

**Гарматенко Игорь Сергеевич** – Военный учебно-научный центр Военно-морского флота «Военно-Морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (ВУНЦ ВМФ «ВМА»); e-mail: garmatenkoigor@gmail.com; г. Санкт-Петербург, Ушаковская набережная, 17/1; тел.: +79046157350; адъюнкт.

**Garmatenko Igor Sergeevich** – Military educational–scientific center «Navy academy of N.G. Kuznecova» Saint-Petersburg; e-mail: garmatenkoigor@gmail.com; 17/1, Ushakovskaya embankment, Saint-Petersburg, Russia; phone: +79046157350; postgraduate student.

УДК 621.396.94

**В.С. Плаксиенко, А.С. Сиденков, И.В. Хадька**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕВОЙ ОБРАБОТКИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЗАКОНУ РЕЛЕЯ**

*Рассматриваются особенности оптимизации качества обработки дискретных сигналов в условиях значительной априорной неопределенности информации о параметрах сигналов в ситуациях, когда возможно применение только энергетического приема. Целью исследования является определение основных статистических характеристик преобразованных процессов после их структурно-временной, уровневой обработки, сопоставление полученных результатов с характеристиками исходных процессов, не подвергавшихся обработке. Показано, что если огибающие процессов в каналах обработки распределены по законам Релея, что характерно для случаев сильно флуктуирующих сигналов, то в результате такой обработки увеличивается разность математических ожиданий процессов и существенно расширяются спектры. Установлено, что значительно увеличивается также и разность вторых начальных моментов, т.е. мощности процессов в каналах после их уровневой обработки – обработки по методу взаимного преобразования. Это ухудшает условия различения сигналов. Для последующего принятия решения важна только информативная часть спектра, поэтому важно соотношение первого и второго начальных моментов в рамках информационного спектра, т.е. параметры процессов после фильтрации, ограничивающей спектр процессов информационно значащими рамками. Показано, что это соотношение увеличивается и, в конечном итоге, позволяет повысить достоверность обработки.*

*Сильно флуктуирующие сигналы; алгоритм обработки; фильтрация; структурно-временная, уровневая обработка; помехоустойчивость; законы распределения; алгоритмы и схемы обработки сигналов; плотности вероятности процессов на выходах детекторов; интегральные распределения процессов; первые и вторые начальные моменты; значения и зависимости первых и вторых начальных моментов.*

**V.S. Plaksienko, A.S. Sidenkov, I.V. Khadyka**

### **THE RESEARCH OF THE LINEAR-LOGIC PROCESSING OF RANDOM PROCESSES DISTRIBUTED ACCORDING TO THE RAYLEIGH DISTRIBUTION**

*The optimal processing features of discrete signals in conditions of considerable a priori information uncertainty about the signals parameters in situations where you can use only energy reception are considered. The aim of this research is to determine the basic statistical characteristics of the transformed processes after their time-structured linear-logic processing, the comparison of obtained results with the characteristics of the original process, not exposed to processing. It is shown that if the processes envelopes in the channels of the processing is distributed according to the Rayleigh distribution, which is typical for cases of strongly fluctuating signals, the result of such processing increases the difference between the mathematical expectations of the processes and expands the range of the frequency spectrum. It is established that the difference between the second initial moments increases significantly as well, that is, power of the processes in the*

*channels after their linear-logic processing- processing by the method of mutual transformation. It worsens the conditions of distinguishing signals. It is important only informative part of the spectrum for subsequent decision, therefore, it is important the ratio of the first and second starting points within the information spectrum, that is, the parameters of the processes after filtering, limiting range of processes, information and meaningful framework. It is shown that this ratio increases and, ultimately, enhances the reliability of the processing.*

*Strongly fluctuating signals; the algorithm of signal processing; filtering signals; the time-structured linear-logic processing; the immunity; the distribution law; algorithms and schemes of signal processing; the density of probability of processes on the outputs of the detector; integrated distributions of processes; the first and second initial moments; values and dependences of the first and second initial moments.*

При обработке сильно флуктуирующих сигналов [1, 6, 7, 8] в условиях значительной априорной неопределенности в каналах устройства приема имеют место процессы, плотности вероятности огибающих которых распределены по законам Релея с различными параметрами среднеквадратического отклонения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ ,

$$W_1(x) = \frac{x}{\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_1^2}\right), \quad W_2(x) = \frac{x}{\sigma_2^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_2^2}\right). \quad (1)$$

Их функции распределения соответственно равны

$$F_1(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_1^2}\right), \quad F_2(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_2^2}\right). \quad (2)$$

Целью данного рассмотрения является определение основных статистических характеристик процессов, после структурно-временной обработки, сопоставление их с характеристиками исходных процессов.

Структурно-временная обработка дискретных сигналов, называемая иногда уровневой и линейно-логической, обеспечивает инвариантность к виду замираний сигналов, простоту технической реализации и учитывает результаты анализа распределений взаимных превышений случайных процессов по длительности и уровню [2, 3, 4, 9].

В работах [10–15, 17, 18] рассматриваются различные аспекты построения устройств уровневой обработки манипулированных сигналов и анализа закономерностей процессов, происходящих в них.

Наиболее простым алгоритмом линейно-логической обработки является алгоритм уровневой обработки процессов  $X_1(t)$  и  $X_2(t)$ , представляющий сочетание двух процедур: автовыбора и последующей фильтрации:

$$X_1^{(1)}(t) = X_1(t) 1[X_1(t) - X_2(t)];$$

$$X_2^{(1)}(t) = X_2(t) 1[X_2(t) - X_1(t)],$$

где  $1[z(t)] = \begin{cases} 1 & z(t) \geq 0; \\ 0 & z(t) < 0 \end{cases}$  – единичная ступенчатая функция или функция Хэвисайда.

После обработки процессов с плотностями вероятности и функциями распределения, определяемыми соотношениями (1), (2) по алгоритму автовыбора плотности вероятности преобразованных процессов, определяются формулами:

$$W_1^{(1)}(x) = \left[1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_2^2}\right)\right] \frac{x}{\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_1^2}\right) + A_1 \delta(x); \quad (3)$$

$$W_2^{(1)}(x) = [1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_1^2}\right)] \frac{x}{\sigma_2^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_2^2}\right) + A_2 \delta(x), \quad (4)$$

где  $A$  – дельта функции.

Преобразованные процессы  $X_1^{(1)}$  и  $X_2^{(1)}$  существуют в пределах различных отрезков времени, поэтому плотность вероятности разностного процесса на основании (3 и 4) может быть описана выражением:

$$W^{(1)}(z) = \begin{cases} [1 - \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_2^2}\right)] \frac{z}{\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_1^2}\right), & z > 0; \\ 0 & z = 0 \\ -[1 - \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_1^2}\right)] \frac{z}{\sigma_2^2} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_2^2}\right) & z < 0. \end{cases} \quad (5)$$

На рис. 1 изображены плотности вероятности разностного процесса после автовывбора, рассчитанные по формуле (5) для значений параметра  $\sigma_1 = 1 = const$ ;  $\sigma_2 = 0,5$  (рис. 1,а) и  $\sigma_2 = 0,8$  (рис. 1,б). Кривые имеют два максимума и провал в окрестности нулевого порога. Кривые, полученные статистическим моделированием, хорошо совпадают с расчетными (рис. 1).

Определим, как зависят значения первых и вторых начальных моментов преобразованных и исходных процессов от параметра  $\sigma$ .

Математическое ожидание первого преобразованного процесса определяется интегралом [16]

$$M[X_1^{(1)}] = \int_0^{\infty} x W_1^{(1)}(x) dx = \int_0^{\infty} [1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_2^2}\right)] \frac{x^2}{\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_1^2}\right) dx.$$

В результате интегрирования получим

$$M[X_1^{(1)}] = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[ \sigma_1 - \frac{\sigma_1 \sigma_2^3}{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{3/2}} \right]. \quad (6)$$

Математическое ожидание второго преобразованного процесса

$$M[X_2^{(1)}] = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[ \sigma_2 - \frac{\sigma_2 \sigma_1^3}{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{3/2}} \right]. \quad (7)$$

$$\Delta M[X_{1,2}^{(1)}] = M[X_1^{(1)}] - M[X_2^{(1)}] = \sqrt{\frac{\pi}{2}} (\sigma_1 - \sigma_2) \left[ 1 - \frac{\sigma_2 \sigma_1 (\sigma_1 + \sigma_2)}{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{3/2}} \right]. \quad (8)$$

Для сопоставления приведем выражения для математических ожиданий исходных процессов [8]:

$$M[x_1] = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_1; \quad M[x_2] = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_2, \quad (9)$$

их разность

$$\Delta M[x_{1,2}] = M[x_1] - M[x_2] = \sqrt{\frac{\pi}{2}}(\sigma_1 - \sigma_2). \quad (10)$$

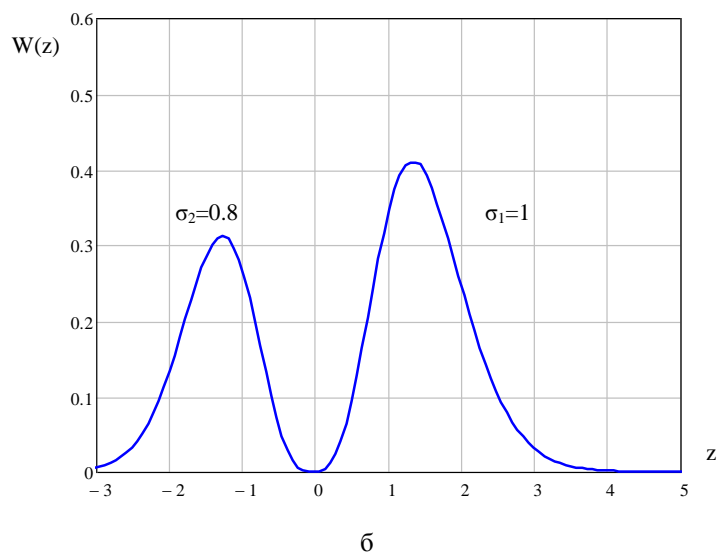
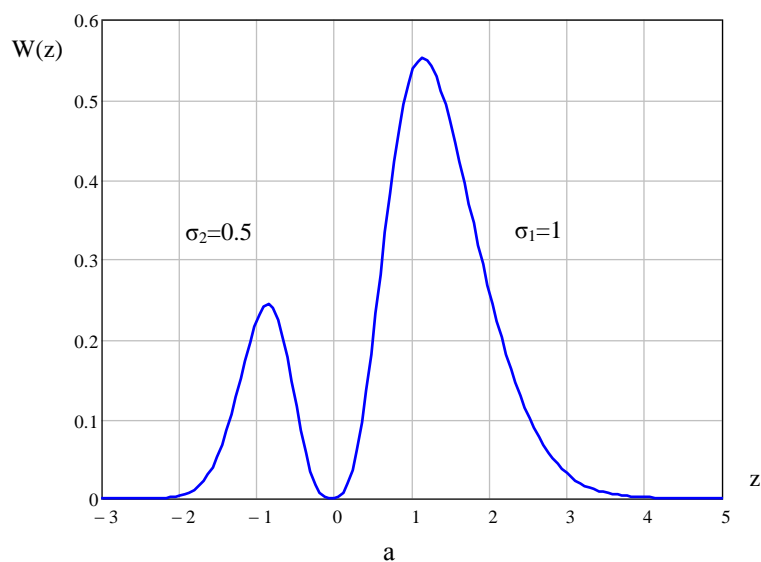


Рис. 1. Плотности вероятности процессов Разность математических ожиданий равна

На рис. 2 представлены графики зависимости математических ожиданий от величины  $\sigma_2/\sigma_1$ , построенные по формулам (6–10). Зависимости, полученные статистическим моделированием, хорошо совпадают с приведенными на рис. 2 кривыми.

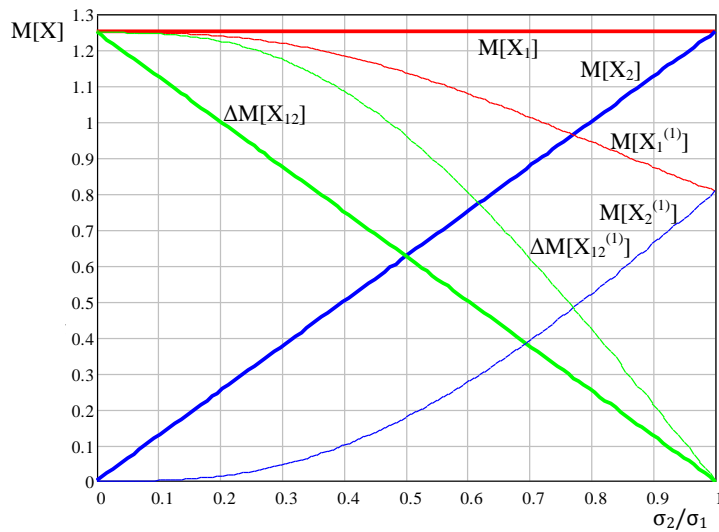


Рис. 2. Зависимости математических ожиданий

Из сопоставления кривых видно, что разность математических ожиданий преобразованных процессов  $\Delta M[X_{12}^{(1)}]$  больше разности математических ожиданий исходных процессов  $\Delta M[X_{12}]$ . Этот результат является следствием преимущественного подавления процесса с меньшим значением  $\beta$ . Увеличение разности математических ожиданий процессов в результате их уровневой обработки является благоприятным фактором, способствующим улучшению различимости процессов.

Вторые начальные моменты преобразованных процессов:

$$M[(x_1^{(1)})^2] = \int_0^{\infty} x^2 W_1^{(1)}(x) dx.$$

Учитывая (3) и производя интегрирование, получим

$$M[(x_1^{(1)})^2] = 2\sigma_1^2 - 2 \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^4}{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^2}. \quad (11)$$

Аналогично определяется второй начальный момент второго преобразованного процесса с учетом (4):

$$M[(x_2^{(1)})^2] = 2\sigma_2^2 - 2 \frac{\sigma_2^2 \sigma_1^4}{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^2}. \quad (12)$$

Вторые начальные моменты исходных процессов определяются известными формулами [8]:

$$M[(x)^2] = m_x^2 + D_x = \frac{\pi}{2} \sigma^2 + \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \sigma^2 = 2\sigma^2. \quad (13)$$

Графики зависимости вторых начальных моментов исходных и преобразованных процессов от величины  $\sigma_2/\sigma_1$ , а также их разности представлены на рис. 3.

Характер изменения этих моментов аналогичен характеру изменения математических ожиданий. Наблюдается убывание мощности второго процесса вследствие его подавления сильным первым процессом. Разность моментов преобразованных процессов больше разности моментов исходных процессов.

На рис. 4 представлены кривые отношений первых и вторых начальных моментов для преобразованных и исходных процессов, построенные по формулам (6–11), они также хорошо совпадают с полученными статистическим моделированием.

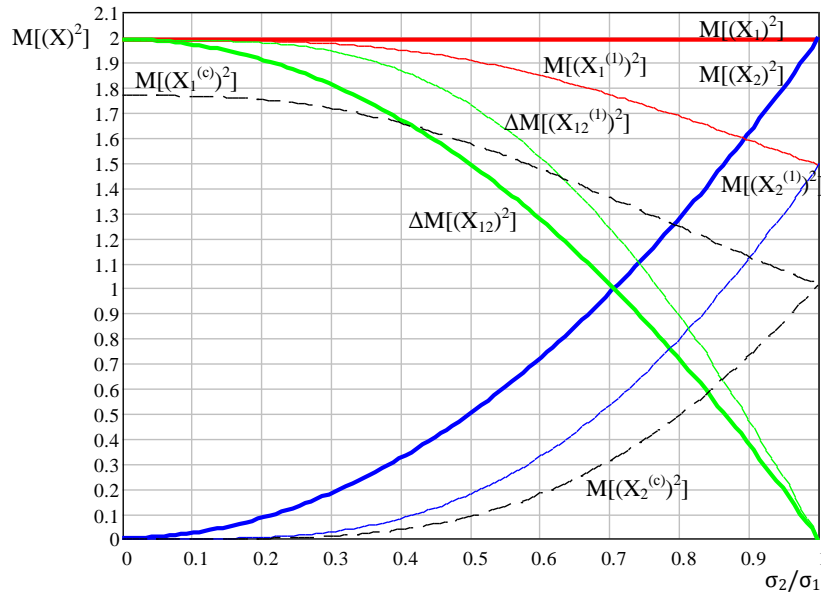


Рис. 3. Вторые начальные моменты процессов

Из рассмотрения кривых следует, что автовыбор существенно увеличивает отношение начальных моментов.

Очевидно, что после автовыбора спектры процессов в каналах обработки расширяются. Спектры, выходящие за пределы спектров исходных процессов, не содержат информативных составляющих и их необходимо отфильтровать.

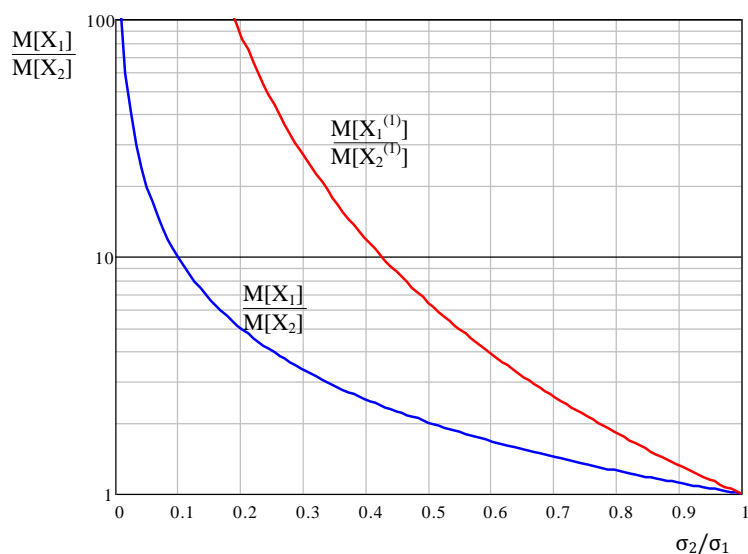
Рассмотрим влияние фильтрации на характеристики процессов после автовыбора. Фильтрация процессов выполнена только статистическим моделированием, достаточная точность которого подтверждается хорошим совпадением результатов расчетов и моделирования на рис. 1–4. Значения математических ожиданий процессов после фильтрации не изменяются (рис. 2).

При  $\sigma_2 = \sigma_1$  вторые начальные моменты равны, но имеют меньшие значения, чем после автовыбора (рис. 3). Последнее свидетельствует о том, что мощности шумов в каналах (при отсутствии сигнала) после их уровневой обработки по методу взаимного преобразования (автовыбора и фильтрации) уменьшаются.

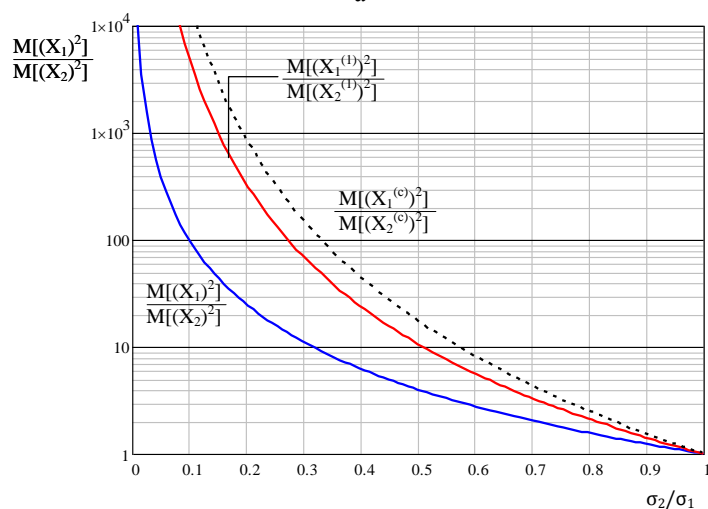
Значения вторых начальных моментов после фильтрации уменьшатся и их зависимости  $M[(X_i^{(c)})^2]$  представлены на рис. 3 штриховыми линиями.

Зависимость отношения вторых начальных моментов  $M[(X_1^{(c)})^2]/M[(X_2^{(c)})^2]$  от  $\sigma_2/\sigma_1$  после автовыбора и фильтрации представлена на рис. 4,б штриховой линией.

При разных значениях  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  имеет место эффект большего подавления меньшего процесса и меньшего изменения большего процесса (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Кривые отношений первых (а) и вторых (б) начальных моментов

Таким образом, уровневую обработку по методу взаимного преобразования (автовывбор с последующей фильтрацией) можно рассматривать как процедуру домножения сравниваемых случайных процессов на весовые коэффициенты, пропорциональные их взаимным энергетическим характеристикам. Именно это в конечном счете приводит к повышению качества обработки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е., Сиденков А.С. Особенности линейно-логической обработки сигналов // Prospero. – 2014. – № 1. – С. 108-113.
2. Плаксиенко В.С. Плотности распределения вероятностей в дискриминаторе с обратными связями // Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. – 2011. – С. 155-163.

3. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е., Сиденков А.С.* Балансный фазовый дискриминатор // Международная конференция "Перспективные вопросы мировой науки" 17-25 декабря 2013 г. – Болгария: Изд-во Бялград-БГ.
4. *Плаксиенко В.С., Кравченко Д.А., Сиденков А.С.* Балансные частотные дискриминаторы // Международная конференция "Наука и образование" 27 декабря 2013 г. – 05 января 2014 г. Publishing House "Изд-во Education and Science" s.r.o., г. Прага, Чехия.
5. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е., Сиденков А.С.* Определение полосы захвата системы ФАПЧ при прямоугольной характеристике ФД // Научный вестник новосибирского государственного технического университета. – 2014. – № 2 (55). – С. 43-51.
6. *Даниленко А.И., Плаксиенко В.С., Арямов В.А.* Обработка сильно флуктуирующих сигналов путем преобразования и интегрирования после детекторов // Межвузовский сборник ТРТИ «Вопросы формирования и обработки сигналов в радиотехнических системах». – Таганрог, 1976. – Вып. 1. – С. 85-91.
7. *Буга Н.Н., Головин О.В., Плаксиенко В.С. и др.* Радиоприемные устройства. – 3-е изд., стереотипное (учебник) / Под ред. Н.Н. Фомина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 520 с.
8. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Сов. радио, 1970. – 728 с.
9. А.с. 1067613 СССР, МКИ н 04 27/00. Способ некогерентного приема двоичных сигналов / Плаксиенко В.С. (СССР). – № 3436672/18-07. Заявл. 07.05.82. Оpubл. в Б.И., 1984, № 2.
10. *Даниленко А.И., Плаксиенко В.С.* О повышении достоверности при некогерентном приеме сигналов частотной телеграфии // Известия вузов СССР: Радиоэлектроника. – 1971. – Т. 14, № 7. – С. 790-794.
11. *Даниленко А.И., Плаксиенко В.С.* Фазовый дискриминатор с обратными связями // Известия вузов СССР: Приборостроение. – 1973. – Т. 16, № 7. – С. 41-44.
12. *Плаксиенко В.С.* Некогерентный прием двоичных сигналов с изменяющейся длительностью // Методы и устройства первичной обработки сигналов в радиотехнических системах. – Горький, 1987. – С. 38-42.
13. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Д.В.* Особенности обработки многопозиционных сигналов // Известия вузов (Воронеж «Военные электронные технологии»). – 2002. – № 3 (4).
14. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко Д.В.* Устройство для детектирования сигналов многопозиционной частотной телеграфии. Патент на изобретение №2187900 по заявке №2001106937 от 14.03.2001. Б.И. №23 от 20.08.2002.
15. *Плаксиенко В.С., Плаксиенко С.В.* Анализ помехоустойчивости неоптимальной обработки дискретных сигналов // Радиотехника. – 2004. – № 4. «Радиоэлектронные устройства и системы управления, локации и связи». – № 3. – С. 61-65.
16. *Плаксиенко В.С.* Уровневая статистическая обработка дискретных сигналов. – М.: Учебная литература, 2006. – 274 с.
17. *Плаксиенко В.С., Бондарь П.А.* Балансные дискриминаторы с управляемой характеристикой // Известия вузов России. – 2009. – № 3. – С. 12-14.
18. *Плаксиенко В.С., Кравченко Д.А., Сучков П.В.* Дискриминаторы с управляемой характеристикой в системах частотной автоподстройки частоты // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2010. – Т. 6, № 5. – С. 34-36.

#### REFERENCES

1. *Plaksienko V.S., Plaksienko N.E., Sidenkov A.S.* Osobennosti lineyno-logicheskoy obrabotki signalov [Features of linear logic signal processing], *Prospero*, 2014, No. 1, pp. 108-113.
2. *Plaksienko V.S.* Plotnosti raspredeleniya veroyatnostey v diskriminatore s obratnymi svyazyami [The probability density functions in the discriminator with feedback], *Izvestiya Akademii inzhenernykh nauk im. A.M. Prokhorova* [Proceedings of the Academy of engineering Sciences A.M. Prokhorov], 2011, pp. 155-163.
3. *Plaksienko V.S., Plaksienko N.E., Sidenkov A.S.* Balansnyy fazovyy diskriminator [Balanced phase discriminator], *Mezhdunarodnaya konferentsiya "Perspektivnye voprosy mirovoy nauki" 17-25 dekabrya 2013 g* [International conference "Future issues of the world of science" 17-25 December 2013], Bulgaria: Izd-vo Bialgrad-BG.
4. *Plaksienko V.S., Kravchenko D.A., Sidenkov A.S.* Balansnye chastotnye diskriminatory [Balanced frequency discriminatory], *Mezhdunarodnaya konferentsiya "Nauka i obrazovanie" 27 dekabrya 2013 g – 05 yanvarya 2014 g.* [International conference "Science and education" on 27 December 2013 - 05 January 2014]. Publishing House "Izd-vo Education and Science" s.r.o., g. Praga, Chekhiya.



5. *Plaksienko V.S., Plaksienko N.E., Sidenkov A.S.* Opredelenie polosy zakhvata sistemy FAPCh pri pryamougol'noy kharakteristike FD [Definition swath of the system PLL with a rectangular characteristic FD], *Nauchnyy vestnik novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Bulletin of Novosibirsk state technical University], 2014, No. 2 (55), pp. 43-51.
6. *Danilenko A.I., Plaksienko V.S., Aryamov V.A.* Obrabotka sil'no fluktuiruyushchikh sig-nalov putem preobrazovaniya i integrirovaniya posle detektorov [Processing of strongly fluctuating signals by converting and integrating detectors after], *Mezhvuzovskiy sbornik TRTI «Voprosy formirovaniya i obrabotki signalov v radiotekhnicheskikh sistemakh»* [Interuniversity collection of TREI "Questions of formation and processing of signals in communications systems"]. Taganrog, 1976, Issue 1, pp. 85-91.
7. *Buga N.N., Golovin O.V., Plaksienko V.S. i dr.* Radiopriemnye ustroystva [A receiving device]. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2007, 520 p.
8. *Fink L.M.* Teoriya peredachi diskretnykh soobshcheniy [The theory of the transmission of discrete messages]. Moscow: Sov. radio, 1970, 728 p.
9. A.s. [Author's certificate] 1067613 SSSR, MKI n 04 27/00. Sposob nekogerentnogo priema dvoichnykh signalov [The way non-coherent reception of binary signals], *Plaksienko V.S.* (SSSR). No. 3436672/18-07. Zayavl. 07.05.82. Opubl. v B.I., 1984, No. 2.
10. *Danilenko A.I., Plaksienko V.S.* O povyshenii dostovernosti pri nekogerentnom prieme signalov chastotnoy telegrafii [On increase of reliability for non-coherent reception of signals with frequency telegraphy], *Izvestiya vuzov SSSR: Radioelektronika* [Izvestiya vuzov the USSR: Electronics], 1971, Vol. 14, No. 7, pp. 790-794.
11. *Danilenko A.I., Plaksienko V.S.* Fazovyy diskriminator s obratnymi svyaziyami [The phase discriminator with feedback], *Izvestiya vuzov SSSR: Priborostroenie* [Izvestiya vuzov the USSR: Engineering], 1973, Vol. 16, No. 7, pp. 41-44.
12. *Plaksienko V.S.* Nekogerentnyy priem dvoichnykh signalov s izmenyayushchey dlitel'nost'yu [Non-coherent reception of binary signals with variable duration], *Metody i ustroystva pervichnoy obrabotki signalov v radiotekhnicheskikh sistemakh* [Methods and devices for primary processing of signals in communications systems]. Gor'kiy, 1987, pp. 38-42.
13. *Plaksienko V.S., Plaksienko D.V.* Osobennosti obrabotki mnogopozitsionnykh signalov [Features multi-position signal processing], *Izvestiya vuzov (Voronezh «Voennyye elektronnyye tekhnologii»)* [Izvestiya vuzov (Voronezh Military electronic technology)], 2002, No. 3 (4).
14. *Plaksienko V.S., Plaksienko D.V.* Ustroystvo dlya detektirovaniya signalov mnogopozitsionnoy chastotnoy telegrafii [Device for detecting signals of multi-frequency telegraphy]. Patent na izobretenie №2187900 po zayavke №2001106937 ot 14.03.2001. B.I. No. 23 ot 20.08.2002.
15. *Plaksienko V.S., Plaksienko S.V.* Analiz pomekhoustoychivosti neoptimal'noy obrabotki diskretnykh signalov [Analysis of the noise sub-optimal processing of discrete signals], *Radiotekhnika* [Radio engineering], 2004, No. 4. «Radioelektronnyye ustroystva i sistemy upravleniya, lokatsii i svyazi» ["Radio-electronic devices and systems management, location and communication"], No. 3, pp. 61-65.
16. *Plaksienko V.S.* Urovnevaya statisticheskaya obrabotka diskretnykh signalov [Level statistical processing of discrete signals]. Moscow: Uchebnaya literatura, 2006, 274 p.
17. *Plaksienko V.S., Bondar' P.A.* Balansnyye diskriminatory s upravlyaemoy kharakteristikoy [Balanced discriminatory with controlled characteristics], *Izvestiya vuzov Rossii* [Izvestiya of Russian universities], 2009, No. 3, pp. 12-14.
18. *Plaksienko V.S., Kravchenko D.A., Suchkov P.V.* Diskriminatory s upravlyaemoy kharakteristikoy v sistemakh chastotnoy avtopodstroyki chastoty [Discriminatory with controlled characteristics in systems frequency-locked loop], *Elektrotekhnicheskie i informatsionnyye komplekсы i sistemy* [Electrical engineering and information systems and systems], 2010, Vol. 6, No. 5, pp. 34-36.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.О. Касьянов.

**Плаксиенко Владимир Сергеевич** – Южный федеральный университет; e-mail: vsr46@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; д.т.н. профессор.

**Сиденков Александр Сергеевич** – e-mail: alexandrsidenkov@rambler.ru; аспирант.

**Хадыка Иван Владимирович** – e-mail: Ivanthebest2010@mail.ru; аспирант.

**Plaksienko Vladimir Sergeevich** – Southern Federal University; e-mail: vsp46@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; dr. of eng. sc.; professor.

**Sidenkov Alexandr Sergeevich** – e-mail: alexandrsidenkov@rambler.ru; postgraduate student.

**Khadyka Ivan Vladimirovich** – e-mail: Ivanthebest2010@mail.ru; postgraduate student.

УДК 004.93'12, 004.93'14

**В.П. Федосов, Р.В. Рубцов**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СИНТЕЗА СИГНАЛА С МАЛЫМ УРОВНЕМ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ СПЕКТРА**

*Представлен регулярный метод синтеза элементарных сигналов для беспроводных сетей, применяющих частотное уплотнение при кодировании передаваемой информации. Синтезированный сигнал обладает двухуровневой огибающей и низким уровнем боковых лепестков в заданной частотной области. Метод основан на многократном применении операции задержки и сложения пачки прямоугольных импульсов, эквивалентный свертке исходного сигнала с двумя дельта-функциями, разнесенными на интервал задержки. При выборе задержки учитывается взаимное несовпадение импульсов. В результате получаем пачку импульсов с широтно-импульсной модуляцией и двухуровневой огибающей. Для проверки работоспособности алгоритма была создана программная реализация в среде разработки National Instruments LabVIEW. Были исследованы временные и спектральные характеристики сигналов, подтвердившие исходные предпосылки. Помимо радиосвязи, алгоритм может найти применение в доплеровских ультразвуковых системах, использующих нелинейные усилители большой мощности. При излучении таких сигналов узкополосной антенной происходит преобразование широтно-импульсной модуляции в амплитудную, сигналы с такой модуляцией обладают низким уровнем боковых лепестков в широкой полосе.*

*Регулярный метод синтеза битового сигнала без обработки окна; низкий уровень боковых лепестков спектра; двухуровневая огибающая.*

**V.P. Fedosov, R.V. Rubtsov**

### **INVESTIGATION OF ALGORITHMS FOR SIGNAL SYNTHESIS WITH LOW SIDELOBES SPECTRUM**

*The paper represents regular method of synthesis of a bit signal for the wireless communication networks using frequency manipulation for coding of the transferred information. The synthesized signal possesses two-level envelope and low side-lobe level in the set frequency area. The method is based on repeated application of operation of a delay and addition of a pack of the rectangular impulses, equivalent to convolution of an initial signal with two delta-functions, separated with a delay interval. Delay choice is made considering mutual mismatch of impulses. As a result we receive a pack of impulses with pulse-width modulation and two-level envelope. To test the working capacity of algorithm the program realization has been created using National Instruments LabVIEW developer software. Temporal and spectral characteristics of signals have been researched, confirming initial preconditions. Besides a radio communication, the algorithm can find application in Doppler's ultrasonic systems that use high-powered nonlinear amplifiers. Radiation of such signals by the narrow-band antenna transforms pulse-width modulation into amplitude modulation. Signals with such modulation have low side-lobe level in a wide frequency band.*

*Regular method of synthesis of a bit signal without window processing; low sidelobe level of spectrum; two-level envelope.*