

УДК 621.391
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-456-464

О помехоустойчивости инфокоммуникационных систем при использовании кодового перемежения

¹ Белов С.П., ² Коркин А.А., ¹ Белов А.С., ³ Орехов А.О.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

³ Диамэг Россия

Россия, 308015, г. Белгород, 5^{ый} заводской переулок, 30

E-mail: belovssergei@gmail.com, 1319392@bsu.edu.ru, belov_as@bsu.edu.ru, Orekhovip@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты вычислительных экспериментов по оценке помехоустойчивости инфокоммуникационных систем декаметровой связи при использовании в качестве переносчиков информации в указанных системах сигнально-кодовых конструкций, созданных на основе применения метода антифедингового кодирования. Применение такого класса сигналов, как показали проведенные исследования, позволяет существенно повысить достоверность принимаемой информации, передаваемой по каналу связи при наличии в нем быстрых и медленных замираний. Актуальность таких исследований обусловлена существенным увеличением реализации удаленного взаимодействия между территориально распределенными абонентами с применением декаметровых инфокоммуникационных систем.

Ключевые слова: инфокоммуникационные системы декаметровой связи; антифединговый метод, помехоустойчивые коды

Для цитирования: Белов С.П., Коркин А.А., Белов А.С., Орехов А.О. 2023. О помехоустойчивости инфокоммуникационных систем при использовании кодового перемежения. Экономика. Информатика. 50(2): 456–464. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-456-464

On the Noise Immunity of Infocommunication Systems when Using Code Interleaving

¹ Sergey P. Belov, ² Anton A. Korokin, ¹ A Alexander S. Belov, ³ Andrey O. Orekhov

¹ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
116a Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia

² Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

³ Diamag Russia

30 5th factory lane, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: belovssergei@gmail.com, 1319392@bsu.edu.ru, belov_as@bsu.edu.ru, Orekhovip@yandex.ru

Abstract. At present, due to the intensive development of the territories of the Arctic latitudes, the need for the use of decameter infocommunication systems for the implementation of remote information interaction between geographically distributed subscribers in these latitudes has increased significantly, since their use allows it to be implemented over distances exceeding thousands, and sometimes even tens of thousands of kilometers. However, the effectiveness of using this class of infocommunication systems largely depends on the level of fast and slow fading that occurs in the information transmission channel and significantly reduces the noise immunity of its reception. In this regard, it seems relevant to search for methods that provide an increase in the noise immunity of information during its transmission in these systems and conduct research on their effectiveness.

Keywords: infocommunication systems of decameter communication; anti-fading method, noise-immune codes

For citation: Belov S.P., Korokin A.A., Belov A.S., Orekhov A.O. 2023. On the Noise Immunity of Infocommunication Systems when Using Code Interleaving. Economics. Information technologies. 50(2): 456–464 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-456-464

Введение

Современный этап развития общества характеризуется непрерывным увеличением удаленного взаимодействия между абонентами и запросами пользователей о предоставлении различного вида мультисервисных услуг с требуемым качеством независимо от места их нахождения, который в настоящее время в основном реализуется на основе систем беспроводной связи, одним из видов которых являются инфокоммуникационные системы декаметрового диапазона [Головин, Простов 2006; Лузан, Хмырова 2008; Рябов, Головченко, Савельев 2010; Березовский, Дулькейт, Савицкий 2011; Шадрин, Зачатейский, Дворянчиков 2018]. Значимость этих систем для передачи информации существенно возросла после принятия соответствующих решений по освоению территорий Арктических широт [Электронный ресурс], так как указанный вид беспроводных инфокоммуникаций позволяет осуществлять реализацию удаленного взаимодействия между территориально распределенными абонентами на расстояния, превышающие тысячи, а иногда и десятки тысяч километров [Антонюк Л.Я, Игнатов 1994; Шадрин, Зачатейский, Дворянчиков 2018]. Такая возможность возникает благодаря отражению электромагнитных волн, излучаемых радиопередающими устройствами инфокоммуникационных систем декаметрового диапазона от множественных слоев ионосферы с различной величиной электронной концентрации. Однако при этом возникают явления быстрых и медленных замираний передаваемых радиосигналов, что приводит к возникновению на приемной стороне помех различного вида [Исакевич 1976; Антонюк, Игнатов 1994].

Для минимизации влияния этих процессов на помехоустойчивость передаваемой информации существует ряд методов [Коржик, Финк 1975; Кларк, Кейн 1987; Лосев, Бердников, Гойхман, Сизов 1988; Дронов 2004; Рябов, Головченко, Савельев 2010; Полушин, Ульянова, Синицин 2010; Баринов, Асеев 2017; Баринов 2018; Шадрин, Зачатейский, Дворянчиков 2018]. Необходимо отметить, что с учетом специфики замираний, средняя продолжительность которых в существующих каналах декаметрового диапазона часто значительно превышает длительность информационного элемента [Исакевич, 1976.], представляется целесообразным для повышения помехоустойчивости передаваемой информации использовать метод антифеддингового кодирования [Дронов, Шадчнев, Романовский 2001].

Для получения количественных оценок изменения вероятности ошибки передаваемой информации инфокоммуникационными системами при использовании в качестве её переносчика канальных сигналов с различными видами помехоустойчивого кодирования, а также антифеддингового метода были проведены вычислительные эксперименты с применением программного обеспечения LabVIEW 2016 разработанного компанией National Instruments и среды графического программирования «Simulink». Результаты вычислительных экспериментов с представлением численных значений вероятности ошибки представлены ниже.

Основная часть

Для формирования вектора ошибок был написан код, представленный на рисунке 1. Данный вектор используется в модели для симуляции пакетов ошибок. Длина блоков ошибок является изменяемым параметром. Расстояние между двумя соседними блоками ошибок является случайным целым числом от 1 до N с равномерным распределением. Общее число сравниваемых бит рано десяти тысячам.

```
1 -   clc
2 -   clear all
3 -   errors=zeros(1,10^4);
4 -   n=1;
5 -   while n<10^4-300
6 -       n=n+floor(300*rand(1))+3;
7 -       errors(n:n+2)=[1 1 1];
8 -   end
```

Рис. 1. Код для формирования вектора ошибок
Fig. 1. Code for the formation of the error vector

В следующем эксперименте сравнивается помехоустойчивость инфокоммуникационных систем с блочным и псевдослучайным перемежением с применением созданных сконфигурированных моделей, представленных на рисунках 2–3.

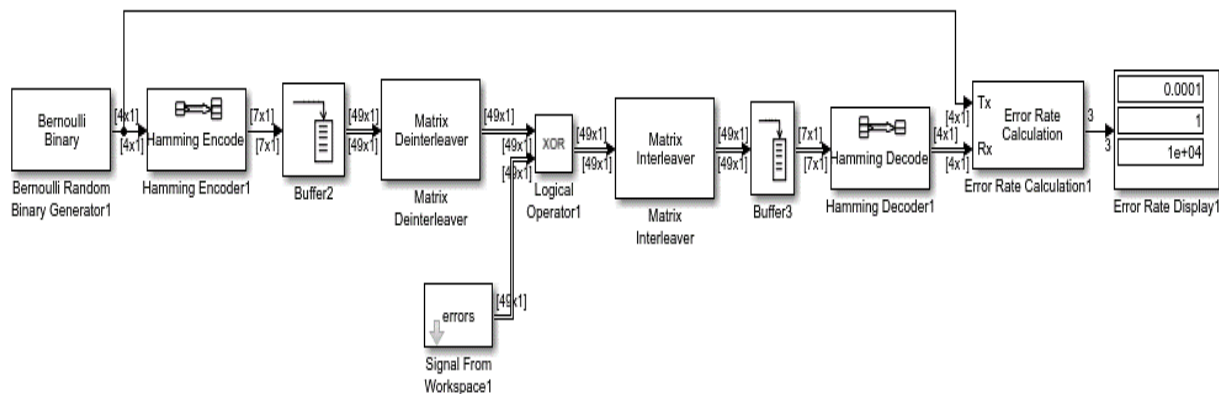


Рис. 2. Модель системы с кодом Хемминга (7, 4) и блочным перемежением
 Fig. 2. System model with Hamming code (7, 4) and block interleaving

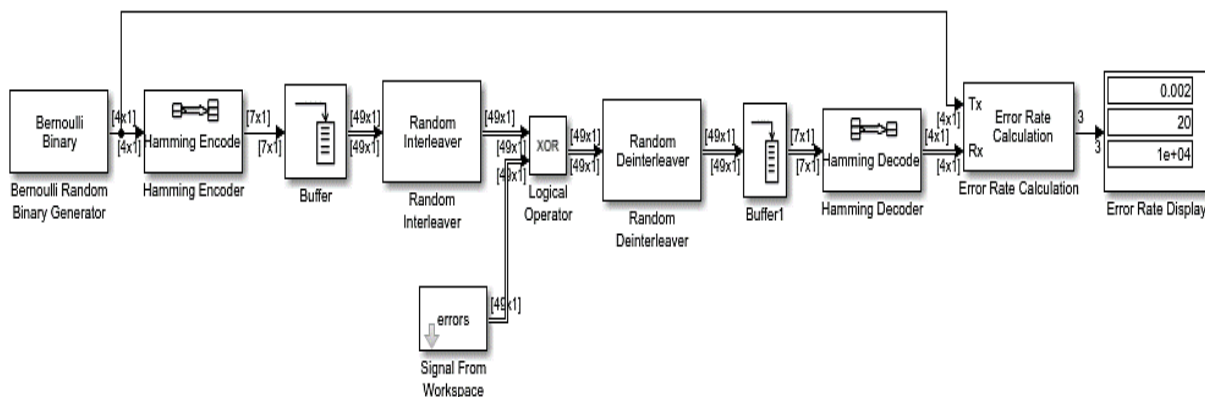


Рис. 3. Модель системы с кодом Хемминга (7, 4) и псевдослучайным перемежением
 Fig. 3. System model with Hamming code (7, 4) and pseudo-random interleaving

Результаты, полученные в ходе проведения вычислительных экспериментов, представлены в Таблице 1.

Таблица 1
 Table 1

Результаты вычислительных экспериментов
 Results of computational experiments

Длина блока ошибок	Вероятность ошибки	
	Блочное	Псевдослучайное
2	0.0003	0.0007
3	0.0007	0.0025
4	0.0019	0.0059
5	0.0023	0.0092
6	0.0035	0.0132
7	0.0041	0.0185
8	0.0087	0.0227

Окончание табл. 1
 End table 1

Длина блока ошибок	Вероятность ошибки	
	Блочное	Псевдослучайное
9	0.0119	0.0213
10	0.0156	0.0243

При анализе результатов, полученных в процессе проведения вычислительных экспериментов, можно заметить, что блочное перемежение при всех использованных длинах блока ошибок показало результаты лучше, чем псевдослучайное перемежение.

Для исследования зависимости вероятности ошибки в инфокоммуникационной системе от длины блока ошибок, от вида помехоустойчивого кода и использования перемежения, в среде графического программирования «Simulink» были построены 4 схемы, представленные на рисунках 4-7.

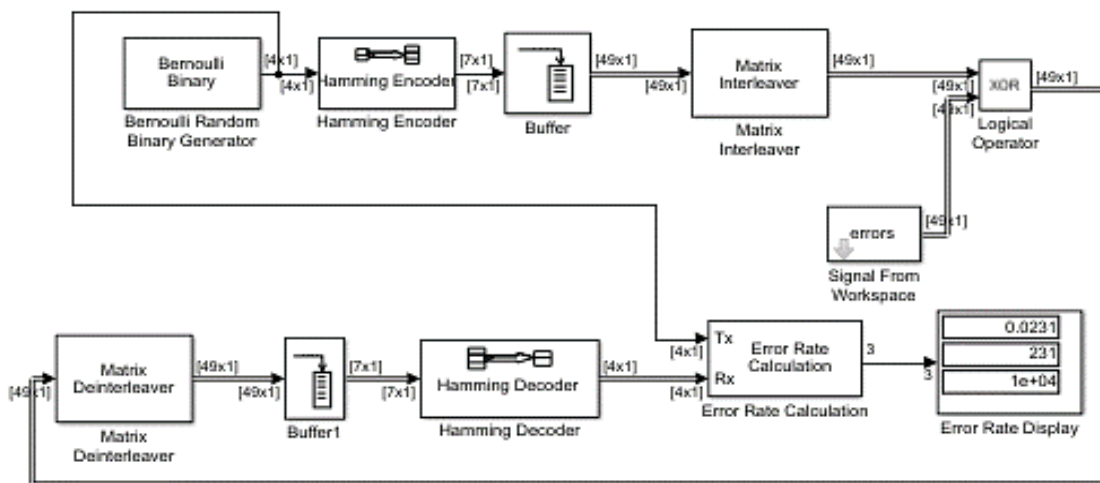


Рис. 4. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании кода Хемминга (7, 4) и перемежения
 Fig. 4. Model for calculating the error probability when using the Hamming code (7, 4) and interleaving

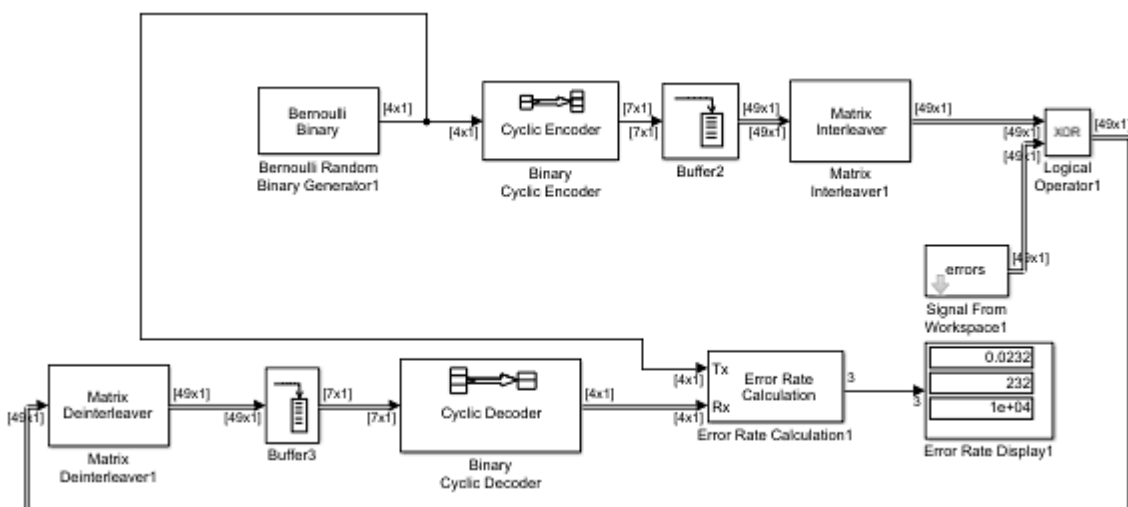


Рис. 5. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании циклического (7, 4) кода и перемежения
 Fig. 5. Model for calculating the error probability when using a cyclic (7, 4) code and interleaving

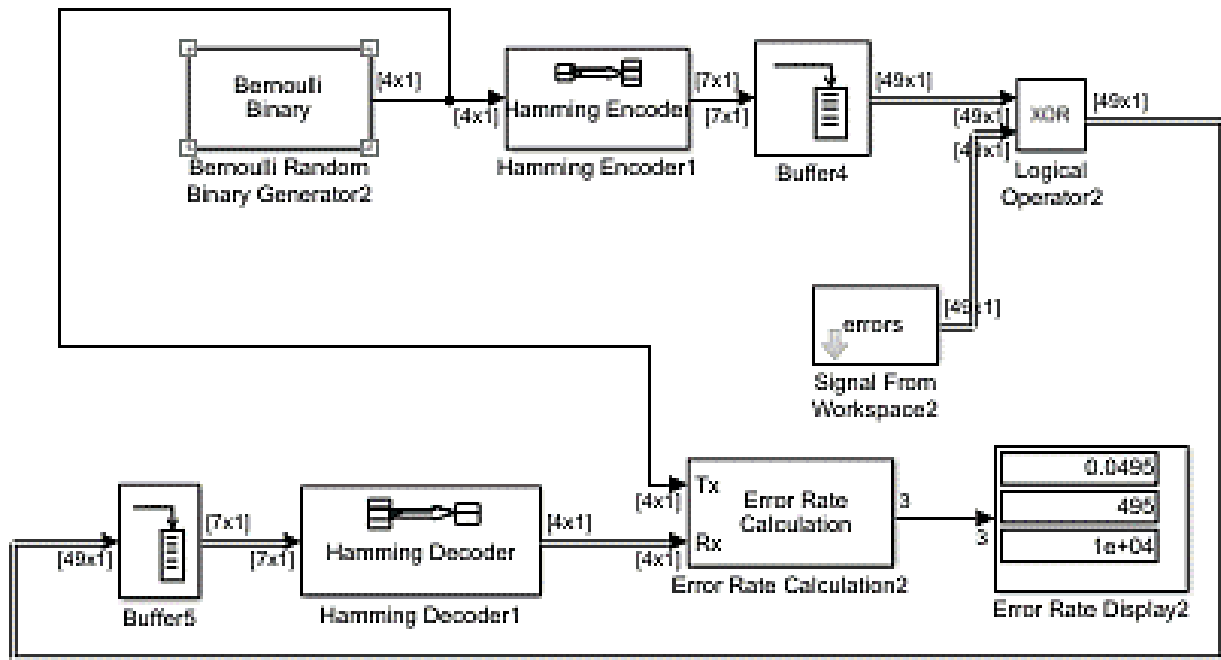


Рис. 6. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании кода Хемминга (7, 4) без перемежения
 Fig. 6. Model for calculating the error probability when using the Hamming code (7, 4) without interleaving

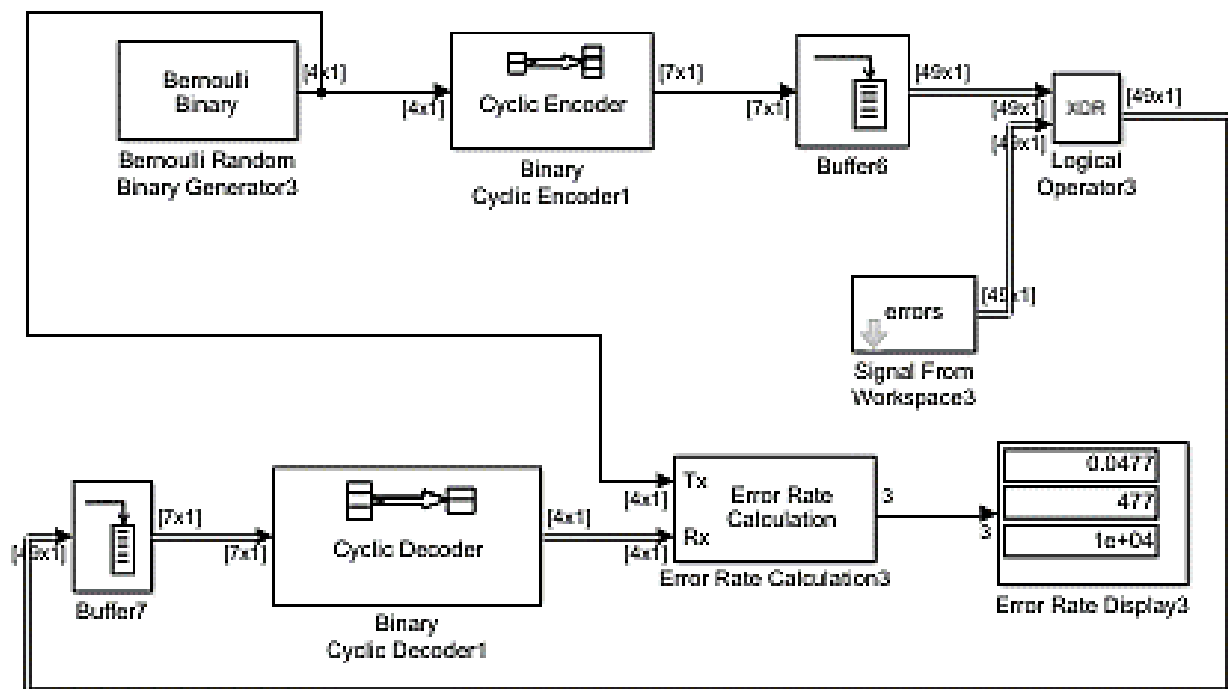


Рис. 7. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании циклического (7, 4) кода без перемежения
 Fig. 7. Model for calculating the error probability when using a cyclic (7, 4) code without interleaving

Данные, полученные в ходе выполнения вычислительного эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2
 Table 2

Результаты вычислительных экспериментов
 Results of computational experiments

Длина блока ошибок	Отношение числа ошибок в векторе к общему числу бит	Вероятность ошибки			
		Хемминга (7, 4) без перемежения	Хемминга (7, 4) с перемежением	Циклический (7, 4) без перемежения	Циклический (7, 4) с перемежением
1	0.0062	0	0	0	0
2	0.0136	0.0106	0.0002	0.0100	0.0002
3	0.0189	0.0142	0.0004	0.0157	0.0005
4	0.026	0.0135	0.0023	0.0161	0.0021
5	0.033	0.0173	0.004	0.0180	0.0038
6	0.0354	0.0225	0.0052	0.0235	0.0053
7	0.042	0.0236	0.0078	0.0236	0.008
8	0.0488	0.0267	0.0104	0.0270	0.0104
9	0.0562	0.0282	0.0205	0.0277	0.0183
10	0.059	0.0325	0.0297	0.0329	0.0279
11	0.0627	0.0376	0.036	0.0367	0.035
12	0.0672	0.0426	0.0447	0.0422	0.0457
13	0.0715	0.041	0.0482	0.0415	0.0408
14	0.0784	0.0429	0.0496	0.0424	0.0486
15	0.084	0.0488	0.0632	0.0489	0.0549

График зависимости вероятности ошибки от длины блока ошибок для различных методов помехоустойчивого кодирования представлены на рисунке 8.



Рис. 8. Зависимость вероятности ошибки от длины блока ошибок для различных методов помехоустойчивого кодирования
 Fig. 8. Dependence of the error probability on the length of the error block for various methods of error-correcting coding

Заключение

Таким образом, в результате проведенных вычислительных экспериментов было показано, что использование блочного перемежения в совокупности с помехоустойчивыми кодами увеличивает помехоустойчивость инфокоммуникационных систем в значительной степени по сравнению с инфокоммуникационными системами, не использующими перемежение. При этом большого различия между вероятностью ошибки при применении кода Хемминга и циклического кода, при одинаковой длине кодовой комбинации, не обнаружено.

Список литературы

- Антонюк Л.Я., Игнатов В.В. 1994. Эффективность радиосвязи и методы ее оценки; С.Пб.: ВАС. 124 с.
- Баринов А.Ю. 2018. Идентификация перемежителей турбокодов на основе их полиномиального и матричного представления. *Информация и Космос* № 2 61–66.
- Баринов А.Ю., Асеев А.Ю. 2017 Модифицированная математическая модель системы генерирования перемеженной дискретной последовательности турбоподобного кода. *Вестник Череповецкого государственного университета*. 6(81): 9–18. DOI 10.23859/1994-0637-2017-6-81-1
- Березовский В.А., Дулькейт В.А., Савицкий О.К. 2011. Современная декаметровая радиосвязь; М.: Радиотехника. 444 с.
- Блейхут Р.Э. 1984. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки; пер. с англ. под редакцией К.Ш. Зигангирова. М.: Мир. 576 с.
- Вернер М. 2004. Основы кодирования; пер. с нем. под редакцией Д.К. Зигангирова. М.: Техносфера, 288 с.
- Витерби А.Д., Омура Дж.К. 1982. Принципы цифровой связи и кодирования; пер. с англ. под редакцией К.Ш. Зигангирова. М.: Радио и связь, 536 с.
- Головин О.В., Простов С.П. 2006. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи; М.: Горячая линия – Телеком. 598 с.
- Дронов А.Е. 2004. Особенности построения устройств перемежения в системах радиосвязи. Депонировано в ЦНТИ «Информсвязь» №2249 от 04.07.04г., 21-26.
- Дронов А.Е., Шадчнев В.Я., Романовский В.Т. 2001. Способы перемежения при помехоустойчивом кодировании. Перспективные направления развития цифровых систем передачи информации: сборник статей. М.: ГУ НПО "Специальная техника и связь" МВД России. 91-98.
- Исакевич, В.В. 1976. О параметрах быстрых замираний дальнего тропосферного распространения радиоволн. Повышение эффективности и надёжности РЭС. *Межвуз. сб. науч. трудов. Л., ЛЭТИ. вып. 6.* 37-44.
- Касами Т., Токура И., Ивадари Е. 1978. Теория кодирования; пер. с япон. под редакцией С.И. Гельфанда и Б.С. Цыбакова. М.: Мир, 576 с.
- Кларк Дж. мл., Кейн Дж. 1987. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи; пер. с англ. под редакцией Б.С. Цыбакова. М.: Радио и связь, 392 с.
- Коржик В.И., Финк Л.М. 1975. Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой; М.: Связь, 272 с.
- Кудряшов Б.Д. 2016. Основы теории кодирования; СПб.: БХВ-Петербург, 400 с.
- Лосев Ю.И., Бердников А.Г., Гойхман Э.Ш., Сизов Б.Д. 1988. Адаптивная компенсация помех в каналах связи. М.: Радио и связь, 208 с.
- Лузан, Ю.С., Хмырова Н.П. 2008. Адаптивная радиосвязь в ДКМ диапазоне частот. Современное состояние и перспективы развития. *Техника радиосвязи*, 13: 3-24
- Морелос-Сарагоса Р. 2006. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применения; пер. с англ. под редакцией В. Б. Афанасьева. М.: Техносфера, 320 с.
- Питерсон У. 1976. Коды, исправляющие ошибки; пер. с англ. под редакцией Р.Д. Добрушина и С.И. Самойленко. М.: Мир, 593 с.
- Полушин П.А. 2013. Адаптация алгоритма сверточного кодирования при замираниях сигналов. Перспективные технологии в средствах передачи информации: материалы X МНТК. Владимир. 134-136.
- Полушин П.А., Ульянова Е.В., Синицин Д.В. 2010. Матричный алгоритм оценки параметров канала при межсимвольной интерференции. *Проектирование и технология электронных средств*. 4: 35-38.
- Рябов А.В., Головченко Е.В., Савельев М.А. 2010. Управление мощностью передающих устройств автоматизированных линий декаметровой радиосвязи; Воронеж: ВАИУ. 140 с.

- Скляр Б. 2003. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение; пер. с англ. под редакцией А.В. Назаренко. М.: Изд. Дом - «Вильямс», 1104 с.
- Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации до 2020 года. [Электронный ресурс]. URL: https://m.ines.gov-murmansk.ru/activities/strat_plan/arkticzone/
- Шадрин Б.Г., Зачатейский Д.Е., Дворянчиков В.А. 2018. Повышение помехоустойчивости передачи данных в ведомственных сетях связи декаметрового диапазона. Техника радиосвязи. 1(36): 7-19.

References

- Antonjuk L.Ja., Ignatov V.V. 1994. Effektivnost' radiosvyazi i metody ee otsenki [Efficiency and Methods for its Evaluation] S.Pb.: VAS. 124 p.
- Barinov A.Y. 2018. Identification of turbo code interleavers, depending on their polynomial and matrix representation. Informacija i Kosmos № 2 (8) 61–66. (in Russian)
- Barinov A.Y., Aseev A.Y. 2017. Modified mathematical model of system generating turbo-like interleaved discrete code sequence. Cherepovets state university bulletin. 6(81): 9-18. DOI 10.23859/1994-0637-2017-6-81-1 (in Russian)
- Berezovskiy V.A., Dul'keyt V.A., Savitskiy O.K. 2011. Sovremennaya dekametrovaya radiosvyaz' [Modern decameter radio communication]. M.: Radiotekhnika. 444 p.
- Blejhut R.E. 1984. Theory and practice of error control codes [Theory and practice of error codes]. per. s angl. pod redakciej K.Sh. Zigangirova. M.: Mir. 576 p.
- Verner M. 2004. Information and Coding [Fundamentals of Coding] per. s nem. pod redakciej D.K. Zigangirova. M.: Tehnosfera, 288 p.
- Viterbi A.J., Omura J.K. 1982. Principles of Digital Communication and Coding [Principles of digital communication and coding] per. s angl. pod redakciej K.Sh. Zigangirova. M.: Radio i svjaz', 536 p.
- Golovin O.V., Prostov S.P. 2006. Sistemy i ustroystva korotkovolnovoy radiosvyazi [Systems and devices of short-wave radio communication]. M.: Goryachaya liniya – Telekom. 598 p.
- Dronov A.E. 2004. Osobennosti postroeniya ustroystv peremezheniya v sistemakh radiosvyazi [Features of the construction of interleaving devices in radio communication systems]. CNTI «Informsvjaz» №2249 ot 04.07.04, 21-26.
- Dronov A.E., Shadchnev V.Ja., Romanovskij V.T. 2001. Sposoby peremezheniya pri Pomekhoustoychivoj kodirovanii. Perspektivnye napravleniya razvitiya tsifrovых систем peredachi informatsii [Interleaving methods for error-correcting coding. Perspective directions of development of digital information transmission systems: collection of articles]. M.: GU NPO "Special'naja tehnika i svjaz'" MVD Rossii. 91-98.
- Isakevich, V.V. 1976. O parametrakh bystrykh zamiraniy dal'nego troposfernogo rasprostraneniya radiovoln [On the parameters of fast fading of long-range tropospheric propagation of radio waves] Povyshenie jeffektivnosti i nadjozhnosti RJeS [Improving the efficiency and reliability of RES]. L., LJeTI. 6: 37-44.
- Kasami T., Tokura I., Iwadari E. 1978. Teorija kodirovanija [Coding theory]; per. s japan. pod redakciej S.I. Gel'fanda i B.S. Cybakova. M.: Mir, 576 p.
- Klark J. Jr., Cain J. 1987. Error-Correction Coding for Digital Communications [Error Correction Coding in Digital Communication Systems]; per. s angl. pod redakciej B.S. Cybakova. M.: Radio i svjaz', 392 p.
- Korzhik V.I., Fink L.M. 1975. Pomekhoustoychivoj kodirovanie diskretnykh soobshcheniy v kanalakh so sluchajnoy strukturoj [Noise-immune coding of discrete messages in channels with a random structure]; M.: Svjaz', 272 p. (in Russian)
- Kudrjashov B.D. 2016. Osnovy teorii kodirovanija [Fundamentals of coding theory] SPb.: BHV-Peterburg, 400 p.
- Losev Ju.I., Berdnikov A.G., Gojzman Je.Sh., Sizov B.D. 1988. Adaptivnaya kompensatsiya pomekh v kanalakh svyazi. [Adaptive radio communication in the DKM frequency range] M.: Radio i svjaz', 208 p.
- Luzan Ju.S., Hmyrova N.P. 2008. Adaptivnaya radiosvyaz' v DKM diapazone chastot. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya [Adaptive radio communication in the DKM frequency range] Tehnika radiosvjazi [Radio communication technology], 13: 3-24
- Morelos-Zaragoza R. 2006. The Art of Error Correcting Coding [The art of error-correcting coding. Methods, algorithms, applications]; per. s angl. pod redakciej V.B. Afanas'eva. M.: Tehnosfera, 320 p.
- Piterson W. 1976. Kody, Error-correcting Codes [Error-correcting codes]; per. s angl. pod redakciej R.D. Dobrushina i S.I. Samojlenko. M.: Mir, 593 p.
- Polushin P.A. 2013. Adaptacija algoritma svertochnogo kodirovanija pri zamiraniyah signalov. [Adaptation of the convolutional coding algorithm for signal fading]. Perspektivnye tehnologii v sredstvakh peredachi informatsii: materialy X MNTK [Promising technologies in information transmission media: materials of the X MNTK]. Vladimir. 134-136.
- Polushin P.A., Ul'janova E.V., Sinicin D.V. 2010. Matrichnyj algoritm ocenki parametrov kanala pri

- mezhsimvol'noj interferencii [Matrix Algorithm for Estimating Channel Parameters in Inter-Symbol Interferenc]. *Proektirovanie i tehnologija jelektronnyh sredstv* [Design and technology of electronic means]. 4: 35-38.
- Rjabov A.V., Golovchenko E.V., Savel'ev M.A. 2010. Upravlenie moshhnost'ju peredajushhih ustrojstv avtomatizirovannyh linij dekametrovoj radiosvjazi [Power control of transmitters of automated decameter radio communication lines]; Voronezh: VAIU. 140 p.
- Sklar B. 2003. Digital Communications. Fundamentals and Applications [Theoretical foundations and practical application]; per. s angl. pod redakciej A.V. Nazarenko. M.: Izd. Dom - «Vil'jams», 1104 p.
- Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony` Rossijskoj Federacii do 2020 goda. [Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation until 2020] [E`lektronny`j resurs]. URL: https://minrec.gov-murmansk.ru/activities/strat_plan/arkticzone/
- Shadrin B.G., Zachatejskij D.E., Dvorjanchikov V.A. 2018. Povyshenie pomehoustojchivosti peredachi dannyh v vedomstvennyh setjah svjazi dekametrovogo diapazona [Improving the noise immunity of data transmission in departmental communication networks of the decameter range]. *Tehnika radiosvjazi* [Radio communication technology]. 1(36): 7-19.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности Белгородского университета кооперации, экономики и права г. Белгород, Россия

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Security of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Коркин Антон Алексеевич, магистрант кафедры информационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Anton A. Korkin, Master student of the Department of Information Systems and Technologies Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности Белгородского университета кооперации, экономики и права г. Белгород, Россия

Alexander S. Belov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Security of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Орехов Андрей Олегович, инженер-программист, ООО «Диамэг», г. Белгород, Россия

Andrey O. Orekhov, Software engineer, Diamag LLC, Belgorod, Russia