторов // Вестник Академии военных наук. 2018. № 4 (65). С. 141–153. EDN XRFOXC.
17. Гельфман Т.Э., Пирхавка А.П. Коэффициент оперативной готовности спутниковых сетей связи // Russian Technological Journal. 2022. Т. 10. № 1. С. 35–40. DOI: 10.32362/2500-316X-2022-10-1-35-40. EDN KVSYFM.
18. Методика трансформации сигнального созвездия сигнала КАМ-16 с изменением его формы / А.Ю. Гужва [и др.] // Электросвязь. 2015. № 2. С. 28–31. EDN TIRREJ.
19. Фокин А.Б. Метод расчета вероятностей связности (коэффициентов готовности) телекоммуникационной сети, поддерживающей механизмы обеспечения отказоустойчивости // Информационные системы и технологии. 2023. № 4 (138). С. 83–91. EDN CWQJBV.
20. Баркова И.В., Никушина Т.В. Автоматизированный расчет коэффициента готовности соединений магистральных сетей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 7. С. 9–11. EDN RLTAGB.
21. Мигов Д.А. Формулы для быстрого расчета вероятности связности подмножества вершин в графах небольшой размерности // Проблемы информатики. 2010. № 2 (6). С. 10–17. EDN ONKJWW.
22. Демодуляция сигналов ОФТ на основе адаптивного порога / С.В. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2013. № 2. С. 90–97. EDN TFTIET.
23. Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А. Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 6. С. 4–9. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. EDN KHPWMU.
24. Оценка влияния свойств сигнала PRS LTE на точность позиционирования / С.В. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2017. № 4. С. 94–103. EDN YQWNLJ.
25. Жданова И.М., Дворников С.С., Дворников С.В. Обнаружение аномалий трафика на основе обработки их фреймовых вейвлет-преобразований // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 5. С. 14–23. DOI: 10.31854/1813-324X-2024-10-5-14-23. EDN BJFZSE.

References

1. Simonov K.M., Nikityuk M.Yu. Analiz vedeniya avarijno-spasatel'nyh rabot spasatel'nyimi voinskimi formirovaniyami MChS Rossii v usloviyah voennyh konfliktov // Problemy obespecheniya obshchestvennoj bezopasnosti: teoriya, istoriya, praktika: materialy Mezhdunar. nauch. konf. Moskva, 2024. S. 66–73. EDN CIYOCQ.
2. Dobryakova E.I. Issledovanie zakonomernostej raboty podrazdelenij MChS v usloviyah voennogo konflikta // Nauchnyj vestnik NIIGD Respirator. 2024. № 1 (61). S. 106–117. EDN UXUOAN.
3. Avtomatizaciya procedur obnaruzheniya lesnyh pozharov po rezul'tatam obrabotki video / D.V. Vasil'eva [i dr.] // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii». 2023. № 4. S. 47–58. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-47-58. EDN TQYCOI.
4. Sovershenstvovanie taktiki dejstvij spasatel'nyh voinskikh formirovaniy (SVF) MCHS Rossii: sb. trudov HHXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Himki, 2021. 119 s. EDN KXXBMJ.
5. Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. Sostavnoj trakt dovedeniya informacii do robototekhnicheskikh kompleksov v severnyh moryah // Tekhnika sredstv svyazi. 2019. № 3 (147). S. 2–27. EDN YSMMPG.
6. Dvornikov S.V., Markov E.V., Manoshi E.A. Povyshenie pomekhozashchishchennosti peredach dekametrovih radiokanalov v usloviyah neprednamerennyh pomekh // T-Comm: Telekommunikacii i transport. 2021. T. 15. № 6. S. 4–9. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. EDN KHPWMU.
7. Petrieva O.V. Elektromagnitnaya zashchishchennost' UKV i trantingovoj radiosvyazi v usloviyah vzaimnyh neprednamerennyh pomekh // Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. 2021. № 9-1(77). S. 93–98. EDN UZWDAK.
8. Ob utverzhdenii i vvedenii v dejstvie Rukovodstva po radiosvyazi Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situaciyam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij: prikaz MChS Rossii ot 26 dek. 2018 g. № 633. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».
9. Stepanov L.A. Energeticheskie sootnosheniya v sostavnoj integrirovannoj radiolinii // Sistemy i sredstva svyazi, televideniya i radioveshchaniya. 2008. № 1. S. 62–68. EDN ITDHKV.
10. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Pshenichnikov A.V. Apparat analiza chastotnogo resursa dlya rezhima psevdosluchajnoj perestrojki rabochej chastoty // Informacionno-upravlyayushchie sistemy. 2019. № 4 (101). S. 62–68. DOI: 10.31799/1684-8853-2019-4-62-68. EDN VUYYFO.
11. Zashchita ot strukturnyh pomekh radiokanalov s chastotnoj manipulyacij / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informacionnye tekhnologii. 2017. T. 23. № 3. S. 193–198. EDN YHCWCR.
12. Berman A.F., Nikolajchuk O.A., Pavlov A.I. Teoretiko-igrovoj algoritm formirovaniya seti, uchityvayushchij vzaimnye pomekhi uzlov // Pyatnadcataya nac. konf. po iskusstvennomu intellektu s mezhdunar. uchastiem: tr. konf.: v 3-h t. Smolensk: Universum, 2016. S. 311–318. EDN WZOVRZ.
13. Sravnitel'naya effektivnost' sotovyh sistem svyazi, ispol'zuyushchih adaptivnyu modulyaciyu i kodirovanie, i sistem s upravleniem moshchnost'yu / D.D.N. Bevan [i dr.] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Radiofizika. 2001. T. 44. № 12. S. 1050–1061. EDN AXEBER.
14. GOST R 53111–2008. Ustojchivost' funkcionirovaniya seti svyazi obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya i metody proverki. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
15. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Manaenko S.S. Pomekhoustojchivaya model' signala KAM-16 s transformirovannym sozvezdiem // Informacionnye tekhnologii. 2015. T. 21. № 9. S. 685–689. EDN UMHSMF.
16. Kruglikov S.V., Filipchenko I.V., Zalizko A.Yu. Sposoby povysheniya ustojchivosti telekommunikacionnoj seti special'nogo naznacheniya k vozdejstviyu vneshnih destabiliziruyushchih faktorov // Vestnik Akademii voennyh nauk. 2018. № 4 (65). S. 141–153. EDN XRFOXC.

17. Gel'fman T.E., Pirhavka A.P. Koefficient operativnoj gotovnosti sputnikovyh setej svyazi // Russian Technological Journal. 2022. T. 10. № 1. S. 35–40. DOI: 10.32362/2500-316X-2022-10-1-35-40. EDN KVSYFM.
18. Metodika transformacii cignal'nogo sozvezdiya signala KAM-16 s izmeneniem ego formy / A.Yu. Guzhva [i dr.] // Elektrosvyaz'. 2015. № 2. S. 28–31. EDN TIRREJ.
19. Fokin A.B. Metod rascheta veroyatnosti svyaznosti (koefficientov gotovnosti) telekommunikacionnoj seti, podderzhivayushchej mekhanizmy obespecheniya otkazoustojchivosti // Informacionnye sistemy i tekhnologii. 2023. № 4 (138). S. 83–91. EDN CWQJBV.
20. Barkova I.V., Nikushina T.V. Avtomatizirovannyj raschet koefficiente gotovnosti soedinenij magistral'nyh setej // T-Comm: Telekommunikacii i transport. 2013. T. 7. № 7. S. 9–11. EDN RLTAGB.
21. Migov D.A. Formuly dlya bystrogogo rascheta veroyatnosti svyaznosti podmnozhestva vershin v grafov neboli'shoj razmernosti // Problemy informatiki. 2010. № 2 (6). S. 10–17. EDN ONKJWV.
22. Demodulyaciya signalov OFT na osnove adaptivnogo poroga / S.V. Dvornikov [i dr.] // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2013. № 2. S. 90–97. EDN TFTIET.
23. Dvornikov S.V., Markov E.V., Manoshi E.A. Povyshenie pomekhozashchishchennosti peredach dekametrovih radiokanalov v usloviyah neprednamerennyh pomekh // T-Comm: Telekommunikacii i transport. 2021. T. 15. № 6. S. 4–9. DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. EDN KHPWMU.
24. Ocenka vliyaniya svojstv signala PRS LTE na tochnost' pozicionirovaniya / S.V. Dvornikov [i dr.] // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2017. № 4. S. 94–103. EDN YQWNLJ.
25. Zhdanova I.M., Dvornikov S.S., Dvornikov S.V. Obnaruzhenie anomalij trafika na osnove obrabotki ih frejmovykh vejvlet-preobrazovanij // Trudy uchebnyh zavedenij svyazi. 2024. T. 10. № 5. S. 14–23. DOI: 10.31854/1813-324X-2024-10-5-14-23. EDN BJFZSE.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 18.09.2025; одобрена после рецензирования: 01.11.2025;
принята к публикации: 05.11.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 18.09.2025; approved after review: 01.11.2025;
accepted for publication: 05.11.2025

Информация об авторах:

Дворников Сергей Викторович, профессор кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А), профессор Военной академии связи им. С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), доктор технических наук, профессор, e-mail: practiccsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN-код: 7109-9590

Падишин Сергей Александрович, профессор 41 кафедры «Организации связи» Военной академии связи им. С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), кандидат военных наук, доцент, e-mail: chesstar@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1209-742X>, SPIN-код: 1950-2714

Ирза Анастасия Николаевна, аспирант 41 кафедры «Организации связи» Военной академии связи им. С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), e-mail: irzaanastasia@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5360-8252>, SPIN-код: 2576-7619

Васильева Дина Владимировна, старший преподаватель кафедры радиотехнических систем института радиотехники и инфокоммуникационных технологий Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А), e-mail: dolli.dina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5343-3356>, SPIN-код: 4166-7299

Information about authors:

Dvornikov Sergey V., professor of the department of design and technologies of electronic and laser means of Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67A), professor of Military Telecommunication Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S.M. (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky ave., 3), doctor of technical sciences, professor, e-mail: practiccsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>, SPIN: 7109-9590

Padishin Sergey A., professor of department of communications № 41 of Military Telecommunication Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S.M. (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky ave., 3), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: chesstar@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1209-742X>, SPIN: 1950-2714

Irza Anastasiya N., adjunct of department of communications № 41 of Military Telecommunication Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S.M. (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky ave., 3), e-mail: irzaanastasia@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5360-8252>, SPIN: 2576-7619

Vasilieva Dina V., senior lecturer of the department of radio engineering of institute of radio engineering and infocommunication technologies of Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67, lit. A), e-mail: dolli.dina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5343-3356>, SPIN: 4166-7299