

## МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОЛИНИЙ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Г. П. ПУХА<sup>1</sup>, С. М. ПИЩАЛЬНИКОВ<sup>1</sup>, А. А. ЕМЕЛЬЯНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ВУНЦ ВМФ „Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова“,  
199162, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: psm30@list.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный экономический университет,  
191023, Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты исследований по разработке аналитической модели алгоритма передачи данных, реализующего временной доступ к ресурсу радиосети, и технологий формирования широкополосных сигнально-кодовых конструкций. Описано применение единой информационной распределенной системы с временным разделением доступа в контексте использования радиоканалов передачи пакетных данных. Рассматривается методика оценивания помехоустойчивости радиолинии на основе полученных аналитических функций, позволяющих произвести вероятностную оценку корректного приема отправленного сообщения в условиях заранее недетерминированной среды передачи данных с вариативным уровнем помех. Постулируются возможности использования разработанных аналитических моделей для построения перспективных систем передачи данных на основе радиоканала. Рассматривается возможность использования результатов исследования в имитационном моделировании для решения задачи обеспечения необходимого уровня широкополосной связи.

**Ключевые слова:** радиосеть обмена данными, многостанционный доступ, временное разделение ресурса сети, помехоустойчивость радиолинии, аналитическая модель, методика расчета

**Введение.** В настоящее время весьма критичной становится проблема сокращения задержек при запросах в рамках многоуровневых информационно-коммуникационных систем с использованием многопутевого обслуживания между отдельными узлами; также не менее значимым является анализ и разработка методов передачи информации в децентрализованных системах [1—5].

Были проведены исследования, связанные с оценкой возможностей современных реализуемых в радиосетях технологий передачи данных (ПД) с точки зрения обеспечения ими *своевременности* связи. Результаты исследования показали, что наилучшие показатели по этому качеству связи, имеющему приоритетное значение при управлении, отмечаются в сетях ПД, которые реализуют алгоритмы временного разделения доступа к радиоканалу и обеспечивают необходимый уровень достоверности передаваемых сообщений без решающей обратной связи.

Преимущества таких алгоритмов заключаются в обеспечении в рамках одного цикла одновременной передачи сообщений всем абонентам сети и в возможности использования всего частотного спектра радиоканала для реализации помехозащищенных сигнальных конструкций, например широкополосных сигналов (ШПС). Последнее может обеспечить выигрыш в *своевременности* связи [6].

Для анализа степени достоверности связи наличие средства моделирования сетей ПД с реализацией многостанционного доступа к общему радиоканалу по времени, в котором вероятность приема однократно переданного сообщения не определяется, а задается как исходное

значение, уже не является достаточным. Необходимо иметь в составе средств исследования соответствующую методику определения зависимости вероятностных характеристик от энергетических параметров радиолинии для конкретной сигнально-кодовой конструкции [7—10]. Разработке такой методики на примере наиболее удачной реализации военной системы ПД с временным разделением каналов — объединенной системы распределения тактической информации JTIDS (Joint Tactical Information Distribution System) — и исследованию ее возможностей по сравнению с другими радиолиниями ПД ВМФ и посвящается настоящая статья.

**Технологии формирования и передачи сигналов в JTIDS.** Входящий поток данных для конкретного абонента разбивается на 210 бит, которые обрабатываются каскадным кодом — внешним циклическим кодом (15, 14) и внутренним кодом Рида — Содомена (РС) с параметрами (31, 15, 7). В результате формируется 129 5-битовых слов, каждое из которых передается 32-битовой последовательностью ШПС, что и составляет информационный пакет (рис. 1).

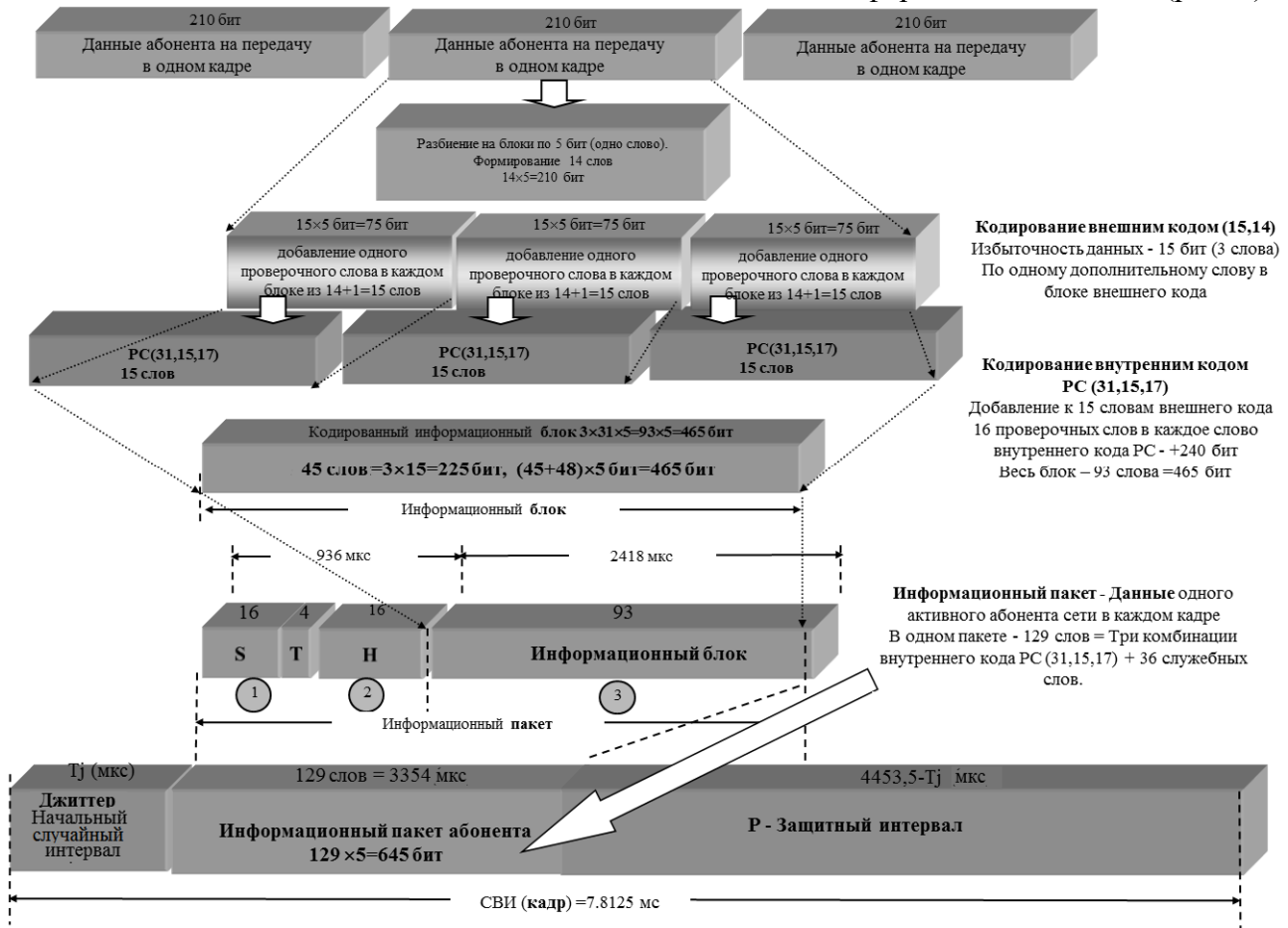


Рис. 1

Информационный пакет (кадр), передаваемый в окне стандартного временного интервала (СВИ), состоит из 129 слов, кадр передачи, в свою очередь, содержит, как правило, три основные составляющие [11, 12].

1. Синхронизация (*S*) и уточненное время (*T*) — первые 16 слов предназначены для синхронизации, следующие четыре слова, с 17-го по 20-е, — для уточнения времени или точной синхронизации.

2. Заголовок (*H*) — 16 слов (с 21-го по 36-е), содержащий следующую информацию:

- код идентификации и адрес абонента;
- тип сообщения;
- приоритет;
- адрес канала;

- тип реализуемой станцией функции (МДВР, ТАСАН, Мк12);
- тип передаваемой информации;
- тип использования станции по назначению (передача, прием, не используется), а также номер сети (для работы в каждой из пяти одновременно доступных сетей процессор станции присваивает заголовок каждого СВИ номер сети, в которой на данный момент работает абонентская станция).

Указанные данные включаются в состав заголовка пакета в каждом СВИ, что позволяет на приемном конце правильно интерпретировать сообщение.

3. Информационный блок содержит последние 93 слова (с 37-го по 129-е) в формализованном виде, а также, как правило:

- информацию о типе объекта и выполняемой им задаче;
- данные о местоположении объекта, его скорости и курсе, количестве топлива и боекомплекте;
- радиолокационные данные слежения за воздушной обстановкой, данные целеуказания и результаты выполнения задачи.

Структура информационного пакета напрямую зависит от типа передаваемой информации, задачи, выполняемой потребителем и типа самого потребителя (самолет, корабль, подводная лодка и т.п.), что, главным образом, и определяет многообразие типов сообщений, используемых для передачи данных в системе JTIDS, и режимов их предоставления [13].

Суть используемой в системе сигнально-кодовой конструкции (СКК) состоит в том, что одному символу соответствует передача частотно-манипулированного сигнала с минимальным сдвигом. Посылки (ШПС с базой 32) длительностью 6,4 мкс занимают частотную полосу  $\Delta F = 6$  МГц. Один ШПС соответствует одной комбинации алфавита слов на интервале 6,4 мкс. Суммарное время передачи информационного пакета составляет 3354 мкс, а в остальное время СВИ (19,6 мкс) — пассивная пауза.

Средняя частота несущей следующего базового импульса ШПС изменяется каждые 13 мкс (33024 скачков/с) методом программной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) в полосе 250 МГц в диапазоне частот 960—1210 МГц (83 частоты с интервалом в 3 МГц). Имеется возможность передачи в одном окне до двух слов (двойное слово). За время одного СВИ (кадра) может быть передано 129, 222 или 408 слов (одноpacketный, двухpacketный или четырехpacketный режимы в зависимости от типа передаваемого сообщения).

При занимаемой ШПС полосе в 6 МГц его спектр перекрывает соседние частоты выделенной сетки частот (так как сетка составлена через 3 МГц). Поэтому во избежание коллизий с сигналами других сетей системы они разнесены во времени на разность значений интервала джиттера (сетевая шкала времени), который устанавливается для каждой сети своим набором ключевых данных. Такой формат определяет разные моменты начала смены частот методом ППРЧ в каждой отдельной сети системы JTIDS.

За счет применения указанных мер осуществляется значительное рассредоточение сигналов в частотно-временной области и перемежение фрагментов сообщений от разных станций в зависимости от используемой программы ППРЧ.

Для повышения достоверности передаваемых данных в системе применяется каскадное корректирующее кодирование, что вносит дополнительную избыточность в объем передаваемых информационных данных [14].

Таким образом, для обмена данными в системе используется ШПС, модулированный методом частотной телеграфии с минимальным сдвигом и базой  $\nu=32$ , которому ставятся в соответствие 5 бит данных, обработанных каскадным помехоустойчивым (ПУ) кодом  $(15,14) \times PC(31,15)$  над полем  $GF(2^5)$ . При этом в кадре передаются всего 129 слов, из которых 36 — служебные (не обрабатываются помехоустойчивым кодом) и 93 слова, содержащие всего 210 бит (42 слова) информации.

Структура радиолинии на приеме (рис. 2) содержит радиоприемник (Р/С<sub>прм</sub>), демодулятор сигналов, декодер каскадного кода: РС(31,15)×(15,14), и приемник сообщений.

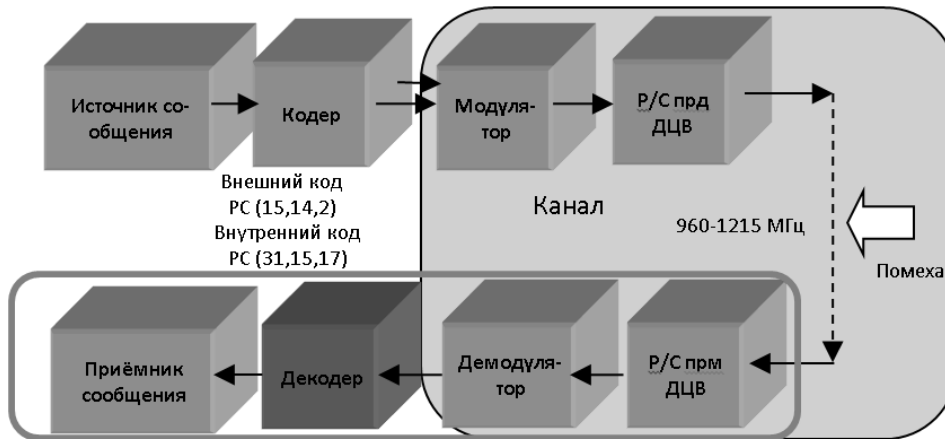


Рис. 2

**Методика определения помехоустойчивости радиолиний типа JTIDS.** В соответствии с методологией оценивания эффективности радиолиний ПД [15, 16] в качестве показателя эффективности принято использовать вероятность приема однократно переданного сообщения  $P_{прС}(z)$ , которая, в свою очередь, связывает между собой следующие вероятности: приема всех слов кадра ( $P_{прК}(z)$ ), ошибок при приеме кодового слова внешнего ( $P_{dk2}(z)$ ) и внутреннего ( $P_{dk1}(z)$ ) кодов, элементарной посылки ( $p_{ШПС}(z)$ ), и в последнюю очередь — соотношение уровней сигнала и помех в точке приема (рис. 3).

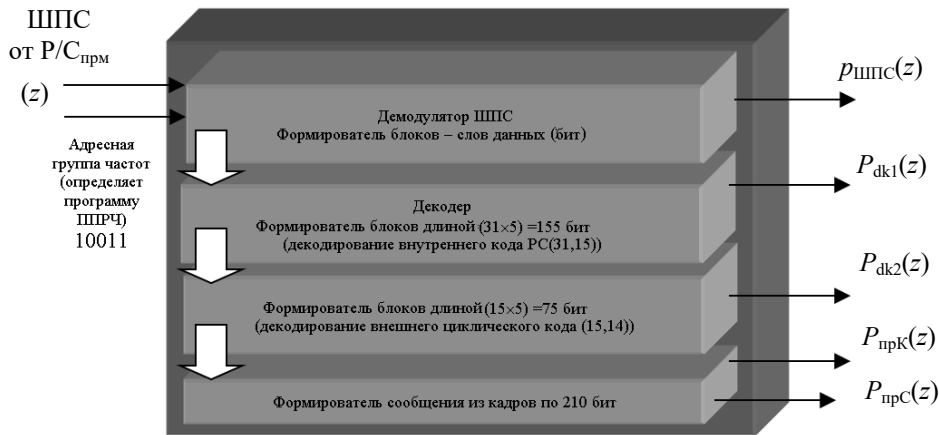


Рис. 3

Как известно, тракт распространения сигналов в используемом диапазоне радиочастот интерпретируется каналом передачи без замираний с аддитивной помехой и поэтому для определения вероятности ошибок при оптимальном приеме одного ШПС с базой  $\nu$ , модулированного с минимальным частотным сдвигом, можно воспользоваться выражением [9]

$$p_{ШПС}(z) = Q\left(\sqrt{h(z)\nu \cdot 1}\right), \tag{1}$$

где  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{u^2}{2}} du$  — интеграл вероятности.

Приведенные вероятности ошибок являются функциями превышения сигнала над помехой  $h = E_c/E_{п}$  — отношением энергии сигнала к энергии помехи на входе приемника [17]. Выраженная в децибелах величина  $h$  соответствует выражению  $z(h)=20 \lg(h)$  или  $h(z)=10^{z/20}$ .

Приведем исходные данные рассматриваемой радиолинии:

$\eta = 36$  — число служебных слов в кадре, которые не обрабатываются ПУ-кодом;

$\mu = 93$  — число формируемых информационных кодовых слов в кадре;

$n_1 = 31$  — число слов в кодовом слове внутреннего кода РС(31,15);

$k_1 = 15$  — число информационных слов в кодовом слове РС(31,15);

$n_2 = 15$  — число слов в кодовом слове внешнего циклического кода (15,14);

$k_2 = 14$  — число информационных слов в кодовом слове (15,14);

$d_1 = n_1 - k_1 + 1 = 17$  — кодовое расстояние внутреннего кода РС(31,15);

$d_2 = n_2 - k_2 + 1 = 2$  — кодовое расстояние внешнего циклического кода (15,14);

$t_1 = \lceil d_1/2 \rceil = 8$  — кратность исправляемых ошибок внутреннего кода;

$t_2 = \lceil d_2/2 \rceil = 1$  — кратность исправляемых ошибок внешнего кода.

По сути,  $p_{\text{ШПС}}(z)$  — это вероятность ошибки приема одного канального символа — слова (5 бит данных). Тогда можно определить вероятность приема служебной части каждого кадра сообщения, которое не обрабатывается помехоустойчивым кодом, как

$$P_{\text{пр СК}}(z) = [1 - p_{\text{ШПС}}(z)]^{\eta}.$$

Для приема информационной части кадра принятые канальные слова поступают в декодер каскадного кода, где последовательно снимается избыточность с исправлением обнаруженных ошибок.

В декодере внутреннего кода определяется вероятность ошибки принятых канальных слов:

$$P_{\text{dk1}}(z) = \sum_{i=t_1+1}^{n_1} C_{n_1}^i \cdot p_{\text{ШПС}}(z)^i \cdot [1 - p_{\text{ШПС}}(z)]^{n_1-i}.$$

В декодере внешнего кода, когда на его вход поступают декодированные символы внутреннего кода, ошибка принятых слов составит

$$P_{\text{dk2}}(z) = \sum_{i=t_2+1}^{n_2} C_{n_2}^i \cdot P_{\text{dk1}}(z)^i \cdot [1 - P_{\text{dk1}}(z)]^{n_2-i}.$$

Зависимость вероятности ошибки кодовых слов после декодеров внутреннего и внешнего кода от значений  $z$  на входе приемника представлена на рис. 4

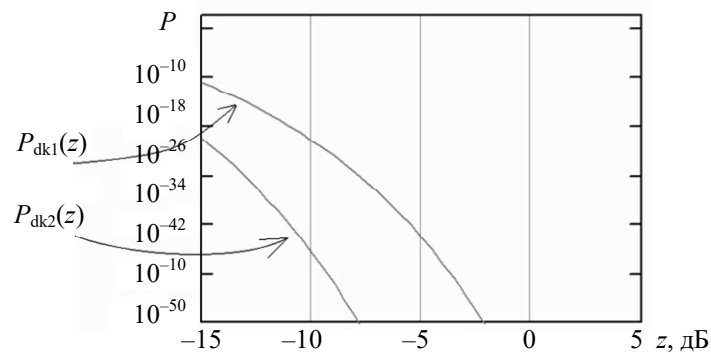


Рис. 4

Следовательно, вероятность правильного приема всего кадра данных может быть определена как

$$P_{\text{пр К}}(z) = P_{\text{пр СК}}(z) \cdot [1 - P_{\text{dk2}}(z)]^{\mu}.$$

Как отмечено выше, кадр, как правило, является частью сообщения, которое делится на блоки по 210 бит (42 слова). Поэтому, зная длину сообщения  $V$ , например в байтах, всегда можно определить число кадров, необходимое для формирования сообщения, как наибольшее целое от деления:

$$N = \frac{8V}{210},$$

а вероятность приема сообщения, состоящего из  $N$  кадров, в целом определяется как

$$P_{\text{прС}}(z) = P_{\text{прК}}(z)^N. \quad (2)$$

Вариант зависимости вероятности правильного приема одного кадра (верхняя линия) и вероятности приема сообщения с числом кадров  $N=58$ , ( $V=1500$  зн.) (нижняя линия) от  $z$  для  $\mu = 93$  представлен на рис. 5 (здесь  $\beta=0,95$  — требуемая достоверность приема кадра).

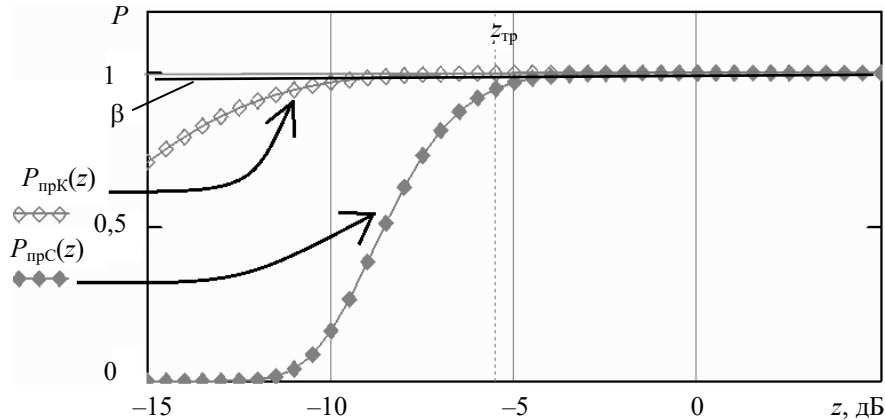


Рис. 5

Полученные значения вероятностей для различных объемов передаваемых сообщений будут заметно различаться. При этом требуемое значение энергетического потенциала радиолинии  $z_{\text{тр}}$  для меньших их объемов существенно снижается и, как и ожидалось, в отличие от узкополосных сигналов, его значения лежат глубоко в отрицательной области, что существенно повышает не только помехоустойчивость, но и разведзащищенность радиолиний этого типа.

В то же время из выражения (2) следует, что использование данной модели (и соответствующей ей методики) предполагает одинаковые условия приема всех кадров сообщения, передаваемых в отведенные временные слоты. В общем же случае на разных ППРЧ в полосе частот 250 МГц значения  $z_i$  для различных кадров могут быть различными. Это условие является ограничивающим фактором при расчетах. Однако, по мнению авторов, в условиях дециметрового диапазона радиоволн, где уровень сигнала слабо зависит от номинала рабочей частоты, это вполне допустимо.

**Заключение.** По результатам исследований получены аналитические выражения, составляющие основу методики оценивания помехоустойчивости радиолиний, реализующих алгоритмы временного доступа к каналу радиосвязи, и технологий формирования широкополосных сигнально-кодовых конструкций.

Расчеты с использованием рассмотренной методики убедительно свидетельствуют о высоких потенциальных возможностях такого варианта построения радиолиний передачи данных и его перспективности.

Получаемые с помощью данной методики значения вероятности правильного приема сообщения  $P_{\text{прС}}(z)$  можно использовать в качестве исходных, например, в имитационных моделях сетей ПД, решающих задачи оценки своевременности связи в тактическом звене управления ВМФ.

Предложенный подход может быть использован в иных информационно-коммуникационных сферах, требующих достоверной оценки вероятности корректной передачи пакетов данных с помощью радиоканала, — например, в системах биометрической аутентификации с применением беспроводной передачи данных [18], распределенных нейросетевых моделях [19], биомедицинских сенсорных комплексах [20].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nguyen Van Dung*. Noise immunity of a coherent reception of signals with multiple phase shift keying in the presence of a retranslated interference // *J. Radio Electronics*. 2019. N 3. DOI: 10.30898/1684-1719.2019.3.4.
2. *Maheswaran P., Selvaraj M. D.* Dynamic SSK-BPSK system under transmitter correlated nonidentical rayleigh fading // *IEEE Systems Journal*. 2019. N 13(2) P. 1202—1209. DOI: 10.1109/2018.2828220.
3. *Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V., Bogatyrev A. V.* Model and interaction efficiency of computer nodes based on transfer reservation at multipath routing // *Proc. Wave Electronics and Its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019)*. P. 8840647. DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840647.
4. *Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V., Bogatyrev A. V.* Multipath redundant transmission with packet segmentation // *Proc. Wave Electronics and Its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019)*. P. 8840643. DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840643.
5. *Богатырев В. А.* Надежность и эффективность резервированных компьютерных сетей // *Информационные технологии*. 2006. № 9. С. 25—30.
6. *Luo Y., Lutsenko V. I., Popov I. V., Lutsenko I. V., Mazurenko A. V.* Nonequidistant two-dimensional antenna arrays are based on magic squares // *Proc. 9th Intern. Kharkiv Symp. on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkov, Ukraine, 21—24 June 2016*. DOI: 10.1109/2016.7538080.
7. *Dung N. V., Kulikov G. V., Tien D. Ch.* Noise immunity of autocorrelation demodulator of signals with differential phase shift keying in the presence of rayleigh fading and harmonic interference // *Russian Technological Journal*. 2020. N 8(3). P. 48—58. DOI: 10.32362/2500-316X-2020-8-3-48-58.
8. *Chy D. K., Khaliluzzaman Md.* Evaluation of SNR for AWGN, rayleigh and rician fading channels under DPSK modulation scheme with constant BER // *Wireless Comm. Mobile Comput.* 2015. N 3(1). P. 7—12. DOI: 10.11648/20150301.12.
9. *Yang B., Zhiqiang Yu., Jianyi Z.* A low noise S-band image rejection mixer based on enhancement mode pHEMT // *Progress in Electromagnetics Research Symposium*. 2017. P. 508—512. DOI: 10.1109/2017.8293191.
10. *Kulikov G. V., Nesterov A. V., Lelyukh A. A.* Interference immunity of reception of signals with quadrature amplitude shift keying in the presence of harmonic interference // *J. of Radio Electronics*. 2018. N 11. DOI: 10.30898/1684-1719.2018.11.9
11. *Харченко Н. К.* Современное состояние и перспективы развития радиостанций зарубежных государств // *Зарубежное военное обозрение*. 2003. № 6. С. 22—30.
12. *Bui Huu Chuc., Kaganov W. I.* Wireless transmission of electrical energy from the ground terminal to quadcopter // *Engineering Physics*. 2019. № 1. P. 34—38. DOI: 10.25791/01.2019.391.
13. *New Ka-Band analog predistortion linearizer allowing a 2.9GHz instantaneous wideband satellite operation / J.-F. Villemazet, H. Yahi, B. Lefebvre, F. Baudeigne, J. Maynard et al.* // *IEEE 47th European Microwave Conf. (EuMC)*, 10—12 Oct., 21 Dec. 2017. DOI: 10.23919/2017.8231024.
14. *Vilderman E. N., Petushkov S. V., Belov L. A.* Influence of power amplifier's intermodulation distortion on transmitted information quality // *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, Minsk, Belarus. 4—5 July 2018. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8457049.
15. К вопросу об оценке помехоустойчивости радиолиний передачи данных / *А. Г. Баранов, С. М. Пищальников, Г. П. Пуха, Г. Г. Хохлов* // *Тр. НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ „Военно-морская академия“*. 2019. Ч. I. С. 260—268.
16. *Пуха Г. П., Пищальников С. М.* Оценка эффективности автоматизированных радиолиний и сетей передачи данных ТЗУ ВМФ. СПб: ВУНЦ ВМФ ВМА, 2021. 242 с.
17. *Zhou S., Qian S., Chang W., Xiao Y., Cheng Y.* A novel bearing multi-fault diagnosis approach based on weighted permutation entropy and an improved SVM ensemble classifier // *Sensors*. 2018. N 18(6). P. 1934. DOI: 10.3390/s18061934.
18. *Emelianov A. A., Avksentieva E. Y., Avksentiev S. Y., Zhukov N. N.* Applying neurointerface for provision of information security // *Intern. Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. Vol. 8, N 6. P. 3277—3281.

19. Wen L., Gao L., Li X., Wang L., Zhu J. A jointed signal analysis and convolutional neural network method for fault diagnosis // *Procedia CIRP*. 2018. N 72. P. 1084—1087. DOI: 10.1016/2018.03.117.
20. Gusev N. A., Vetoshko P. M., Kuz'michev A. N., Cheprunova D. A., Samoilova E. V., Zvezdin A. K., Korotaeva A. A. Ultra-sensitive vector magnetometer for magnetocardiographic // *Biomedical Engineering*. 2017. N 51(3). P. 157—161. DOI: 10.1007/s10527-017-9705-8.

**Сведения об авторах**

- Геннадий Пантелеевич Пуха** — д-р воен. наук, профессор; ВУНЦ ВМФ „Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова“, кафедра боевого применения (средств связи и АСУ ВМФ); E-mail: pggp2003@list.ru
- Сергей Михайлович Пищальников** — канд. воен. наук, доцент; ВУНЦ ВМФ „Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова“, кафедра боевого применения (средств связи и АСУ ВМФ); E-mail: psm30@list.ru
- Александр Александрович Емельянов** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра информационных систем и технологий; E-mail: s1\_alex2000@mail.ru

Поступила в редакцию  
17.06.2021 г.

**Ссылка для цитирования:** Пуха Г. П., Пищальников С. М., Емельянов А. А. Методика оценивания помехоустойчивости радиолиний обмена данными с временным разделением каналов // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2021. Т. 64, № 11. С. 887—895.

**METHODOLOGY FOR ASSESSING THE NOISE IMMUNITY  
OF DATA EXCHANGE RADIO LINES WITH TIME DIVISION OF CHANNELS**

**G. P. Pukha<sup>1</sup>, S. M. Pishchalnikov<sup>1</sup>, A. A. Emelyanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Military Educational and Scientific Center of the Navy  
"Naval Academy Named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov",  
199162, St. Petersburg, Russia  
E-mail: psm30@list.ru*

<sup>2</sup>*St. Petersburg State University of Economics, 191023, St. Petersburg, Russia*

Results of research on development of an analytical model of data transmission algorithm that implements temporary access to a radio network resource and technologies for the formation of wide-band signal-code structures are presented. The application of a unified information distributed system with temporary access separation in the context of the use of radio channels for the transmission of packet data is described. A method of estimating the noise immunity of a radio line is considered based on obtained analytical functions that allow for a probabilistic assessment of the correct reception of a sent message in a pre-nondeterministic data transmission environment with a variable level of interference. The perspectives of using the developed analytical models to build promising data transmission systems based on radio are postulated. The possibility of application of obtained results in simulation modeling to solve the problem of providing the necessary level of broadband communication is analyzed.

**Keywords:** radio data exchange network, multiple access, time-sharing of the network resource, radio link immunity, analytical model, calculation method

**REFERENCES**

1. Nguyen Van Dung, *J. Radio Electronics*, 2019, no. 3, DOI: 10.30898/1684-1719.2019.3.4.
2. Maheswaran P., Selvaraj M.D. *IEEE Systems J.*, 2019, no. 2(13), pp. 1202–1209, DOI: 10.1109/2018.2828220.
3. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. *2019 wave electronics and its application in information and telecommunication systems (weconf 2019)*, pp. 8840647, DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840647.
4. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. *2019 wave electronics and its application in information and telecommunication systems (weconf 2019)*, pp. 8840643, DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840643.
5. Bogatyrev V.A. *Informatsionnyye tekhnologii*, 2006, no. 9, pp. 25–30. (in Russ.)
6. Luo Y., Lutsenko V.I., Popov I.V., Lutsenko I.V., Mazurenko A.V. *2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW)*,



- Proc. Kharkov, Ukraine, 21–24 June 2016, DOI: 10.1109/2016.7538080.
7. Dung N.V., Kulikov G.V., Tien D.Ch. *Russian Technological Journal*, 2020, no. 3(8), pp. 48–58, DOI: 10.32362/2500-316X-2020-8-3-48-58.
  8. Deepak K. Chy, Khaliluzzaman Md. *Wireless Comm. Mobile Comput.*, 2015, no. 1(3), pp. 7–12, DOI: 10.11648/20150301.12.
  9. Yang B., Zhiqiang Yu., Jianyi Z. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2017, pp. 508–512, DOI: 10.1109/2017.8293191.
  10. Kulikov G.V., Nesterov A.V., Lelyukh A.A. *Journal of Radio Electronics*, 2018, no. 11, DOI: 10.30898/1684-1719.2018.11.9.
  11. Kharchenko N.K. *Zarubezhnoye voyennoye obozreniye*, 2003, no. 6, pp. 22–30. (in Russ.)
  12. Bui Huu Chuc., Kaganov W.I. *Engineering Physics*, 2019, no. 1, pp.34–38, DOI: 10.25791/01.2019.391.
  13. Villemazet J.-F., Yahi H., Lefebvre B., Baudeigne F., Maynard J. et al. *2017 47th European Microwave Conference (EuMC)*, 10–12 Oct. 2017, IEEE, 21 Dec. 2017, DOI: 10.23919/2017.8231024.
  14. Petushkov S.V., Vilderman E.N., Belov L.A. *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 4–5 July 2018, Minsk, Belarus, DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8457049.
  15. Baranov A.G., Pishchalnikov S.M., Pukha G.P., Khokhlov G.G. *Trudy NII OSIS VMF VUNTS VMF "Voyenno-morskaya akademiya"* (Proceedings of the NII OSIS Navy VUNC Navy "Naval Academy"), part I, St. Petersburg, Petrodvorets, 2019, pp. 260–268. (in Russ.)
  16. Pukha G.P., Pishchalnikov S.M. *Otsenka effektivnosti avtomatizirovannykh radiolinii i setey peredachi dannykh TZU VMF* (Evaluation of the Effectiveness of Automated Radio Lines and Data Transmission Networks of the Navy's TDC), St. Petersburg, 2021, 242 p. (in Russ.)
  17. Zhou S., Qian S., Chang W., Xiao Y., Cheng Y. *Sensors*, 2018, no. 6(18), pp. 1934, DOI: 10.3390/s18061934.
  18. Emelianov A.A., Avksentieva E.Y., Avksentiev S.Y., Zhukov N.N. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2019, no. 6(8), pp. 3277–3281.
  19. Wen L., Gao L., Li X., Wang L., Zhu J. *Procedia CIRP*, 2018, no. 72, pp. 1084–1087, DOI: 10.1016/2018.03.117.
  20. Gusev N.A., Vetoshko P.M., Kuz'michev A.N., Cheprunova D.A., Samoilova E.V., Zvezdin A.K., Korotaeva A.A. *Biomedical Engineering*, 2017, no. 3(51), pp. 157–161, DOI: 10.1007/s10527-017-9705-8.

#### Data on authors

- Gennady P. Pukha** — Dr. Sci., Professor; Military Educational and Scientific Center of the Navy "Naval Academy Named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov", Department of Combat Use (Communication Facilities and Automated Control Systems of the Navy);  
E-mail: ggp2003@list.ru
- Sergey M. Pishchalnikov** — PhD, Associate Professor; Military Educational and Scientific Center of the Navy "Naval Academy Named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov", Department of Combat Use (Communication Facilities and Automated Control Systems of the Navy);  
E-mail: psm30@list.ru
- Alexander A. Emelyanov** — PhD; St. Petersburg State University of Economics, Department of Information Systems and Technologies;  
E-mail: s1\_alex2000@mail.ru

**For citation:** Pukha G. P., Pishchalnikov S. M., Emelyanov A. A. Methodology for assessing the noise immunity of data exchange radio lines with time division of channels. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 11. P. 887–895 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-11-887-895