

УДК 654.16

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.29.2.039](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.039)

## Способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям, основанный на дополнительной модуляции с применением вейвлет-преобразования в сетях связи специального назначения

И.В. Гилев, С.В. Канавин, А.В. Попов, Н.С. Хохлов

*Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация*

**Резюме:** В статье рассмотрен способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям, основанный на переносе спектра сигнала при помощи вейвлет-преобразований в сетях связи специального назначения (СС СН), функционирующих на основе стандарта мобильного широкополосного доступа WIMAX. В качестве модели деструктивного электромагнитного воздействия, оказывающего влияние на работу сети связи специального назначения выбран гауссовский биполярный импульс. При воздействии помехи такого типа на сигнал системы WIMAX, нарушается режим нормального функционирования СС СН. В качестве модулирующей функции был выбран МНАТ-вейвлет, поскольку он описывается в частотно-временной полуплоскости и его параметры зависят от определенных коэффициентов масштабирующего множителя и временного сдвига. Таким образом, можно менять параметры модулированного сигнала путем изменения коэффициентов вейвлет-функции, которой он модулируется. МНАТ-вейвлет, получается в результате двукратного дифференцирования функции Гаусса. Данный способ находит свое применение в первую очередь из-за того, что вейвлет функционирует в частотно-временной полуплоскости и его параметры зависят от определенных коэффициентов (масштабирующего множителя и временного сдвига). Таким образом, можно менять параметры модулированного сигнала путем изменения коэффициентов вейвлет-функции, которой он модулируется. Результатами данного способа являются перенос спектра сигнала WIMAX в другую полосу частот, где так же функционирует СС СН, с помощью модуляции вейвлет-функцией, а также увеличение его мощности и расширение спектра.

**Ключевые слова:** широкополосная система связи; системы связи стандарта WIMAX, моделирование функционирования в условиях деструктивных электромагнитных воздействиях, способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям с применением вейвлет-преобразования, МНАТ-вейвлет.

**Для цитирования:** Гилев И.В., Канавин С.В., Попов А.В., Хохлов Н.С. Способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям, основанный на дополнительной модуляции с применением вейвлет-преобразования в сетях связи специального назначения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. Доступно по: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/GilevSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/GilevSoavtors_2_20_1.pdf) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.039

## METHOD OF COUNTERING DESTRUCTIVE ELECTROMAGNETIC INFLUENCES, BASED ON ADDITIONAL MODULATION WITH APPLICATION OF WAVELET TRANSFORMATION IN SPECIAL APPLICATION NETWORKS

I.V. Gilev, S.V. Kanavin, A.V. Popov, N.S. Khokhlov

*Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,*

Voronezh, Russia

**Abstract:** The article discusses a method of counteracting destructive electromagnetic effects, based on the transfer of the signal spectrum using wavelet transforms in special communication networks (SS SN), operating on the basis of the WIMAX standard for mobile broadband access. A Gaussian bipolar pulse is selected as a model of destructive electromagnetic influence that affects the operation of a special purpose communication network. When this type of interference is affected by a WIMAX system signal, the normal operation of the CC SN is disrupted. The MHAT wavelet was chosen as the modulating function, since it is described in the time-frequency half-plane and its parameters depend on certain coefficients of the scaling factor and the time shift. Thus, it is possible to change the parameters of the modulated signal by changing the coefficients of the wavelet function by which it is modulated. MHAT wavelet, obtained as a result of double differentiation of the Gauss function. This method finds its application primarily due to the fact that the wavelet operates in the time-frequency half-plane and its parameters depend on certain coefficients (scaling factor and time shift). Thus, it is possible to change the parameters of the modulated signal by changing the coefficients of the wavelet function by which it is modulated. The results of this method are the transfer of the spectrum of the WIMAX signal to another frequency band, where the SS SN also functions by modulating the wavelet function, as well as increasing its power and expanding the spectrum.

**Keywords:** broadband communication system, WIMAX communication systems, modeling of functioning under conditions of destructive electromagnetic influences, a method of counteracting destructive electromagnetic influences using wavelet transform, MHAT-wavelet.

**For citation:** Gilev I.V., Kanavin S.V., Popov A.V., Khokhlov N.S. Model of complex flows address threats to information security in communication networks special purpose. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(2). Available from: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/GilevSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/GilevSoavtors_2_20_1.pdf) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.039 (In Russ).

## Введение

В современном мире широкое применение получили сети связи различного назначения, используемые во многих сферах человеческой жизнедеятельности, исключением не являются министерства и ведомства, осуществляющие функции государственной власти и обеспечения правопорядка. В их интересах развернуты сети связи специального назначения. Сети связи, предназначенные для нужд органов государственной власти, обороны России, безопасности государства, обеспечения правопорядка относятся к сетям связи специального назначения (СС СН) [1].

В настоящее время оборудование сетей связи специального назначения, может быть реализовано на основе технологических решений, заложенных в стандартах IEEE 802.16 e и d WIMAX. Концепции построения сетей мобильного широкополосного доступа, разработанные в данном стандарте, нашли свое применение не только для организации связи и передачи данных, но и активно используются в системах управления БПЛА, и робототехническими комплексами. Однако, решения, применяемые в СС СН на основе мобильного широкополосного доступа не в полной мере, обеспечивают защищенность ведомственного мобильного широкополосного радиодоступа от воздействия электромагнитных излучений направленного характера. Средством нарушения защищенности могут являться устройства, генерирующие электромагнитные помехи в диапазонах частот, используемых СС СН. Такое воздействие осуществляется с помощью широкополосных генераторов, рассчитанных на определенный частотный диапазон, путем постановки широкополосной шумовой заградительной помехи [2-3,16]. Генерируемая помеха может оказать на информационный сигнал СС СН деструктивное влияние, в результате чего утрачивается возможность обмена информацией между

удаленными объектами, аппаратура связи может быть выведена из стоя.

С учетом этого, актуальной задачей становится совершенствование комплекса мер противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям оказывающим влияние на СС СН. В качестве объекта исследования выберем систему широкополосного доступа стандарта WiMAX, в качестве помехового широкополосного воздействия - гауссовский биполярный импульс, рассмотренный в работе [4].

В качестве способа противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям авторами предлагается осуществление переноса спектра сигнала WiMAX в другой частотный диапазон и его расширение при помощи дополнительной модуляции информационного сигнала МНАТ-вейвлетом [5,12-13]. Описание стандарта WiMAX и способа противодействия, основанного на переносе спектра при помощи вейвлет-преобразования будет рассмотрено далее.

### Описание стандарта WiMAX.

СС СН на основе стандарта IEEE 802.16 WiMAX функционируют в частотных диапазонах в пределах от 2 до 11 ГГц. Одной из главных особенностей стандарта является то, что помимо традиционной антенной системы «один вход-один выход» (SISO) может быть применена технология многосекторной антенной системы (MIMO). Ширина канала составляет от 1.25 до 28 МГц [14,16-17]. Стандартом IEEE 802.16 предусмотрено применение различных видов модуляции, таких как BPSK и многоуровневая QAM. Кроме того, стоит отметить поддержку данным стандартом технологии ортогонального частотного мультиплексирования, (OFDM) при помощи которой осуществляется расширение спектра радиосигналов. Построим спектр сигнала OFDM (1), для визуального отображения сигнала системы WiMAX Рисунок 1. Реализация построения сигнала WiMAX осуществлялась с помощью языка программирования Python, поскольку он имеет большой спектр возможностей, необходимых современному исследователю в различных областях научной деятельности и позволяет достаточно просто осуществить визуализацию графиков функций, благодаря встроенным модулям.

$$G(\omega) = \sum_{n=-N/2}^{N/2} A_n^2 T^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\omega T - 2\pi n}{2}\right)}{\left(\frac{\omega T - 2\pi n}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

где  $A_n$  — амплитуда  $n$ -й поднесущей,  $T$  — длительность огибающей,  $N$  — количество поднесущих.

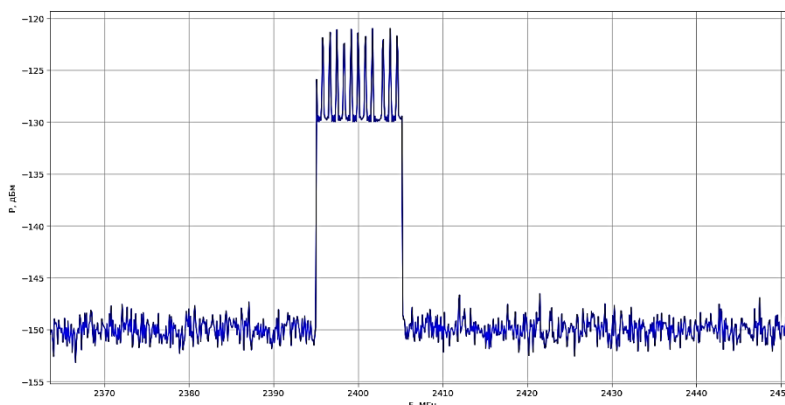


Рисунок 1 – Спектр WiMax-сигнала  
 Figure 1 – WiMax signal spectrum

Для построения были использованы следующие параметры:

1. Количество поднесущих  $N = 64$ ,
2. Амплитуда сигнала  $-150$  дБм;
3. Центральная частота  $2500$  МГц;
4. Ширина спектра  $10$  МГц;
5. Шум накладывался с помощью встроенной функции "rand" в диапазоне от  $0$  до  $1$ .

Далее будет рассмотрен способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям, основанный на переносе спектра сигнала при помощи дополнительной модуляции сигнала OFDM вейвлет функцией. В следующем разделе будет приведено описание МНАТ-вейвлета, используемого в качестве дополнительной модулирующей функции.

### Описание вейвлет-функции и способа противодействия на ее основе

Вейвлет-преобразование представляет собой математическое преобразование, способное анализировать и модифицировать различные частотные компоненты сигналов. Вейвлет-преобразование проецирует одномерный сигнал на полуплоскость время – частота, что позволяет разделять разномасштабные события и исследовать зависимость спектральных характеристик от времени, одинаково хорошо выявляет как низкочастотные, так и высокочастотные характеристики сигнала на разных временных отрезках.

Вейвлет-анализ является одним из наиболее мощных и при этом гибких средств исследования и обработки радиотехнических сигналов: их фильтрации и сжатия. Так же технология вейвлет-преобразования активно используется для достижения определенных результатов, в частности для улучшения системы OFDM в соответствии с характеристиками канала с замиранием при многолучевом распространении. Кроме того, для того, чтобы повысить как SNR, BER, улучшить спектральную эффективность, в то же время уменьшить передаваемую мощность и, для управления сдвигом частоты и фазовым шумом [11-13].

Во временном виде вейвлет-преобразование представляет собой функцию:

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (2)$$

где  $a$  – масштабирующий множитель;  $b$  – временной сдвиг.

Спектральную плотность вейвлет-преобразования можно выразить в следующем виде:

$$\psi(\omega) = \frac{2\pi}{\sqrt{a}} \cdot \omega^2 \cdot e^{-\omega^2/2}, \quad (3)$$

где  $a$  – масштабирующий множитель.

На основании анализа литературы [6,8,9,13], авторами предлагается новый способ использования вейвлет преобразования – в качестве меры противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям, а именно для переноса спектра полезного сигнала в другой частотный диапазон и его расширения. В качестве модулирующей функции был выбран МНАТ-вейвлет, поскольку он описывается в частотно-временной полуплоскости и его параметры зависят от определенных коэффициентов (масштабирующего множителя и временного сдвига) формула 2. Таким образом, можно менять параметры модулированного сигнала путем изменения коэффициентов вейвлет-функции, которой он модулируется. МНАТ-вейвлет, получается в результате двукратного дифференцирования функции Гаусса [5].

Учитывая то, что вейвлет-преобразование проецируется в полуплоскости частота-

время, процесс модуляции сигнала можно представить в следующем виде:

$$G_m(\omega) = A \cdot \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot e^{-0,5 \cdot \left(\frac{t-b}{a}\right)^2} \cdot \left(\left(\frac{t-b}{a}\right)^2 - 1\right) \cdot \sum_{n=-N/2}^{N/2} A_n^2 T^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\omega T - 2\pi n}{2}\right)}{\left(\frac{\omega T - 2\pi n}{2}\right)^2}. \quad (4)$$

Далее будет рассмотрено моделирование помехового воздействия на полезный сигнал стандарта WiMAX.

### Определение параметров помехового воздействия

В качестве модели деструктивного электромагнитного воздействия будет рассматриваться гауссовский биполярный импульс.

Такой импульс можно представить путем перемножения гауссова импульса на линейную функцию времени [4]:

$$S(t) = 2\sqrt{e} \cdot A t f_0 \cdot e^{-2(\pi f_0 t)^2}. \quad (5)$$

Спектральная плотность гауссовского биполярного импульса:

$$S(j\omega) = \frac{\sqrt{2e}A}{2\sqrt{\pi}f_0^2} \cdot e^{-0,5\left(\frac{f^2}{f_0^2}\right)}. \quad (6)$$

Для построения Гауссовского биполярного импульса, являющегося моделью широкополосной помехи, был применен программный комплекс [7]. Временная и частотная зависимости представлены на Рисунке 2.

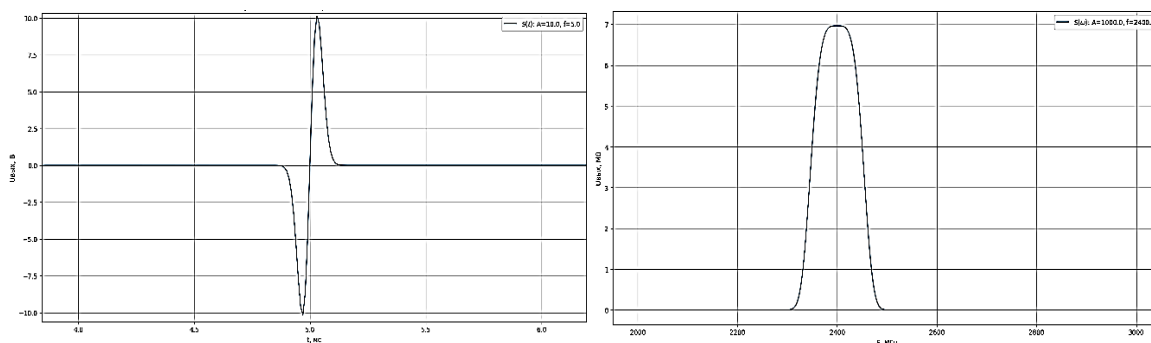


Рисунок 2 – Гауссовский биполярный импульс во временной и частотной областях  
 Figure 2 – Gaussian bipolar momentum in the time and frequency domains

Данный импульс имеет длительность 0,25 мс, мощность около 7 МВт, ширина импульса около 180 МГц. Расположен в частотном диапазоне функционирования оборудования WiMAX, в нашем случае на частоте 2400 МГц. В следующем разделе будет рассмотрено функционирование СС СН стандарта WiMAX в условиях деструктивных электромагнитных воздействий.

### Функционирование СС СН стандарта WiMAX в условиях деструктивного воздействия

Предположим, что на информационный сигнал оказывает воздействие широкополосная деструктивная помеха. Структурная схема функционирования СС СН в условиях деструктивного воздействия приведена на Рисунке 3.

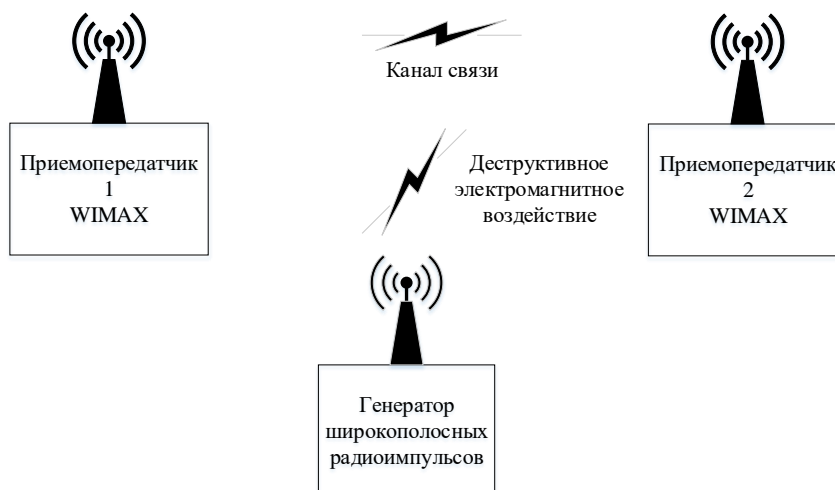


Рисунок 3 – Структурная схема функционирования СС СН в условиях деструктивного электромагнитного воздействия

Figure 3 – The structural diagram of the functioning of the SS SN in the conditions of destructive electromagnetic effects

На сигнал, передающийся от приемо-передающего устройства 1 на приемо-передающее устройство 2 СС СН оказывает влияние деструктивная помеха в виде гауссовского биполярного импульса. В результате чего на вход приемопередатчика 2 СС СН поступает аддитивная смесь полезного сигнала и действующей помехи. Спектр аддитивной смеси полезного сигнала системы WiMax и помехи приведен на Рисунке 4.

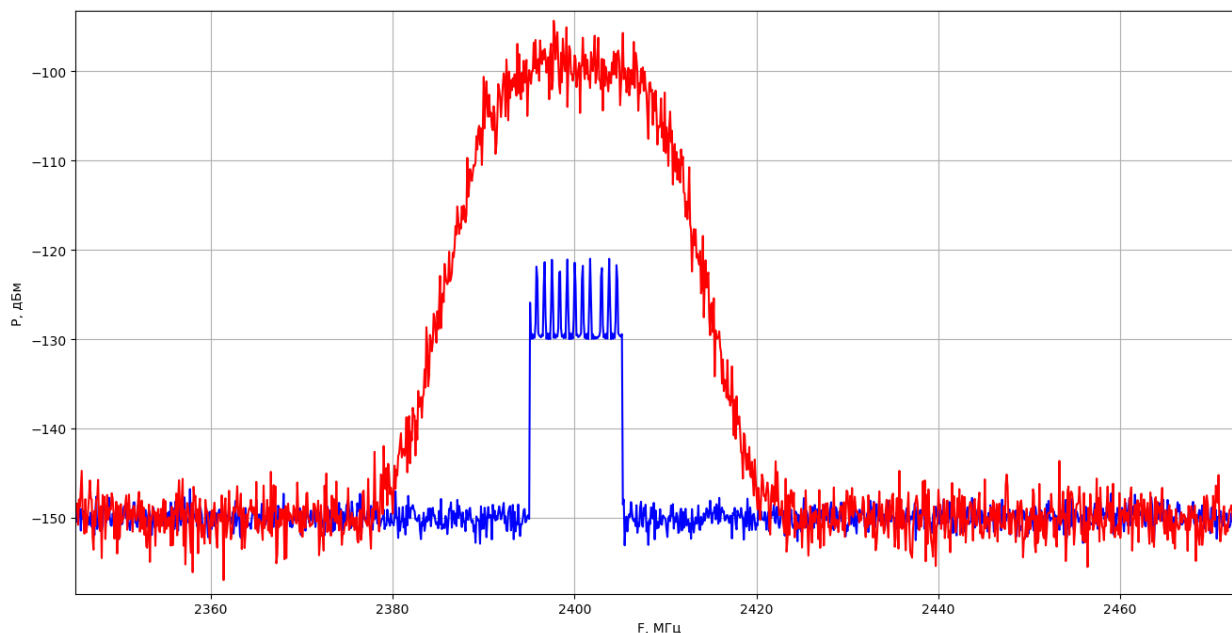


Рисунок 4 – Спектр аддитивной смеси полезного сигнала системы WiMax и помехи

Figure 4 – The spectrum of the additive mixture of the desired signal WiMax system and interference

Ширина помехи составляет 40 МГц, мощность -100 Дбм, что превосходит параметры полезного сигнала (ширина спектра 10 МГц, мощность -130 Дбм). Поскольку уровень действующей помехи превышает уровень полезного сигнала более чем на 10 дБм, детектировать сигнал не представляется возможным [6,8,9-10]. Поскольку осуществить передачу информации от приемопередающей станции 1 на

приемопередающую станцию 2 не представляется возможным в связи с воздействием помехи, авторами предлагается способ противодействия деструктивному электромагнитному воздействию, который будет рассмотрен далее.

### Способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям

В качестве способа противодействия деструктивному воздействию предложим, применение дополнительной модуляции WiMax-сигнала МНАТ-вейвлетом. Данный способ предполагается применять в случаях, если между двумя приемопередающими станциями СС СН отсутствует связь по обратному каналу (основываясь на текущем состоянии канала (отношение сигнал/шум)) [18]. Например, между приемопередатчиком 2 и приемопередатчиком 1 отсутствует соединение по обратному каналу, предполагается, что причиной этому является действие помехи на вход приемопередатчика 2. В качестве способа противодействия предполагается использование дополнительной модуляции МНАТ-вейвлетом. На приемопередающей станции 1 выходной CDMA сигнал системы WIMAX перемножается на вейвлет функцию формула 4. Изменяя значения коэффициентов  $a$  и  $b$ , формулы 4 можно осуществить расширение спектра сигнала и его перенос в другой диапазон частот. Зададим такие значения коэффициентов, чтобы перенести спектр сигнала на частоту 5,5 МГц с увеличением ширины спектра на 10 МГц. Проведенные расчеты показывают, что такому результату соответствуют следующие значения масштабирующего множителя и временного сдвига:  $a = 8$ ,  $b = 3100$ . Необходимо подчеркнуть, что все преобразования сигнала осуществляются в приемопередатчике еще до воздействия помеховой компоненты. В результате этого система связи после перехода в другой частотный диапазон осуществляет указанный способ противодействия. Количество возможных вариантов расширения спектра зависит от доступных для СС СН диапазонов частот.

В результате подстановки в выражение (4) коэффициентов с такими значениями будет получен спектр WiMax-сигнала, представленный на Рисунке 5.

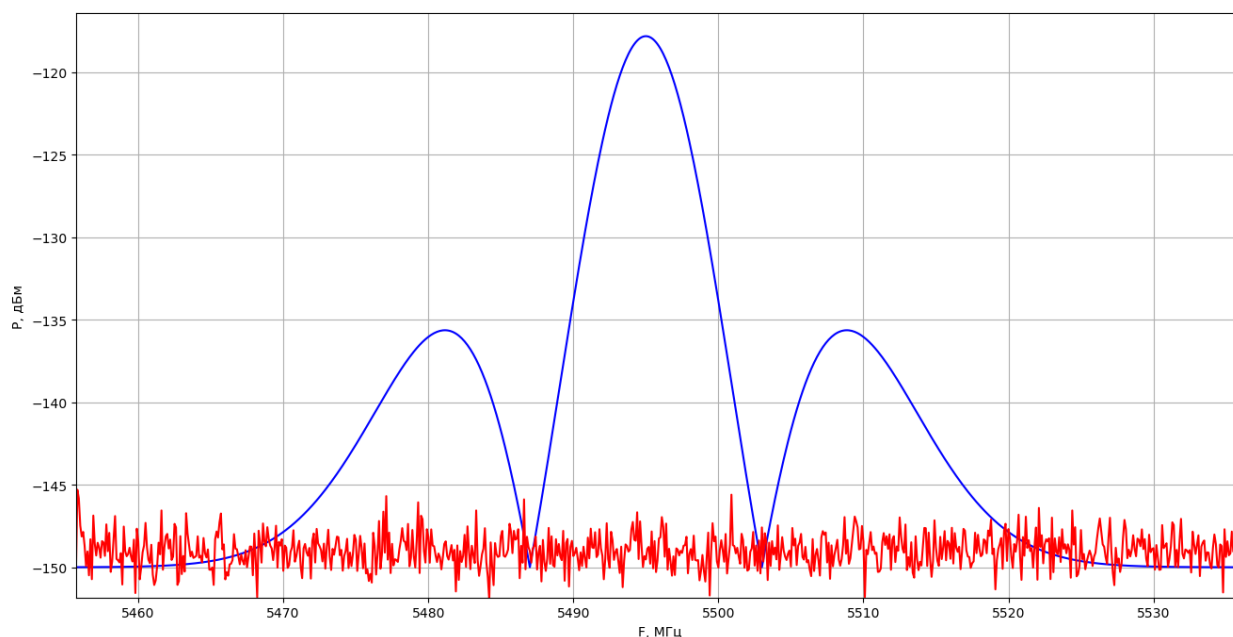


Рисунок 5 – Спектр WiMax-сигнала, модулированного вейвлет-функцией  
 Figure 5 – Spectrum of WiMax signal modulated by wavelet function

Из спектра видно, что сигнал благодаря дополнительной модуляции МНАТ-вейвлетом расширился (ширина 16 МГц), увеличился по мощности (-115 ДБм) и передвинулся в другой частотный диапазон, где также функционирует оборудование стандарта WiMax (5,5 ГГц), что исключает воздействие помехи. Данное преобразование может быть реализовано в виде программного решения или отдельного устройства, функционирующего в составе приемо-передающего оборудования СС СН стандарта WiMAX.

### Заключение

В статье был предложен способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям, заключающийся в переносе и расширении спектра, реализуемый, с применением вейвлет преобразований в СС СН стандарта WiMAX. Авторами работы было выявлено, что системы связи стандарта WiMax используемые в качестве СС СН являются уязвимыми к деструктивным электромагнитным воздействиям. В качестве объекта рассмотрения выбрана система широкополосного доступа WiMax, а в качестве модели помехового воздействия – биполярный экспоненциальный импульс. Были построены спектры полезного сигнала WiMax, а также воздействующего на него помехового воздействия. При поступлении на приемопередающее устройство 2 сигнала и действующей на него помехи, декодировать переданное сообщение не представляется возможным поскольку уровень помехи значительно превосходит уровень полезного сигнала, а также утрачивается связь с приёмопередающей станцией 1 по обратному каналу. В качестве способа противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям, авторами было предложено использование дополнительной модуляции, осуществляемой МНАТ-вейвлетом. В результате перемножения полезного сигнала WiMax и вейвлет-функции, спектр полезного сигнала переносится в другую полосу частот, в которой также имеется возможность функционирования систем WiMax, усиливается по мощности и расширяется по ширине. Предложенный в статье способ противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям в СС СН с применением вейвлет-преобразования может быть реализован на практике в виде программного или технического решения, входящего в состав аппаратуры СС СН.

### ЛИТЕРАТУРА

1. О связи : федер. закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ. Доступно по: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=284635&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.051152897698079736#08312366978414549> (дата обращения: 03.06.2020).
2. Гилев И.В Модель противодействия разрушению информации при деструктивных электромагнитных воздействиях в системах радиосвязи специального назначения на основе нечетких экспертных систем. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2020;1:158-168.
3. Хохлов Н.С., Панычев С.Н., Канавин С.В., Самоцвет Н.А., Гилев И.В. Методика количественной оценки влияния радиопомех и сигнала радиоэлектронных средств на показатели радиоэлектронной защиты. *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: *Радиотехнические и инфокоммуникационные системы*. 2019;1:22-30.



4. Хохлов Н.С., Гилев И.В., Канавин С.В. Типовые модели деструктивных широкополосных и сверхширокополосных сигналов, воздействующих на системы связи специального назначения. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2019;1:91-101.
5. Семенов В.И., Михеев К.Г., Шурбин А.К., Михеев Г.М. Конструирование ортогональных вейвлетов в частотной области для кратномасштабного анализа сигналов. *Химическая физика и мезоскопия*. 2018;2:230-238.
6. Singh P. Wavelet Transform in Image Processing : Denoising, Segmentation and Compression of Digital Images / P. Singh // *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. 2016;2:1137-1140.
7. Гилев И.В., Канавин С.В., Попов А.В. Методы формирования элементов комплекса противодействия разрушению информации в системах связи специального назначения при деструктивных широкополосных воздействиях. *Федеральная служба по интеллектуальной собственности*: Свидетельство № 2020611635; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ от 05 февраля 2020 г.
8. Кузовников А.В., Дерябин А.Л., Шатров В.А., Баженов В.Ю. Оценка эффективности расширения ширины полосы сигналов, модулированных различными типами вейвлет-функций. *Решетневские чтения: сборник материалов Международной научно-практической конференции*. 2010;1:393-394.
9. Егорова Е.В., Аксяитов М.Х., Рыбаков А.Н. Методы повышения эффективности вейвлет-преобразований при обработке, сжатии и восстановления радиотехнических сигналов: Монография. Тамбов: Юком. 2019:84.
10. Канавин С.В., Лукьянов А.С. Перспективы применения систем мобильного широкополосного доступа в сетях подвижной радиосвязи на основе стандартов Mobile WIMAX и LTE. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2016;1:79-82.
11. Лукьянов А.С., Гилев И.В., Попов А.В. Повышение помехоустойчивости систем связи и компьютерных сетей с использованием ортогональных вейвлет-функций. *Борьба с киберпреступностью в условиях развития цифрового общества: сборник статей Международной конференции*. 2019;1:11-14.
12. Xhaja B., Kalluci E., Nikolla L. Wavelet Transform In ECG Signal Processing. *European Scientific Journal*. 2015;11(12):305-312.
13. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета. 2001:58.
14. Рашич А.В. Сети беспроводного доступа WiMAX: учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета. 2011:179.
15. Хохлов Н. С., Канавин С. В., Гилев И. В. Использование многосекторной антенной системы MIMO как элемента комплекса средств противодействия деструктивным электромагнитным воздействиям. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2019;4:126-136.
16. Gilev I., Kanavin S. Modeling the Destructive Effect of Interference on Mobile Networks, Using the 3G Standard as an Example, Using a Noise Generator // *Bulletin of the Lipetsk State Technical University. 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*. Lipetsk. 2019:407-410. DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947533.
17. Гилев И. В., Канавин С. В. Моделирование системы мобильного широкополосного доступа стандарта WIMAX в условиях многолучевого распространения сигнала. *Вестник Воронежского института МВД России*. 2019;2:181-191.

18. Томашевич В.С. Исследование характеристик обратного канала в беспроводных сетях связи. *Проблемы информатики*. 2009;2:4-9.

## REFERENCES

1. About the connection: fed. Law dated 07.07.2003 No. 126-FZ. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=284635&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.051152897698079736#08312366978414549> (accessed 03.06.2020).
2. Gilev I.V. A model for counteracting the destruction of information under destructive electromagnetic influences in special-purpose radio communication systems based on fuzzy expert systems. *The bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2020;1:158-168.
3. Khokhlov N.S., Panychev S.N., Kanavin S.V., Samotsvet N.A., Gilev I.V. Methodology for the quantitative assessment of the influence of radio interference and the signal of electronic devices on the indicators of electronic protection. *Vestnik of Mari State Technical University. Series «Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2019;1:22-30.
4. Khokhlov N.S., Gilev I.V., Kanavin S.V. Typical models of destructive broadband and ultra-wideband signals affecting special-purpose communication systems. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2019;1:91-101.
5. Semenov V.I., Mikheev K.G., Shurbin A.K., Mikheev G.M. Designing orthogonal wavelets in the frequency domain for multi-scale signal analysis. *Chemical physics and mesoscopy*. 2018;2:230-238.
6. Singh P. Wavelet Transform in Image Processing: Denoising, Segmentation and Compression of Digital Images / P. Singh // *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. 2016;2:1137-1140.
7. Gilev I.V., Kanavin S.V., Popov A.V. Methods for the formation of elements of a complex to combat information destruction in special-purpose communication systems under destructive broadband influences. *Federal Service for Intellectual Property*: Certificate No. 2020611635; registered in the Register of computer programs of February 05, 2020
8. Kuzovnikov A.V., Deryabin A.L., Shatrov V.A., Bazhenov V.Yu. Evaluation of the effectiveness of the expansion of the bandwidth of signals modulated by various types of wavelet functions. *Reshetnevskiy chteniya: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2010;1:393-394. (In Russ)
9. Egorova E.V., Akseyaitov M.Kh., Rybakov A.N. Methods for improving the efficiency of wavelet transforms in the processing, compression and restoration of radio signals: Monograph. Tambov: Yukom. 2019:84.
10. Kanavin S.V., Lukyanov A.S. Prospects for the use of mobile broadband access systems in mobile radio networks based on Mobile WIMAX and LTE standards. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*. 2016;1:79-82. (In Russ)
11. Lukyanov A.S., Gilev I.V., Popov A.V. Improving the noise immunity of communication systems and computer networks using orthogonal wavelet functions. *Bor'ba s kiberprestupnost'yu v usloviyakh razvitiya tsifrovogo obshchestva: sbornik statey Mezhdunarodnoy konferentsii*. 2019;1:11-14. (In Russ)
12. Khaja B., Kalluci E., Nikolla L. Wavelet Transform In ECG Signal Processing. *European Scientific Journal*. 2015;11(12):305-312.
13. Vityazev V.V. Wavelet Time Series Analysis: A Training Manual. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University. 2001:58.

14. Rashich A.V. WiMAX Wireless Networks: A Tutorial. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University. 2011:179.
15. Khokhlov N. S., Kanavin S. V., Gilev I. V. Use of the multi-sector MIMO antenna system as an element of the complex of means of counteracting destructive electromagnetic influences. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2019;4:126-136.
16. Gilev I., Kanavin S. Modeling the Destructive Effect of Interference on Mobile Networks, Using the 3G Standard as an Example, Using a Noise Generator. *Bulletin of the Lipetsk State Technical University. 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*. Lipetsk: 2019:407-410. DOI: 10.1109 / SUMMA48161.2019.8947533.
17. Gilev I.V., Kanavin S.V. Modeling of the WIMAX standard mobile broadband access system in the conditions of multipath signal propagation. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2019;2:181-191.
18. Tomashevich V.S. The study of the characteristics of the reverse channel in wireless communication networks. *Problems of Informatics* 2009;2:4-9.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Гилев Игорь Владимирович**, адъюнкт, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [gileviv@bk.ru](mailto:gileviv@bk.ru)

**Igor V. Gilev**, Adjunct, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

**Канавин Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [sergejj-kanavin@rambler.ru](mailto:sergejj-kanavin@rambler.ru)

**Sergey V. Kanavin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

**Попов Алексей Вячеславович**, курсант 4 курса радиотехнического факультета. Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [Alex\\_std\\_ex@mail.ru](mailto:Alex_std_ex@mail.ru)

**Alexey V. Popov**, 4th year cadet of the Faculty of Radio Engineering. Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.

**Хохлов Николай Степанович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационных систем и технологий, Воронежский институт МВД России, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [nikolayhohlov@rambler.ru](mailto:nikolayhohlov@rambler.ru)

**Nikolay S. Khokhlov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Communication Systems and Technologies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation.