

УДК 621.391

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.35.4.021](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.35.4.021)

## К вопросу об оценке помехоустойчивости когерентного приема сигналов с различными видами манипуляций в системах радиохраны в условиях воздействия структурных помех

А.А. Гавришев<sup>1</sup>✉, Д.Л. Осипов<sup>1</sup>, В.А. Гимбицкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Кавказский федеральный университет,  
Ставрополь, Российская Федерация

<sup>2</sup>Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков  
имени Героя Советского Союза А.К. Серова,  
Краснодар, Российская Федерация  
[alexhh.2008@inbox.ru](mailto:alexhh.2008@inbox.ru)✉

**Резюме.** Структурные помехи являются одними из наиболее опасных для систем связи, например, систем радиохраны. В статье описаны некоторые из известных подходов по оценке помехоустойчивости в условиях воздействия структурных помех. Указано, что анализ помехоустойчивости беспроводных систем передачи данных при воздействии структурных помех аналитически сложен. Разработаны оценки помехоустойчивости когерентного приема сигналов с частотной и квадратурной фазовой манипуляциями в условиях воздействия структурных помех, основанные на подходе, предложенном в работах [6, 13]. С помощью разработанных оценок помехоустойчивости построены графики усредненной зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал / шум. На основании полученных графиков и подхода из работ [6, 10] показано, что когерентный прием сигналов с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях воздействия структурных помех при фиксированных значениях вероятности битовой ошибки обеспечивает более эффективный прием сигналов по сравнению с когерентным приемом сигналов с частотной манипуляцией. Полученные вероятностные значения в перспективе позволят осуществлять планирование мероприятий как по постановке структурных помех, так и по защите от них в системах радиохраны. Кроме того, проведенные исследования могут быть полезны разработчикам и производителям систем радиохраны. Перспективным видятся дальнейшие исследования в данной области, в частности использование для противодействия структурным помехам сложных шумоподобных сигналов, например, хаотических сигналов.

**Ключевые слова:** системы радиохраны, фазовая манипуляция, частотная манипуляция, структурная помеха, помехоустойчивость

**Для цитирования:** Гавришев А.А., Осипов Д.Л., Гимбицкий В.А. К вопросу об оценке помехоустойчивости когерентного приема сигналов с различными видами манипуляций в системах радиохраны в условиях воздействия структурных помех. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2021;9(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1004> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.021

## The issue of assessing the noise immunity of coherent signal reception with various types of shift keying in radio security systems in the conditions of effects of structural interference

A.A. Gavrishv<sup>1</sup>✉, D.L. Osipov<sup>1</sup>, V.A. Gimbitskij<sup>2</sup>

<sup>1</sup>North-Caucasus Federal University,  
Stavropol, Russian Federation

<sup>2</sup>Hero of the Soviet Union A.K. Serov Higher Air Force School,  
Krasnodar, Russian Federation  
[alexxx.2008@inbox.ru](mailto:alexxx.2008@inbox.ru)✉

**Abstract:** Structural interference is one of the most dangerous for communication systems, for example, radio security systems. The article describes some of the known approaches to assessing noise immunity in conditions of structural interference. It is indicated that the analysis of the noise immunity of wireless data transmission systems under the influence of structural interference is analytically complex. The estimates of the noise immunity of coherent reception of signals with frequency and quadrature phase shift keying under the influence of structural noise have been developed, based on the approach proposed in [6, 13]. Using the developed estimates of noise immunity, graphs of the averaged dependence of the bit error probability on the signal-to-noise ratio were constructed. Based on the graphs obtained and the approach from [6, 10], it is shown that coherent reception of signals with quadrature phase shift keying under the influence of structural noise at fixed values of the bit error probability provides more efficient signal reception compared to coherent reception of signals with frequency shift keying. The obtained probabilistic values in the long term will allow planning measures both for setting up structural interference and for protecting against them in radio security systems. In addition, the research carried out can be useful to the developers and manufacturers of radio security systems. Further research in this area is seen as promising, in particular, the use of complex noise-like signals, for example, chaotic signals, to counteract structural interference.

**Keywords:** radio security systems, phase shift keying, frequency shift keying, structural interference, noise immunity

**For citation:** Gavrishev A.A., Osipov D.L., Gimbitskij V.A. The issue of assessing the noise immunity of coherent signal reception with various types of shift keying in radio security systems in the conditions of effects of structural interference. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1004> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.021 (In Russ).

## Введение

В настоящее время радиоканалы достаточно широко используются для передачи служебных и тревожных сообщений в различных системах радиоохраны (беспроводных системах безопасности) [1-5]. Многие распространенные в настоящее время системы радиоохраны используют сигналы с частотной манипуляцией, однако такой подход далеко не всегда можно считать приемлемым [5]. В силу чего сегодня существует реальная потребность в применении иных методов манипуляции, позволяющих повысить различные характеристики систем радиоохраны, например, помехоустойчивость и скорость передачи данных. Особенно это важно в условиях, когда беспроводные каналы связи систем радиоохраны подвержены различным преднамеренным деструктивным воздействиям, направленным на нарушение их работоспособности [1-5]. Таким образом, актуальной научной и практической задачей является оценка указанных характеристик систем радиоохраны в условиях деструктивных воздействий [1-5]. В данной работе предлагается обратиться к оценке помехоустойчивости приема в системах радиоохраны в условиях преднамеренных деструктивных воздействий, представленных радиоэлектронным подавлением. Радиоэлектронное подавление является одним из самых опасных методов деструктивного воздействия на беспроводные каналы связи, оно позволяет нарушить

процесс информационного обмена или полностью его подавить и навязать ложные управляющие команды [1-6].

Целью статьи является оценка помехоустойчивости когерентного приема сигналов с различными видами манипуляций в системах радиохраны в условиях воздействия структурных помех.

### Материалы и методы

На системы связи могут воздействовать различные помехи, в частности, узкополосные, заградительные, импульсные, структурные и некоторые другие виды помех [6-9]. Однако для гарантированного нарушения работы системы связи узкополосные, заградительные и импульсные помехи должны обладать достаточно высоким значением мощности, что сравнительно легко обнаруживается и позволяет принять контрмеры [6-8]. Вместе с тем, в соответствии с [6-9], структурные помехи (СП), подобные полезному передаваемому сигналу, считаются одними из наиболее эффективных помех для систем связи, важнейшей особенностью которых является отсутствие явных признаков деструктивных воздействий.

Примем, что на входе когерентного приемного устройства, кроме полезного сигнала, также присутствует и СП:

$$x(t) = s_{\Pi}(t) + s_{СП}(t), \quad (1)$$

где  $s_{\Pi}(t)$  – полезный сигнал,  $s_{СП}(t)$  – СП.

Вначале рассмотрим оценку помехоустойчивости когерентного приема сигналов с частотной манипуляцией в условиях воздействия СП. Известно [5, 8, 10-12], что оценка помехоустойчивости когерентного приема сигналов с частотной манипуляцией, описывается следующим выражением:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right), \quad (2)$$

где  $E_b$  – энергия, приходящаяся на бит (для бинарных передач – на символ);  $N_0$  – спектральная плотность мощности СП [6];  $Q$  – гауссовский интеграл ошибок.

Согласно [6-9, 13-15], эффективность постановки СП напрямую зависит от обеспечения ее тактовой синхронизации с полезным сигналом. Однако выражение (2) не учитывает данное обстоятельство, что огрубляет оценку помехоустойчивости. Авторы полагают, что необходимо усовершенствовать оценку помехоустойчивого приема, введя в ее состав учет тактовой синхронизации СП с полезным сигналом. Построение такой оценки усложняется тем, что анализ помехоустойчивости беспроводных систем передачи данных при воздействии на них СП аналитически сложен [6, 8, 13-15].

В работе [8] исследуется помехоустойчивость приема сигналов с фазовой манипуляцией в условиях воздействия взаимных помех, представляющих собой сигналы, схожие с полезным передаваемым сигналом, но имеющие отличные от него спектральные, амплитудные или иные характеристики. Авторы работы описывают некоторые из выражений, которые возможно применить для оценки помехоустойчивости в условиях воздействия взаимных помех, например, использование границы Чернова и некоторых других. Однако авторы также отмечают, что оценка помехоустойчивости в указанных условиях является достаточно сложной задачей, которая не всегда имеет точное решение.

В работе [14] предложен один из вариантов оценки помехоустойчивости в условиях непреднамеренных СП для сигналов с различными типами фазовой манипуляции. Однако, как отмечают авторы работы, аналитически вывести точную формулу для оценки помехоустойчивости в условиях непреднамеренных СП не всегда представляется возможным.

В работе [15] предложена оценка помехоустойчивости приема двоичных ортогональных сигналов для различных решающих правил в условиях воздействия СП. Проведенные в [15] расчеты показывают, что чем больше СП схожа с передаваемым сигналом, тем сильнее ухудшается качество приема. Авторы работы также указывают на то, что оценка помехоустойчивости в условиях воздействия СП является достаточно сложной и трудоемкой процедурой.

Исходя из этого, необходимо искать более рациональные пути к оценке помехоустойчивости в условиях воздействия СП.

Рассмотрим подход, предложенный в работах [6, 13], для оценки помехоустойчивости некогерентного приема сигнала с частотной манипуляцией в условиях воздействия преднамеренных СП. Для обеспечения тактовой синхронизации СП с полезным сигналом, а так же для упрощения вычислений, в работах [6, 13] вводится понятие коэффициента временного несовпадения СП и сигнала на входе демодулятора  $\rho \in [0; 1]$ . Тогда при  $\rho=1$  будут создаваться условия, при которых решающее устройство работает случайным образом [6, 13]. А при  $\rho=0$  – соответствовать условиям передачи помехой символа, полностью совпадающего с передаваемым полезным сигналом, то есть будет способствовать его достоверному приему.

Для системы радиоэлектронного подавления наилучшая ситуация наступит в случае равенства энергии СП  $E_n$  и энергии, приходящейся на бит  $E_b$ , передаваемой полезным сигналом при выполнении условия  $\rho=1$  [6, 13]:

$$E_b = E_n. \quad (3)$$

С учетом выражения (3) и описанных допущений, авторами работ [6, 13] для оценки помехоустойчивости некогерентного приема сигнала с частотной манипуляцией в условиях СП выведено следующее выражение:

$$P_b = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b + (1-2\rho) \times E_n}{2N_0}\right). \quad (4)$$

### Результаты

Опираясь на результаты работ [6, 13] и с учетом выражений (3) и (4), выражение (2) можно преобразовать к виду, в котором учитывается тактовое несовпадение СП и полезного сигнала:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b + (1-2\rho) \times E_n}{N_0}}\right). \quad (5)$$

Формула (5) представляет собой оценку помехоустойчивости когерентного приема сигналов с частотной манипуляцией в условиях воздействия СП.

На Рисунке 1 показана усредненная зависимость вероятности битовой ошибки  $P_b$  от отношения сигнал/шум  $E_b/N_0$  при различных значениях  $\rho$ , на качественном уровне

совпадающая с известными исследованиями из данной предметной области [6, 10, 11, 13].

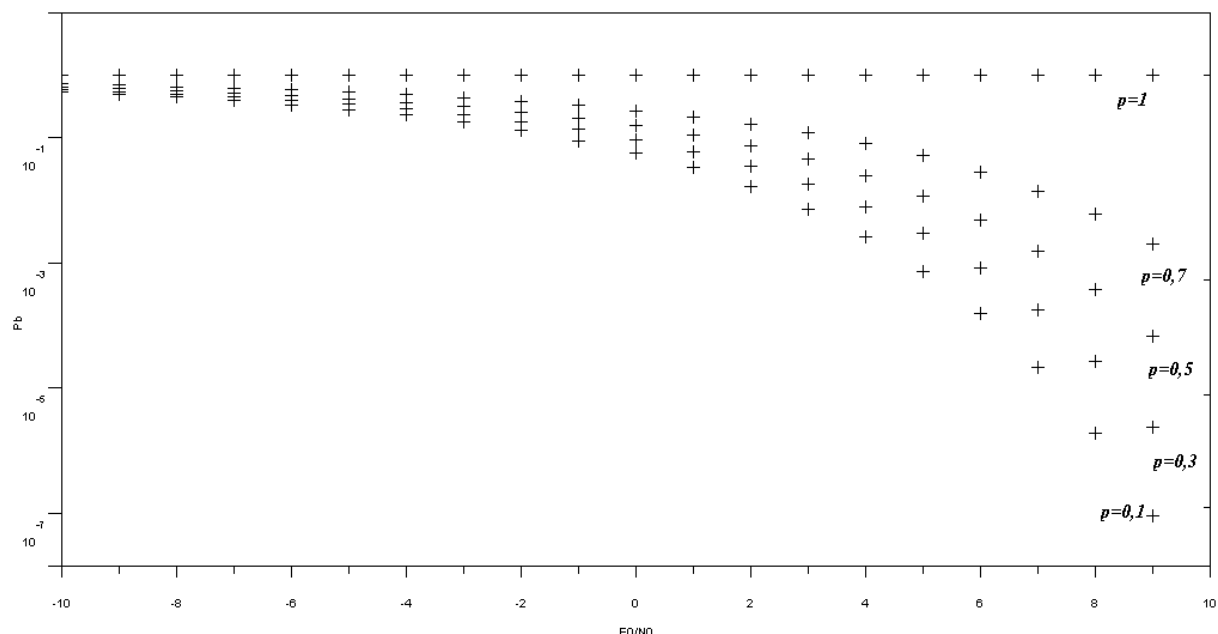


Рисунок 1 – Усредненная зависимость вероятности битовой ошибки  $P_b$  от отношения сигнал/шум  $E_b/N_0$  при различных значениях  $\rho$  для сигналов с частотной манипуляцией  
 Figure 1 – The dependence of the probability of a bit error  $P_b$  on the signal-to-noise ratio  $E_b/N_0$  for various values  $\rho$  for FSK

Ситуация, в рамках которой многие производители систем радиохраны используют сигналы с частотной манипуляцией при передаче информации по радиоканалу, является неприемлемой [5]. В силу чего сегодня существует реальная потребность в применении иных методов манипуляции. В настоящее время одним из самых широко используемых в беспроводных системах связи видов манипуляции являются двоичная и квадратурная фазовая манипуляции, которые обладают следующими преимуществами, потенциально позволяющими их использовать в системах радиохраны [5, 8-12]: достаточно высокая помехоустойчивость, приемлемая спектральная и энергетическая эффективность, относительная простота реализации. Далее в статье будем рассматривать квадратурную фазовую манипуляцию, но все полученные результаты так же правомерно распространить и на случай двоичной фазовой манипуляции.

Известно [5, 8-12], что оценка помехоустойчивости когерентного приема сигналов с двоичной и квадратурной фазовой манипуляциями описывается следующим выражением:

$$P_b = Q\left(\sqrt{2 \times \frac{E_b}{N_0}}\right), \quad (6)$$

где  $E_b$  – энергия, приходящаяся на бит (для бинарных передач – на символ);  $N_0$  – спектральная плотность мощности СП [6];  $Q$  – гауссовский интеграл ошибок.

Очевидно, что выражение (6) также не учитывает тактовую синхронизацию СП с полезным сигналом. Чтобы учесть тактовое несовпадение СП и полезного сигнала авторами статьи по аналогии предлагается выражение (6) преобразовать к виду (7):

$$P_b = Q\left(\sqrt{2 \times \frac{E_b + (1 - 2\rho) \times E_n}{N_0}}\right). \quad (7)$$

Формула (7) представляет собой оценку помехоустойчивости когерентного приема сигналов с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях воздействия СП.

На Рисунке 2 показана усредненная зависимость вероятности битовой ошибки  $P_b$  от отношения сигнал / шум  $E_b / N_0$  при различных значениях  $\rho$ , на качественном уровне совпадающая с известными исследованиями из данной предметной области [6, 10-15].

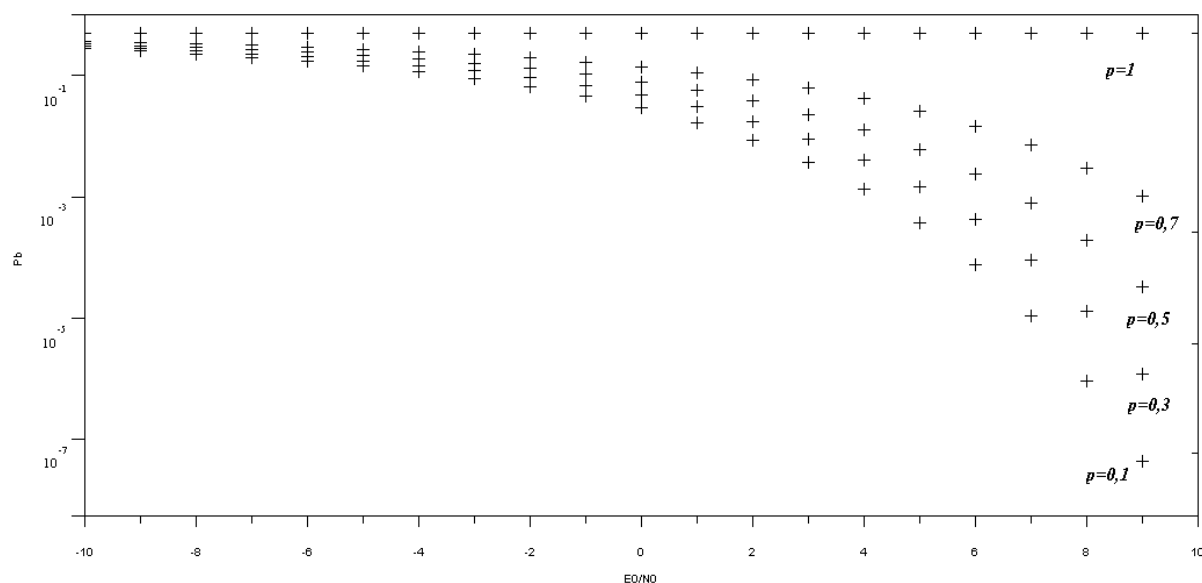


Рисунок 2 – Усредненная зависимость вероятности битовой ошибки  $P_b$  от отношения сигнал / шум  $E_b / N_0$  при различных значениях  $\rho$  для сигналов с квадратурной фазовой манипуляцией

Figure 2 – The dependence of the probability of a bit error  $P_b$  on the signal-to-noise ratio  $E_b/N_0$  for various values  $\rho$  for QPSK

Проведем сравнение результатов, полученных для выражений (5) и (7) и изображенных на Рисунках 1-2. Для сравнения полученных результатов обратимся к работам [6, 10]. Известно [6, 10], что для сравнения кривых, изображенных на Рисунках 1-2, существует несколько подходов. Воспользуемся одним из них. Для этого проведем условные горизонтальные линии при фиксированных значениях вероятности битовой ошибки  $P_b = 10^{-1} \div 10^{-3}$ . Найдем пересечение указанных условных горизонтальных линий с различными отношениями сигнал/шум  $E_b/N_0$  при различных значениях  $\rho$ . Полученные значения собраны в Таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение результатов, полученных с помощью выражений (5) и (7)

Table 1 – Comparison of results obtained using expressions (5) and (7)

Вероятность битовой ошибки, $P_b$	Коэффициент временного несовпадения, $\rho$	Отношение сигнал/шум, $E_b/N_0$	
		Частотная манипуляция	Квадратурная фазовая манипуляция
$10^{-1} \div 10^{-3}$	0,1	$\approx -1 \div 5$	$\approx -3 \div 4$
$10^{-1} \div 10^{-3}$	0,3	$\approx 0 \div 6$	$\approx -2 \div 5,3$
$10^{-1} \div 10^{-3}$	0,5	$\approx 1 \div 7,5$	$\approx -1 \div 7$



$10^{-1} \div 10^{-3}$	0,7	$\approx 2 \div 9,5$	$\approx 0 \div 9$
------------------------	-----	----------------------	--------------------

Анализ результатов, представленных в Таблице 1, показывает, что когерентный прием сигналов с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях воздействия СП при фиксированных значениях вероятности битовой ошибки  $P_b = 10^{-1} \div 10^{-3}$  обеспечивает более эффективный прием сигналов по сравнению с когерентным приемом сигналов с частотной манипуляцией. На это указывает меньшее отношение  $E_b/N_0$ , необходимое для приема одного бита (символа) [6, 10]: более низкие требования лучше, так как требуется меньше ресурсов при приеме сигналов в условиях воздействия СП. Так же следует заметить, что, в целом, кривые, изображенные на Рисунке 2, расположены несколько ближе к левой и нижней осям, чем кривые, изображенные на Рисунке 1. Это так же указывает на то [6, 10], что когерентный прием сигналов с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях воздействия СП обеспечивает более эффективный прием сигналов по сравнению с когерентным приемом сигналов с частотной манипуляцией. Кроме того, подтверждено, что подавление полезного сигнала СП зависит от коэффициента временного несовпадения  $\rho$ .

### Заключение

В данной статье на основе анализа [6-9] показано, что СП являются одними из наиболее опасных для систем связи, например систем радиохраны. Представлены некоторые из известных подходов по оценке помехоустойчивости в условиях воздействия СП [6, 8, 13-15]. Указано, что анализ помехоустойчивости беспроводных систем передачи данных при воздействии СП аналитически сложен. Для сигналов с частотной и квадратурной фазовой манипуляциями на основе подхода, предложенного в работах [6, 13], разработаны оценки помехоустойчивости когерентного приема указанных сигналов в условиях воздействия СП, представленные выражениями (5) и (7). С помощью выражений (5) и (7) построены графики усредненной зависимости вероятности битовой ошибки  $P_b$  от отношения сигнал / шум  $E_b / N_0$  при различных значениях  $\rho$ .

На основании полученных графиков и подхода из работ [6, 10] показано, что когерентный прием сигналов с квадратурной фазовой манипуляцией в условиях воздействия СП при фиксированных значениях вероятности битовой ошибки  $P_b = 10^{-1} \div 10^{-3}$  обеспечивает более эффективный прием сигналов по сравнению с когерентным приемом сигналов с частотной манипуляцией.

Проведенные исследования подтвердили, что реализация процедур подавления полезного сигнала с помощью СП связана с определенными сложностями не только по формированию помех заданной структуры, но также и с обеспечением их согласованности с полезными сигналами, передаваемыми в канале связи. Полученные вероятностные значения (5) и (7) позволят в перспективе осуществлять планирование мероприятий, как по постановке СП, так и по защите от них в системах радиохраны с когерентным приемом сигналов с различными видами манипуляций. Кроме того, проведенные исследования могут быть полезны разработчикам и производителям систем радиохраны.

Перспективным видятся дальнейшие исследования в данной области, в частности, использование для противодействия СП сложных шумоподобных сигналов, например, хаотических сигналов [2, 3, 6, 13, 16, 17].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Брауде-Золотарёв Ю. Алгоритмы безопасности радиоканалов. *Алгоритм безопасности*. 2013;1:64–66.
2. Гавришев А.А., Жук А.П., Осипов Д.Л. Анализ технологий защиты радиоканала охранно-пожарных сигнализаций от несанкционированного доступа. *Труды СПИИРАН*. 2016;4:28–45. DOI 10.15622/sp.47.2.
3. Жук А.П., Гавришев А.А., Осипов Д.Л. К вопросу о разработке защищённого устройства управления робототехническим комплексом посредством беспроводного канала связи. *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2016;12:4–9.
4. Членов А.Н., Рябцев Н.А., Федин А.Н. Анализ способов нейтрализации тревожной сигнализации систем охраны категорированных объектов. *Технологии техносферной безопасности*. 2017;3:271–279.
5. *Методические рекомендации Р 061-2017 «Применение современных видов модуляции и организация обмена информацией в радиоканальных системах передачи извещений»*. М.: НИЦ «Охрана»; 2017:45.
6. Дворников С.В., Погорелов А.А., Вознюк М.А., Иванов Р.В. Оценка имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией. *Информация и Космос*. 2016;1:32–35.
7. Кубрак А.Н., Борисов П.С. Метод формирования структурных помех для подавления систем радиосвязи с шумоподобными сигналами. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Естественные науки*. 2014;6:182–186.
8. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Шестопапов В.И. *Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью*. М.: РадиоСофт; 2011:550.
9. Петров П.Е., Частиков А.В., Петров И.Е. Одновременное обнаружение и распознавание шумоподобных сигналов при воздействии мощных структурных помех. *Проектирование и технология электронных средств*. 2011;3:50–54.
10. Скляр Б. *Цифровая связь: теоретические основы и практическое применение*: пер. с англ. – 2-е изд., испр. М.: Вильямс; 2003:1104.
11. Ивлев Д.Н. *Цифровые каналы передачи данных: Учебно-методическое пособие*. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет; 2013:53.
12. Волхонская Е.В., Коротей Е.В., Власова К.В., Рушко М.В. Модельное исследование помехоустойчивости приема радиосигналов с QPSK, BPSK, 8PSK и DBPSK. *Известия КГТУ*. 2017;46:165–174.
13. Дворников С.В., Иванов Р.В. Предложения по оценке защищенности радиоканалов от структурных помех. *Труды учебных заведений связи*. 2016;2:44–48.
14. Нгуен Ван Зунг Помехоустойчивость корреляционного приемника сигналов с многопозиционной фазовой манипуляцией при наличии ретранслированной помехи. *Журнал радиоэлектроники*. 2019;3:17. DOI 10.30898/1684-1719.2019.3.4.
15. Чучин Е.В., Алексеев А.А. Модели качества оптимального приёма сигналов в условиях структурных помех. *Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета*. 2012;2:8.
16. Kehui Sun *Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies*. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH; 2016:333.
17. Eisencraft M., Attux R., Suyama R. *Chaotic signals in digital communication*. CRC Press; 2014:480.



## REFERENCES

1. Braude-Zolotarev Yu. Safety radio's algorithms. *Algoritm bezopasnosti = Safety Algorithm*, 2013;1:64–66. (in Russ.)
2. Gavrishev A.A., Zhuk A.P., Osipov D.L. Analysis of protection technologies radio fire alarm systems against unauthorized access = *SPIIRAS Proceedings*. 2016;4:28–45. (in Russ.) DOI 10.15622/sp.47.2.
3. Zhuk A.P., Gavrishev A.A., Osipov D.L. To the question about the development of a secure control device of the robotic complex through a wireless communication channel. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport = T-Comm: Telecommunications and Transport*. 2016;12:4–9. (in Russ.)
4. Chlenov A.N., Ryabtsev N.A., Fedin A. N. Analysis of methods of neutralizing alarm protection systems categorized objects. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti = Technology of Technosphere Safety*. 2017;3:271–279. (in Russ.)
5. *Primenenie sovremennykh vidov modulyatsii i organizatsiya obmena informatsiei v radiokanal'nykh sistemakh peredachi izveshchenii: metodicheskie rekomendatsii R 061-2017* [Methodical recommendations R 061-2017 «Use of modern types of modulation and organization of information exchange in radio channel transmitting systems»]. Moscow: NITS «Okhrana» Publ.; 2017:45. (In Russ.)
6. Dvornikov S.V., Pogorelov A.A, Voznyuk M.A, Ivanov R.B. Evaluation of mimic resistance for frequency shift keying control channels. *Informatsiya i Kosmos = Information and Space*, 2016;1:32–35. (In Russ.)
7. Kubrak A.N., Borisov P.S. Method of forming structural interference suppression for radio systems with noise-like signals. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny. Yestestvennyye nauki = Proceeding of Francisk Scorina Gomel State University*, 2014;6:182–186. (In Russ.)
8. Borisov V.I., Zinchuk V.M., Limarev A.E., Shestopalov V.I. *Pomehozashhishhennost' sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra prjamoj moduljaciej psevdosluchajnoj posledovatel'nost'ju* [Noise immunity of radio communication systems with spectrum expansion by direct modulation by pseudorandom sequence]. Moscow: RadioSoft Publ.; 2011:550. (In Russ.)
9. Petrov P.E., Chastikov A.V., Petrov I.E. Odnovremennoe obnaruzhenie i raspoznavanie shumopodobnykh signalov pri vozdeystvii moshhnykh strukturnykh pomeh [Simultaneous detection and recognition of noise-like signals when exposed to powerful structural interference]. *Proyektirovaniye i tekhnologiya elektronnykh sredstv = Design and technology of electronic means*, 2011;3:50–54. (In Russ.)
10. Sklyar B. *Cifrovaya svyaz: teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye* [Digital communication. Theoretical bases and practical application]. Moscow, Vilyams Publ.; 2003:1104. (In Russ.)
11. Ivlev D.N. *Cifrovye kanaly peredachi dannyh: Uchebno-metodicheskoe posobie* [Digital data transmission channels: A training manual]. Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet Publ.; 2013:53. (In Russ.)
12. Volkhonskaya E.V., Korotey E.V., Vlasova K.V., Rushko M.V. Simulation study of the noise resistance of radiosignals reception with QPSK, BPSK, 8PSK and DBPSK. *Izvestiya KGTU = Scientific Journal of KSTU*, 2017;46:165–174. (In Russ.)
13. Dvornikov S.V, Ivanov R.V. Proposals for evaluating the structural security of radio interference. *Trudy uchebnykh zavedeniy svyazi = Proceedings of Telecommunication Universities*, 2016;2:44–48 (In Russ.)
14. Nguyen Van Dung Noise immunity of a coherent reception of signals with multiple phase shift keying in the presence of a retranslated interference. *Zhurnal radioelektroniki =*

- Journal of radio electronics*, 2019;3:17. (In Russ.). DOI 10.30898/1684-1719.2019.3.4.
15. Chuchin E.V., Alekseev A.A. Modeli kachestva optimal nogo prijoma signalov v usloviyah strukturnyh pomeh [Quality models of optimal signal reception in conditions of structural interference]. *Uchenye zapiski: jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012;2:8. (In Russ.)
  16. Kehui Sun *Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies*. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH; 2016:333.
  17. Eisencraft M., Attux R., Suyama R. *Chaotic signals in digital communication*. CRC Press; 2014:480.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Гавришев Алексей Андреевич**, старший преподаватель, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Российская Федерация. **Aleksey A. Gavrishev**, Senior Lecturer, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation  
*e-mail:* [alexxx.2008@inbox.ru](mailto:alexxx.2008@inbox.ru)  
ORCID: [0000-0002-4242-6152](https://orcid.org/0000-0002-4242-6152)

**Осипов Дмитрий Леонидович**, к.т.н., доцент, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Российская Федерация. **Dmitrij L. Osipov**, Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation  
*e-mail:* [dmtrosipov@yandex.ru](mailto:dmtrosipov@yandex.ru)

**Гимбицкий Вячеслав Ананьевич**, к.т.н., профессор, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова, Краснодар, Российская Федерация. **Vjacheslav A. Gimbitskij**, Candidate Of Technical Sciences, Professor, Hero of the Soviet Union A.K. Serov Higher Air Force School, Krasnodar, Russian Federation  
*e-mail:* [gimva@yandex.ru](mailto:gimva@yandex.ru)

*Статья поступила в редакцию 14.06.2021; одобрена после рецензирования 25.11.2021; принята к публикации 24.12.2021.*

*The article was submitted 14.06.2021; approved after reviewing 25.11.2021; accepted for publication 24.12.2021*