

УДК 517.17:681.518.5:004.93:004.522

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.64500

## РАСПОЗНАВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ПОЯВЛЕНИИ И ИСЧЕЗНОВЕНИИ ПОМЕХИ В СЛУЧАЙНЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ

© В. В. Авраменко, А. Е. Коноплянченко, Ю. И. Прохненко

В статье описан метод распознавания эталонного сигнала, на который накладывается случайная аддитивная помеха. Эталоны, в свою очередь, могут представлять собой различные виды импульсов, что делает невозможным вычисление их производных в некоторые моменты времени. Кроме того, эталон входит в анализируемый сигнал с некоторым заранее неизвестным масштабным коэффициентом. Предложенный метод позволяет определить, фрагмент какого из эталонов входит в анализируемый сигнал в текущий момент времени

**Ключевые слова:** распознавание сигнала, функции непропорциональностей, аддитивная помеха, случайная помеха, импульс, фрагмент сигнала

*This article describes the reference of the signal recognition method, which is superimposed on the random additive interference. References, in turn, can be various types of pulses, which makes impossible the calculation of their derivatives in some times. Also, reference includes in the analyzed signal with a certain advance unknown scale factor. The proposed method allows determining a fragment of the references included in the analyzed signal at random time*

**Keywords:** signal recognition, disproportionate functions, additive interference, random interference, pulse, signal fragment

### 1. Введение

В каналах связи возникают помехи, что затрудняет распознавание передаваемого эталонного сигнала. Это может быть телеграфный сигнал, принимающий значения ноль или единица. Могут быть аналоговые сигналы для дистанционного управления, отличающиеся по форме. Их распознавание при наличии помехи требует определенной информации, например, спектральной плотности помехи, полосы занимаемых частот и др. Однако на практике получение такой информации не всегда возможно, особенно, если характеристики помехи изменяются во времени. Поэтому разработка методов распознавания сигналов при минимальных сведениях о помехе является актуальной задачей.

### 2. Анализ литературных данных

Распознаванию эталонных сигналов при наличии помех посвящается много работ. Так в [1] решается задача автоматизированного радиоконтроля в условиях, когда распознаваемые сигналы носят случайный характер с неизвестными статистическими характеристиками. В [2] показано распознавание акустических импульсных сигналов на фоне техногенных помех по образцам сейсмоакустических импульсов и импульсов промышленных помех, а также по звуковым записям процесса угледобычи.

При ретрансляции радиосигналов в автоматическом режиме осуществляется их сканирование с целью выявления в них одного из заранее определенных звуковых образов [3]. В случае их обнаружения вырабатываются команды для изменения режима работы ретранслятора.

Рассматриваемая задача также является актуальной для дефектоскопии, поскольку существуют характерные особенности формы сигнала от дефек-

тов различного типа [4, 5]. Отдельно следует упомянуть о задачах распознавания речевых сигналов [6].

Разработано множество различных методов распознавания сигналов. Наиболее часто используются различного рода искусственные нейронные сети [7, 8]. В [4] приведены причины того, что эти сети пока не нашли широкого применения в технических устройствах. Там же предложен нейрон, который может находить сигнал в шумах и помехах и основанная на нем детерминированная нейронная сеть. Для её работы необходимо располагать определенным количеством отсчетов обрабатываемого сигнала. Кроме того, для каждого нейрона нужно экспериментально подобрать так называемый коэффициент обобщения.

Анализ показывает необходимость разработки методов оперативного обнаружения признаков того, что фрагмент одного из заданного множества эталонных сигналов присутствует в обрабатываемом сигнале при наложении помехи. При этом требуется, чтобы система распознавания была инвариантной к амплитуде сигнала и могла работать с негладкими функциями.

В данной работе предлагается метод распознавания эталонного сигнала, когда помеха аддитивная и о ней известно лишь то, что она возникает и исчезает в случайные моменты времени. Это характерно, например, для помех от электросварки и от других промышленных установок. При этом амплитуда распознаваемого сигнала неизвестна.

### 3. Постановка задачи

Дано конечное множество эталонных функций  $f_i(t)$ , где  $t \in [0; T_i]$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ , описывающих эталонные сигналы. Анализируемый сигнал в случае аддитивной помехи имеет вид:

$$y(t) = kf_i(t + \tau_i) + \eta(t), \quad (1)$$

где  $f_i(t)$  –  $i$ -тая эталонная функция;  $\tau_i \in [0; T_i]$  – сдвиг во времени между сигналом и  $i$ -м эталоном;  $\eta(t)$  – аддитивная помеха, о которой известно лишь то, что она может исчезать и появляться в случайные моменты времени;  $k$  – коэффициент, значение которого неизвестно.

Для мультипликативной помехи

$$y(t) = kf_i(t + \tau_i)\eta(t). \quad (2)$$

Необходимо по текущим значениям сигнала  $y(t)$  и его первой производной определить, какая из эталонных функций присутствует в данный момент времени в анализируемом сигнале.

#### 4. Описание метода

В [9] приведено решение данной задачи для случая, когда анализируемый сигнал описывается выражением (1) или (2). С этой целью использовалась функция непропорциональности по производной первого порядка для числовых функций, заданных параметрически. Эта непропорциональность сигнала (1) по эталонной функции  $f_j(t)$  описывается выражением:

$$\begin{aligned} @d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)}y(t) &= \frac{y(t)}{f_j(t+\tau_j)} - \frac{dy(t)/dt}{df_j(t+\tau_j)/dt} = \\ &= \frac{kf_i(t+\tau_i) + \eta(t)}{f_j(t+\tau_j)} - \frac{(kf_i'(t+\tau_i) + \eta')}{f_j'} = \\ &= k@d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)}f_i(t+\tau_i) + @d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)}\eta. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь @ – символ вычисления непропорциональности. Символ d (derivative) означает, что это – непропорциональность по производной. В скобках указан порядок производной. Читается «эт d один y(t) по  $f_j(t+\tau)$ ».

Для случая, когда  $j=i$ , непропорциональность (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} @d^{(1)}_{f_i(t+\tau_i)}y(t) &= \frac{\eta(t)}{f_i(t+\tau_i)} - \frac{\eta'}{f_i'} = \\ &= @d^{(1)}_{f_i(t+\tau_i)}\eta(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Очевидно, что при исчезновении помехи, когда  $\eta(t) = 0$  и  $\eta'(t) = 0$ , а также при правильно подобранном сдвиге во времени  $\tau_i \in [0; T_i]$ , непропорциональность (4) равняется нулю. Таким образом, равенство нулю непропорциональности (3) свидетельствует о том, что в момент времени  $t$  помеха исчезла, и в анализируемом сигнале присутствует эталонная функция  $f_i(t)$ , сдвинутая на  $\tau_i$ . Для других эталонных функций непропорциональность (3) не будет

нулевой ни при каких сдвигах во времени. Исключением может быть случай, когда несколько эталонов имеют совпадающие фрагменты.

При наличии мультипликативной помехи, когда анализируемый сигнал описывается выражением (2), непропорциональность (3)  $y(t)$  по  $f_i(t+\tau)$  при сдвиге во времени  $\tau_i$  имеет вид:

$$@d^{(1)}_{f_i(t+\tau_i)}y(t) = -k\eta'(t) \frac{f_i(t+\tau_i)}{f_i'(t+\tau_i)}, \quad (5)$$

В момент, когда производная помехи  $\eta'(t) = 0$ , непропорциональность (5) становится равной нулю. То есть, в данном случае оперативное распознавание эталонного сигнала происходит даже при наличии помехи.

Однако предложенный метод не может быть использован, когда эталонные функции не являются гладкими. Для эталонных сигналов, представляющих собой прямоугольные, пилообразные и другие импульсы, первая производная не всегда существует или значительный интервал времени постоянно и равняется нулю. В результате непропорциональность (3) не всегда может быть вычислена. Для этих условий предлагается использовать интегральную непропорциональность по производной первого порядка для функций, заданных параметрически [10]. При её вычислении не используются производные функций. Эта непропорциональность анализируемого сигнала  $y(t)$  по эталону  $f_i(t+\tau_i)$  имеет вид:

$$@I^{(1)}_{f_i(t+\tau_i)}y(t) = \frac{\int_{t-h}^t y(t)dt}{\int_{t-h}^t f_i(t+\tau_i)dt} - \frac{y(t)}{f_i(t+\tau_i)}, \quad (6)$$

где  $h$  – заданный интервал времени. При дискретном представлении сигналов это шаг квантования по времени.

Ниже приведены примеры, когда передаются сигналы в виде последовательности прямоугольных импульсов и производится их распознавание с использованием нескольких эталонов. Эталоны представляют собой прямоугольные, треугольные, трапецеидальные импульсы, а также часть синусоиды. Все они имеют одинаковые длительности, одинаковые периоды и, в принципе, могут иметь произвольные амплитуды. Однако для усложнения задачи амплитуда прямоугольных импульсов передаваемого сигнала отличается от амплитуды соответствующего ему эталона, а эталонные импульсы трапецеидальной и треугольной формы отличаются только формой.

При вычислении непропорциональности (6) в случае, когда оба сигнала одновременно равняются нулю, её значение принимается равным нулю.

На рис. 1, 2 показано сравниваемые импульсы и соответствующая непропорциональность (6) прямоугольного сигнала по синусоидальному.

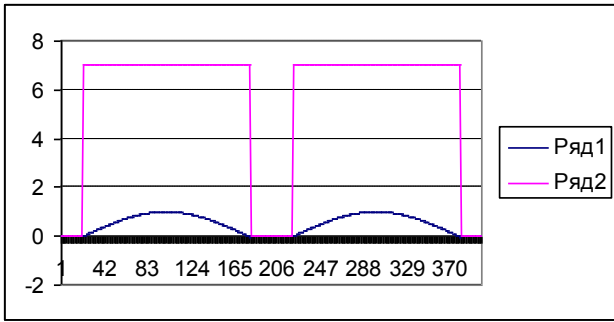


Рис. 1. Прямоугольный и синусоидальный импульсы

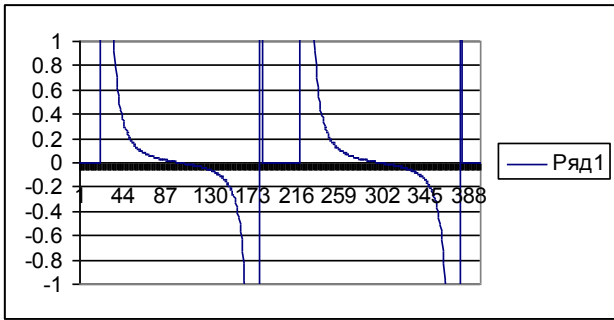


Рис. 2. Непропорциональность (6) прямоугольного импульса по синусоидальному

На рис. 1–4 показаны сравниваемые импульсы и соответствующие им непропорциональности (6) прямоугольного импульса по синусоидальному и по треугольному. В обоих случаях наблюдается положительная непропорциональность в первой половине импульса и отрицательная – во второй. В точках 21, 181, 221 и 381 имеют место скачки вследствие деления на ноль. Неравенство нулю непропорциональности (6) для точек, где имеется прямоугольный импульс, свидетельствует, что синусоидальный и треугольный эталоны ни в одной точке не входят в анализируемый сигнал, который по условию представляет собой последовательность прямоугольных импульсов.

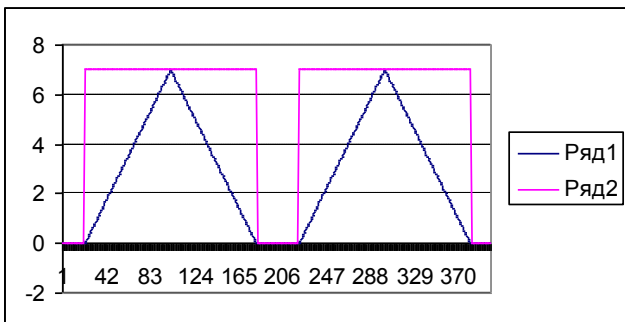


Рис. 3. Прямоугольный и треугольный импульсы

На рис. 5 представлены прямоугольный и трапецидальный импульсы. У этих импульсов есть одинаковые фрагменты в виде горизонтальных участков на графиках. Из рис. 6 видно, что на отрезках [81, 120] и, соответственно, на [281, 320] непропорциональность (6) прямоугольного импульса по трапецидальному равняется нулю. То есть на этих отрезках фрагменты сравниваемых сигналов совпа-

дают, и распознавание не происходит. Однако, на интервалах [21, 80], [121, 179], [221, 280] и [321, 379] непропорциональность отличается от нуля. Если помеха исчезнет на одном из этих интервалов, то становится возможным распознать, что эталонный импульс не прямоугольный, а трапецидальный.

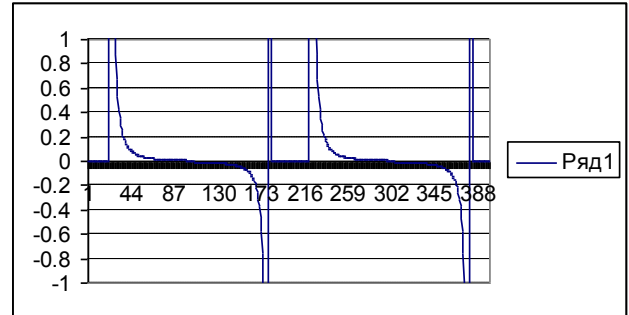


Рис. 4. Непропорциональность (6) прямоугольного импульса по треугольному

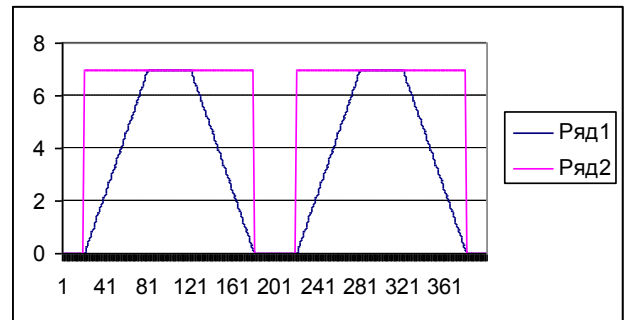


Рис. 5. Прямоугольный и трапецидальный импульсы

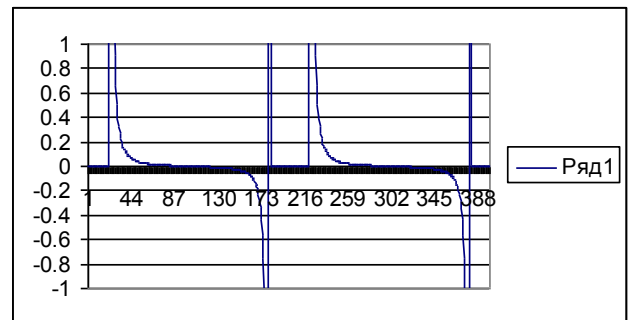


Рис. 6. Непропорциональность (6) прямоугольного импульса по трапецидальному

При передаче импульса прямоугольной формы, отличающегося от эталона только по амплитуде, непропорциональность (6) на всем интервале наблюдения, где имеется прямоугольный импульс, равняется нулю.

Таким образом, если во время передачи прямоугольного импульса помеха на какое-то время исчезает, в этот момент непропорциональность (6) анализируемого сигнала по прямоугольному импульсу становится равной нулю. Если равенство нулю имеет место только для одного эталона, то именно он входит в текущий момент времени в передаваемый сигнал. При совпадении фрагментов у нескольких эталонов, для всех них непропорциональность будет нулевой. В этом случае для принятия решения требуется допол-

нительная информация. Например, при передаче прямоугольных импульсов непропорциональность (6) сигнала  $y(t)$  по эталонному прямоугольному импульсу будет равной нулю на большем интервале времени, чем для трапецеидального импульса.

Вследствие инвариантности непропорциональности (6) по отношению к масштабу по оси ординат, её значения равны нулю для импульсов любой амплитуды, если у них одинаковые форма и длительность.

Для иллюстрации работы предложенного алгоритма был смоделирован сигнал, который представляет собой сумму прямоугольного импульса, умноженного на масштабный коэффициент, и некоторой случайной помехи. Осциллограмма сигнала представлена на рис. 7. При этом в некоторые моменты

времени помеха отсутствует. Так, на отсчетах с 18 по 38 на графике можно наблюдать фрагмент чистого прямоугольного импульса.

На рис. 8 приведены значения непропорциональности (6) зашумленного сигнала по прямоугольному импульсу. При этом следует учесть, что амплитуда эталона не совпадает с амплитудой прямоугольного импульса, входящего в анализируемый сигнал. Как видно из графика, для точек, на которых помеха не накладывается на эталонный сигнал, эта непропорциональность равна нулю, несмотря на наличие масштабного множителя.

В то же время непропорциональность анализируемого сигнала по синусоидальному импульсу (рис. 9) не имеет нулевых значений во всей области наблюдения.

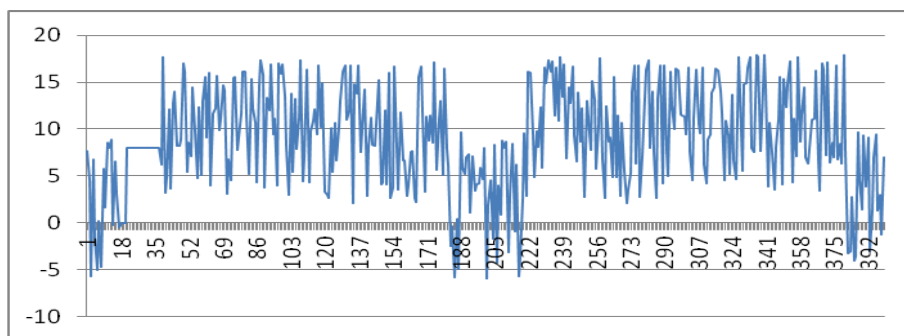


Рис. 7. Зашумленный прямоугольный импульс

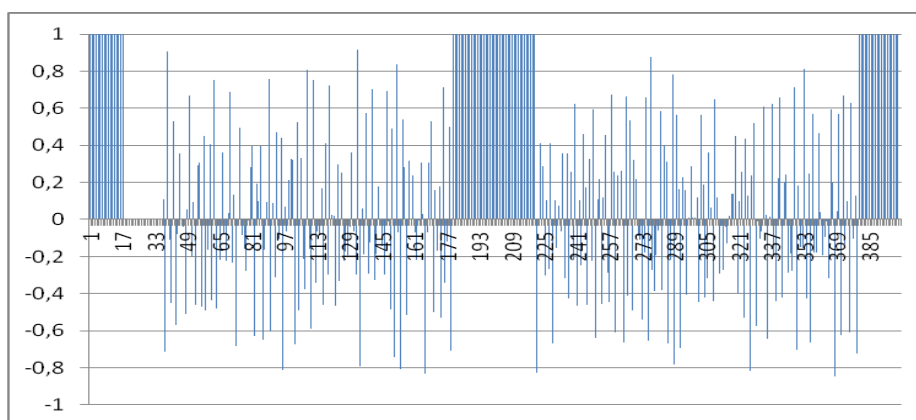


Рис. 8. Непропорциональность зашумленного прямоугольного импульса по прямоугольному

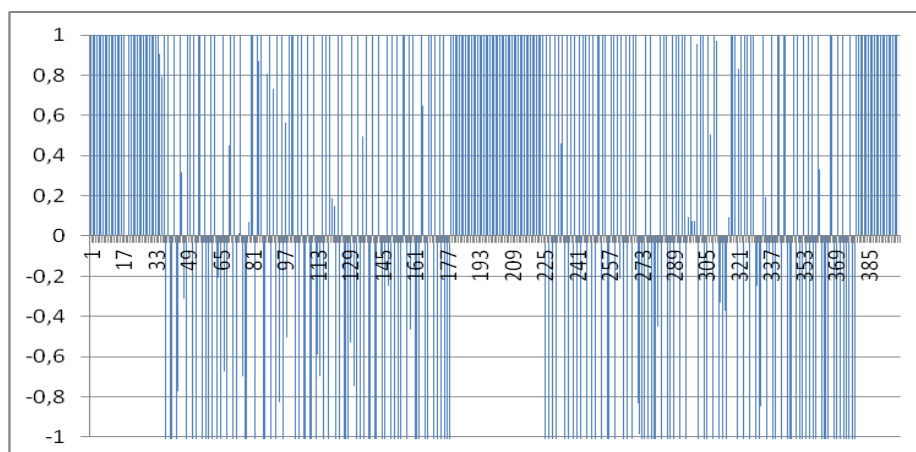


Рис. 9. Непропорциональность зашумленного прямоугольного импульса по синусоидальному

Следовательно, можно сделать вывод, что шумленный сигнал содержит в себе прямоугольный импульс.

### 5. Результаты исследования

Приведенные результаты показывают, что в случайные моменты времени, когда исчезает аддитивная импульсная помеха, непропорциональность (6) анализируемого сигнала по передаваемому эталонному, равняется нулю.

Таким образом, автоматически определяются интервалы времени, на которых помеха отсутствует, и когда осуществляется распознавание сигнала.

### 6. Выводы

Предложенный метод позволяет автоматически распознавать фрагмент одного из заданного множества эталонных сигналов, который входит в анализируемый сигнал в текущий момент времени. Его основным преимуществом является оперативность и возможность работы с сигналами, для которых невозможно вычисление первой производной.

При этом система распознавания инвариантна к амплитудам сигнала и помехи.

Программная реализация предложенного алгоритма показала свою эффективность на конкретном примере.

### Литература

1. Безрук, В. М. Распознавание заданных сигналов в задачах автоматизированного радиоконтроля [Текст] / В. М. Безрук, О. Г. Лебедев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 5, № 9 (59). – С. 47–50. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4628/4283>
2. Деглина, Ю. Б. Нейросетевой алгоритм распознавания сигналов акустической эмиссии [Текст] / Ю. Б. Деглина // Штучний інтелект. – 2006. – № 4. – С. 731–734. – Режим доступа: [http://iai.dn.ua/public/JournalAI\\_2006\\_4/Razdel8/13\\_Deglina.pdf](http://iai.dn.ua/public/JournalAI_2006_4/Razdel8/13_Deglina.pdf)
3. Справочная система по модулям Digispot II [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://redmine.digispot.ru/projects/digispot/wiki/WikiStart>
4. Бархатов, В. А. Обнаружение сигналов и их классификация с помощью распознавания образов [Текст] / В. А. Бархатов // ИЦ Физприбор. – Режим доступа: [http://fprbor.ru/uploadedFiles/files/Pattern\\_Recognition\\_1.pdf](http://fprbor.ru/uploadedFiles/files/Pattern_Recognition_1.pdf)
5. Данилов, В. Н. К оценке эхосигналов от двугранных углов в образцах с цилиндрическими поверхностями [Текст] / В. Н. Данилов // Дефектоскопия. – 2007. – № 7. – С. 35–42.
6. Запрягаев, С. А. Распознавание речевых сигналов [Текст] / С. А. Запрягаев, А. Ю. Коновалов // Вестник ВГУ,

Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2009. – № 2. – С. 39–48. – Режим доступа: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2009/02/2009-02-08.pdf>

7. Mehra, P. Artificial Neural Networks: Concepts and Theory [Text] / P. Mehra. – IEEE Computer Society Press, 1992. – 680 p.

8. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.

9. Авраменко, В. В. Распознавание эталонных сигналов при неполной информации о характеристиках помех [Текст] / В. В. Авраменко, Н. Ю. Слепушко // Вестник СумГУ. Технические науки. – 2009. – № 3. – С. 13–19.

10. Авраменко, В. В. Распознавание фрагментов заданных эталонов в анализируемом сигнале с помощью функций непропорциональности [Текст] / В. В. Авраменко, А. П. Карпенко // Вісник Сумського державного університету. – 2002. – № 1 (34). – С. 96.

### References

1. Bezruk, V. M., Lebedev, O. G. (2012). Recognition of predetermined signals in the automated radio monitoring problems. Eastern-European journal of enterprise technologies, 5/9 (59), 47–50. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4628/4283>
2. Deglina, Ju. B. (2006). Nejrosetevoj algoritm raspoznavanija signalov akusticheskoj jemissii. Shtuchnij intelekt, 4, 731–734. Available at: [http://iai.dn.ua/public/JournalAI\\_2006\\_4/Razdel8/13\\_Deglina.pdf](http://iai.dn.ua/public/JournalAI_2006_4/Razdel8/13_Deglina.pdf)
3. Spravochnaja sistema po moduljam Digispot II. Available at: <http://redmine.digispot.ru/projects/digispot/wiki/WikiStart>
4. Barhatov, V. A. Obnaruzhenie signalov i ih klassifikacija s pomoshh'ju raspoznavanija obrazov. IC Fizpribor. Available at: [http://fprbor.ru/uploadedFiles/files/Pattern\\_Recognition\\_1.pdf](http://fprbor.ru/uploadedFiles/files/Pattern_Recognition_1.pdf)
5. Danilov, V. N. (2007). K ocenke jehosignalov ot dvugrannyh uglov v obrazcah s cilindricheskimi poverhnostjami. Defektoskopija, 7, 35–42.
6. Zaprygaev, S. A., Kononov, A. Ju. (2009). Raspoznavanija rechevyh signalov. Vestnik VGU, Serija: sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii, 2, 39–48. Available at: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2009/02/2009-02-08.pdf>
7. Mehra, P. (1992). Artificial Neural Networks: Concepts and Theory. IEEE Computer Society Press, 680.
8. Osovskij, S. (2004). Nejronnye seti dlja obrabotki informacii. Moscow: Finansy i statistika, 344.
9. Avramenko, V. V., Slepushko, N. Ju. (2009). Raspoznavanie jetalonnyh signalov pri nepolnoj informacii o harakteristikah pomeh. Vestnik SumGU. Tehnicheskie nauki, 3, 13–19.
10. Avramenko, V. V., Karpenko, A. P. (2002). Raspoznavanie fragmentov zadannyh jetalonov v analiziruемом signale s pomoshh'ju funkcij neproporcional'nosti. Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu, 1 (34), 96.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Борисенко О. А.  
Дата надходження рукопису 15.02.2016*

**Авраменко Виктор Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра компьютерных наук, Сумский Государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007

**Коноплянченко Антон Евгеньевич**, кафедра компьютерных наук, Сумский Государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007

**Прохненко Юрий Иванович**, аспирант, кафедра компьютерных наук, Сумский Государственный университет, ул. Римского-Корсакова 2, г. Сумы, Украина, индекс 40007