

УДК 004.056:577.3.043

НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ОПЕРАТОРА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. СИДОРЕНКО, Н.А. СОЛОДУХО

Белорусский государственный университет, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 18 июля 2017

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований электроэнцефалограмм оператора под воздействием электромагнитных шумовых излучений. Используя методы нелинейной динамики (метод Хигучи и метод Вольфа) с предварительным подавлением шумов, применяя вейвлет-преобразования на базе функций Хаара и Добеши четвертого порядка, удалось охарактеризовать структуру электроэнцефалограммы по параметрам фрактальной размерности и первой экспоненты Ляпунова. Установлено, что фрактальная размерность электроэнцефалограммы возрастает более чем на 9,6–10,0 % при использовании вейвлет-преобразований относительно показателя без ее предварительной обработки. Отмечается увеличение фрактальной размерности D на 1,6 и 7,3 % при воздействии на оператора шума и проведении предварительной обработки электроэнцефалограмм с использованием соответственно базисных функций Хаара и Добеши по отношению к действию шума без предварительной обработки. Первая экспонента Ляпунова при введении вейвлет-преобразований изменяет знак значения показателя с положительного на отрицательный. Это объясняется тем, что при использовании предварительной обработки аттрактор в пространстве состояний становится притягивающим, фазовая траектория системы становится устойчивой, что свидетельствует о стабильности функционирования головного мозга оператора.

Ключевые слова: излучение, шум, организм человека, защита, информация.

Abstract. The experimental investigation of operator electroencephalograms subjected by electromagnetic noise radiation is described. Using the nonlinear methods (Higuchi method and Wolf method) with the preliminary noise suppression by the wavelet transformation with base Haar and Dobeshi 4 functions) makes is possible to characterize structural variations of the analyzed electroencephalograms subjected to the electromagnetic noise waves by the fractal dimension and the first Lyapunov exponents. As shown the fractal dimension was increasing more than 9,6 and 10,0 % accordingly in comparative this parameter without the preliminary processing of analyzing electroencephalograms without electromagnetic noise. It is noted the increasing of fractal dimension to 1,6 and 7,3 % subjected to the electromagnetic noise and used preliminary processing of electroencephalograms by the wavelet transformation with base Haar and Dobeshi 4 functions relatively noise action without preliminary processing electroencephalograms. Using Wolf method with the preliminary noise suppression by the wavelet transformation is possible to reveal the change the sign from positive to negative. It is obviously, that preliminary processing of electroencephalograms is lead to stability of function the brain of operator.

Keywords: radiation, noise, human organism, protection, information.

Doklady BGUIR. 2017, Vol. 108, No. 6, pp. 69-75
Nonlinear analysis of operator electroencephalograms subjected
by electromagnetic noise radiation
A.V. Sidorenko, N.A. Solodyho

Введение

Электромагнитные поля и излучения получают широкое распространение в таких областях жизнедеятельности человека, как мобильная связь, компьютерная техника, бытовая

аппаратура, обеспечение защиты информации при передаче и обработке различных документов, что в той или иной степени оказывает влияние на различные системы его организма. В научной литературе отмечается, что воздействие электромагнитного излучения на функционирование центральной нервной системы носит противоречивый характер, что подтверждается экспериментальными результатами [1, 2].

При решении задач защиты информации актуальной является проблема предотвращения несанкционированного съема информации по побочным электромагнитным излучениям и наводкам, образуемым техническими средствами обработки, формирования и передачи информации. При этом наиболее эффективным методом борьбы с побочными электромагнитными излучениями и наводками является использование генераторов шумового сигнала, который, являясь более мощным, обеспечивает маскирование побочных излучений. Однако при функционировании ряда технических систем, включая мобильные, оператор при передаче и обработке информации оказывается в условиях электромагнитных шумовых излучений [3]. Воздействие таких излучений на оператора представляет непосредственный практический интерес.

Для выделения полезных компонент из исследуемых биоэлектрических сигналов центральной нервной системы, отражением которых является электроэнцефалограмма, в данной работе используется предварительная обработка сигнала. Она заключается в очистке анализируемых сигналов от шумов. Для этого предлагается применить для предварительной обработки сигналов вейвлет-преобразование, а затем использовать метод нелинейной динамики. Применение вейвлет-преобразования позволяет учесть основную структуру сигнала, пренебрегая незначительными элементами при его разложении по вейвлет-коэффициентам. Следует отметить, что подобный подход с использованием вейвлет-преобразований был успешно применен авторами при обработке электрокортикограмм животных (аналог электроэнцефалограмм у человека) при исследовании воздействия фармакологических препаратов и электромагнитного излучения [4]. В качестве базисных вейвлетов в предлагаемой работе используются функции Хаара и Добеши четвертого порядка [5]. Из методов нелинейной динамики выбираем методы Хигучи и Вольфа [6, 7].

Целью работы является изучение влияния электромагнитного шумового излучения на биоэлектрический сигнал – электроэнцефалограмму – методами нелинейной динамики при использовании вейвлет-преобразований для предварительной обработки анализируемого сигнала.

Определение количественных показателей: фрактальной размерности D и первой экспоненты Ляпунова λ проводилось согласно методам Хигучи и Вольфа.

Методы анализа электроэнцефалограмм

Электроэнцефалограмму можно рассматривать как некоторый временной ряд записи потенциалов. В связи с этим для расчета фрактальной размерности D электроэнцефалограммы можно использовать метод Хигучи, который является одним из методов нелинейной динамики.

Метод Хигучи. Алгоритм метода вычисления фрактальной размерности D временного ряда x , содержащего N элементов, включает следующие этапы.

1. Создание новых временных рядов. Из заданного временного ряда x создаются новые временные ряды x_k^m , определяемые следующим образом:

$$x_k^m; x(m), x(m+k), x(m+2k), \dots, x\left(m + \frac{N-m}{k}\right), \quad (m=1, 2, \dots, k),$$

где k и m – целые числа, m – начальное время, а k – временной интервал.

Для временного интервала, равного k , получается k наборов новых временных рядов. При $k=3$ и $N=100$ три временных ряда, полученных таким образом, описываются:

$$x_3^1; x(1), x(4), x(7), \dots, x(97), x(100),$$

$$x_3^2; x(2), x(5), x(8), \dots, x(98),$$

$$x_3^3; x(3), x(6), x(9), \dots, x(99).$$

Вычисление длины каждого нового ряда. Длина кривой x_k^m , обозначенной как $L_m(k)$, определяется следующим образом:

$$L_m(k) = \left\{ \sum_{i=1}^k [x(m+ik) - x(m+(i-1))], \frac{N-1}{\left(\frac{N-m}{k}\right) \cdot k} \right\},$$

где дробь $\frac{N-1}{\left(\frac{N-m}{k}\right) \cdot k}$ представляет собой нормировочный коэффициент для длины кривой

поднабора временных рядов. Усреднение $L_m(k)$ по всем m от 1 до k дает L_{cp} .

2. Построение графика $L_{cp} = f(k)$. Строится график функции средней длины кривой за временной интервал L_{cp} в функции k в двойном логарифмическом масштабе. Если соблюдается соотношение $L_{cp} \approx k^{-D}$, тогда кривая является фракталом с размерностью D .

3. Вычисление модуля тангенса угла наклона графика. Вычисляется модуль значения тангенса угла наклона графика функции L_{cp} в функции k в двойном логарифмическом масштабе, что дает значение фрактальной размерности исходного временного ряда x [8].

Метод Вольфа. Первая экспонента Ляпунова рассчитывается следующим образом [7]. Для временного ряда X формируется фазовый портрет в m -мерном пространстве состояний динамической системы, где любая точка последовательности выражается через последовательность чисел $\{x(t), x(t+\tau), \dots, x(t+(m-1)\tau)\}$, где τ и m – выбранные оператором время задержки и размерность пространства состояний динамической системы.

Далее определяется ближайшая соседняя к начальной точка $\{x(t_0), x(t_0+\tau), \dots, x(t_0+(m-1)\tau)\}$ и вычисляется расстояние между этими двумя точками $d(t_0)$. В следующий момент времени (т.е. через выбранное оператором время эволюции t_s) расстояние между этими двумя точками становится равным $d'(t_1)$. Далее находится новая точка, которая удовлетворяет следующим условиям: ее расстояние от сместившейся начальной точки будет мало; угол θ , образованный сместившейся начальной точкой, следующей точкой последовательности (точкой во время t_1), и выбранной точкой, мал. Затем все повторяется для следующей точки временной последовательности. Первая экспонента Ляпунова вычисляется следующим образом: $\lambda = (t_M - t_0)^{-1} \sum_{k=1}^M \log_2 \{d'(t_k)/d(t_{k-1})\}$, где M – номер последней временной итерации нахождения расстояния между сместившимися точками d' .

Время эволюции при расчете первой экспоненты Ляпунова совпадает с орбитальным периодом траекторий в фазовом пространстве состояний динамической системы [7].

Методика проведения исследований

При регистрации электроэнцефалограмм в клинических условиях на электроэнцефалографе «Нейрокартограф» фирмы МБН использовалась международная схема «10/20». Обработка и анализ электроэнцефалограмм проводились в разработанной авторами и адаптированной к обработке электроэнцефалограмм информационно-измерительной системе с применением модифицированного программного обеспечения [9].

Анализируемые электроэнцефалограммы подвергались предварительной обработке с использованием вейвлет-преобразования, где в качестве базисных вейвлетов применялись функции Хаара и Добеши четвертого порядка (в дальнейшем, Добеши). Согласно литературным данным [5], временное окно вейвлет-преобразования адаптировано для оптимального выявления и низкочастотных, и высокочастотных характеристик сигналов. Построение временной и спектральной диаграмм исследуемых сигналов осуществлялось в пакете Wavelet Toolbox системы Matlab, которая располагает средствами для построения вейвлет-спектров сигналов с улучшенной визуализацией. Затем методами Хигучи и Вольфа

вычислялись фрактальная размерность D и первая экспонента Ляпунова λ . При этом размерность вложения равняется 3, орбитальный период траекторий в фазовом пространстве динамической системы составляет 1 с, а время задержки, соответственно, 10 мс.

Объектом исследования являются электроэнцефалограммы следующих отведений: Т3-А1 и Т4-А2, О1-А1 и О2-А2. Электроэнцефалограммы здорового человека исследовались в режимах: фон, шумовое излучение, где фон соответствовал отсутствию, шумовое излучение – наличию действия излучения.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных результатов в данной работе приведен для электроэнцефалограмм отведений О1-А1 и О2-А2 в режимах: фон, шумовое излучение. Минимальное значение фрактальной размерности D , как видно из рис. 1, наблюдается для электроэнцефалограмм в фоне как без предварительной обработки, так и с ней. Предварительное преобразование электроэнцефалограммы отведения О1-А1 приводит к возрастанию фрактальной размерности D на 9,6 и 10,0 % относительно фона для базисной функции Хаара и Добеши соответственно. При наличии электромагнитного шумового излучения фрактальная размерность D электроэнцефалограммы отведения О1-А1 превышает на 1,6 и 7,3 % соответственно для базисной функции Хаара и Добеши значения фрактальной размерности D по отношению к действию шума без предварительной обработки.

Подобная тенденция сохраняется и для фрактальной размерности электроэнцефалограмм D отведения О2-А2. Вейвлет-преобразование для базисной функции Хаара и Добеши приводит к повышению значений на 1,7 и 2,1 % фрактальной размерности D , полученных при расчете для фона. Фрактальная размерность электроэнцефалограмм D для отведения О2-А2 в присутствии генератора шума для функций Хаара превысила значение на 1,9 %, а для функции Добеши – на 2,2 % значение фрактальной размерности электроэнцефалограммы D без предварительной обработки.

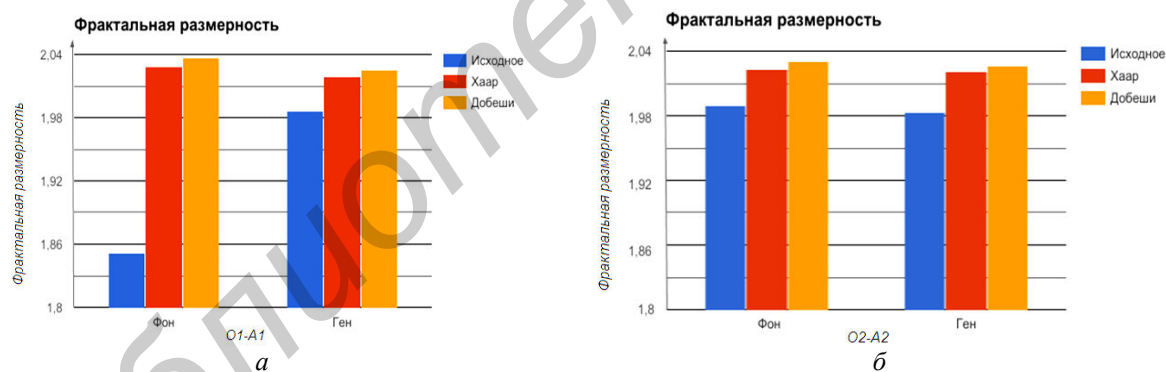


Рис. 1. Гистограммы распределений фрактальной размерности D электроэнцефалограмм для отведений О1-А1 (а) и О2-А2 (б) : в фоне (без преобразования, с предварительным вейвлет-преобразованием при использовании базисных функций Хаара и Добеши четвертого порядка); при воздействии электромагнитного шумового излучения (без преобразования, с предварительным вейвлет-преобразованием при использовании базисных функций Хаара и Добеши четвертого порядка)

Значение фрактальной размерности исследуемой электроэнцефалограммы D без предварительной обработки при наличии генератора шума составило 99,7 % от фона. При действии шумового электромагнитного излучения значения фрактальной размерности D сигнала с предварительными преобразованиями для базисной функции Хаара и Добеши равнялись 99,5 и 99,4 % относительно значения для фонового сигнала.

Интересные результаты получены при определении экспоненты Ляпунова λ исследуемых электроэнцефалограмм (рис. 2).

В фоновом режиме экспонента Ляпунова λ электроэнцефалограммы отведения О1-А1), не подверженной предварительному вейвлет-преобразованию, является положительной величиной, а для электроэнцефалограмм с вейвлет-преобразованиями – отрицательной. При использовании вейвлетов Хаара и Добеши модули значений экспоненты Ляпунова λ

составили соответственно 66,3 и 83,7 % относительно исходного, не преобразованного значения λ в фоне. Значение экспоненты Ляпунова λ исходной, не преобразованной вейвлетом электроэнцефалограммы отведения O1-A1 равнялось 2,37 бит/с. Значение экспоненты Ляпунова сигнала, преобразованного вейвлетом Хаара, для отведения O1-A1 составило $-1,57$ бит/с. Значение экспоненты Ляпунова λ сигнала, преобразованного вейвлетом Добеши, для отведения O1-A1 оказалось равным $-1,98$ бит/с. Используемый метод расчета экспоненты Ляпунова λ не позволяет получить численное значение для исходной без вейвлет-преобразований электроэнцефалограммы при действии шумового излучения. При наличии генератора шума значение экспоненты Ляпунова λ электроэнцефалограммы после преобразования с использованием вейвлета Хаара составило $-1,65$ бит/с и $-0,35$ бит/с – после преобразования с использованием вейвлета Добеши.

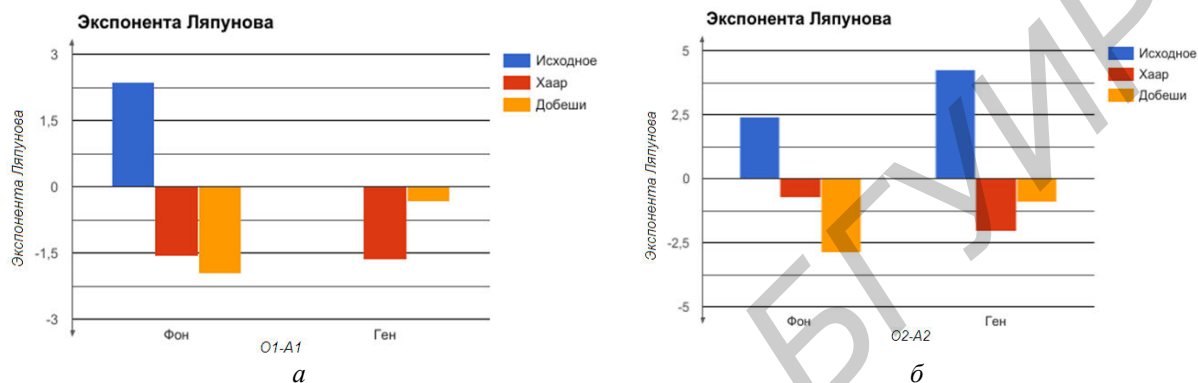


Рис. 2. Гистограммы распределений экспоненты Ляпунова λ электроэнцефалограмм для отведений O1-A1 (а) и O2-A2 (б) в фоне (без преобразования, с предварительным вейвлет-преобразованием при использовании базисных функций Хаара и Добеши четвертого порядка); при воздействии электромагнитного шумового излучения

Для отведения O2-A2 значение экспоненты Ляпунова λ электроэнцефалограммы, не подверженной предварительно вейвлет-преобразованию, также как и для отведения O1-A1, оказалось положительным, а для электроэнцефалограмм с применением вейвлет преобразований – отрицательным. Значение модуля экспоненты Ляпунова λ фоновой электроэнцефалограммы с применением базисной функции Хаара при вейвлет-преобразовании составило 30,3 % от модуля первой экспоненты Ляпунова λ сигнала, не преобразованного вейвлетом. При воздействии электромагнитного шумового излучения значение модуля экспоненты Ляпунова λ сигнала, преобразованного вейвлетом Хаара, составило 48,2 % от модуля значения исходного, не преобразованного вейвлетом сигнала при наличии генератора шума. Для сигнала, подверженного предварительному преобразованию с применением базисной функции Добеши, такие же показатели равнялись 118,8 и 21,7 %, соответственно. Значение экспоненты Ляпунова λ сигнала, не преобразованного вейвлетами, при наличии генератора шума составило 175,7 % от фонового значения. При преобразовании вейвлетом Хаара модуль значения экспоненты Ляпунова λ при наличии генератора шума и после вейвлет-преобразования оказался в 2,8 раза больше значения модуля фона после вейвлет-преобразования. При вейвлет-преобразовании анализируемой электроэнцефалограммы с базисной функцией Добеши значение модуля экспоненты Ляпунова λ при наличии генератора шума составило 32,1 % от модуля экспоненты в фоне после вейвлет-преобразования. Значение первой экспоненты Ляпунова λ электроэнцефалограммы отведения O2-A2 для фона без преобразований равнялось 2,43 бит/с. Для электроэнцефалограммы без преобразований при наличии электромагнитного шумового излучения значение первой экспоненты Ляпунова λ составило 4,27 бит/с. Для электроэнцефалограммы, преобразованной с помощью базисной функции Хаара в фоновом режиме, значение первой экспоненты Ляпунова λ составило $-0,74$ бит/с. Для электроэнцефалограммы, преобразованной с помощью функции Хаара при наличии генератора шума, значение первой экспоненты Ляпунова λ равнялось $-2,05$ бит/с. Для электроэнцефалограммы, преобразованной вейвлетом Добеши в фоновом режиме, значение первой экспоненты Ляпунова λ было $-2,88$ бит/с.

Для электроэнцефалограммы, преобразованной с применением вейвлета Добеши при воздействии электромагнитного шумового излучения, значение первой экспоненты Ляпунова λ составило $-0,93$ бит/с.

Заключение

Проведен комплекс экспериментальных исследований электроэнцефалограмм отведений О1-А1 и О2-А2, Т3-А1 и Т4-А2 и приведены полученные результаты при действии на оператора электромагнитного шумового излучения. При этом для предварительной обработки анализируемых сигналов и снижения влияния шума предложено и проведено вейвлет-преобразование этих сигналов с применением базисных функций Хаара и Добеши четвертого порядка. Выявлены структурные особенности электроэнцефалограмм. Обработка и анализ экспериментальных электроэнцефалограмм проводились с использованием методов Хигучи и Вольфа, что позволило ввести количественные показатели в виде: фрактальной размерности D и первой экспоненты Ляпунова λ .

Установлено, что предварительная обработка анализируемых электроэнцефалограмм приводит к возрастанию показателя – фрактальная размерность D на $9,6$ – $10,0$ %. Это можно объяснить более точным выделением детерминированной компоненты из анализируемого сигнала. Отмечается увеличение фрактальной размерности D на $1,6$ и $7,3$ % при воздействии на оператора шума и проведении предварительной обработки электроэнцефалограмм с использованием соответственно базисных функций Хаара и Добеши по отношению к условиям действия шума без предварительной обработки.

Получено, что для левого полушария головного мозга оператора (электроэнцефалограммы отведений О1-А1 и Т3-А1) фрактальная размерность сигнала D вследствие его вейвлет-преобразования при использовании в качестве базисной как функции Хаара, так и Добеши. D без предварительной обработки увеличивается на $7,3$ и $8,0$ % при воздействии на организм электромагнитного шумового излучения (без предварительной обработки), а для правого полушария – снижается соответственно на $0,3$ и $2,8$ %.

Выявлено, что рассчитанные значения первой экспоненты Ляпунова λ электроэнцефалограмм оператора без предварительной обработки являются положительными (кроме случая, когда используемый метод вообще не позволил получить численное значение экспоненты Ляпунова для отведения электроэнцефалограммы О1-А1 при наличии генератора шума), а при использовании предварительной обработки с вейвлет-преобразованием этот же показатель изменяет знак и становится отрицательным. Это объясняется тем, что при использовании вейвлет-преобразования аттрактор в пространстве состояний является притягивающим, фазовая траектория системы становится устойчивой, что свидетельствует о стабильности функционирования головного мозга [10]. Характер изменения модуля первой экспоненты Ляпунова при действии электромагнитного шума неоднозначен.

Полученные результаты носят предварительный характер и представляют интерес для обеспечения работы оператора в условиях электромагнитного шумового излучения при реализации технических средств защиты информации.

Список литературы

1. Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В. Экспериментальная оценка реакций ЦНС на воздействие импульсных ЭМИ низкой интенсивности // Радиация и риск (Бюллетень Российского Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2010. № 3, т. 19. С. 104–119.
2. Сидоренко А.В., Овсянкина Г.И., Солодуха Н.А. Оценка влияния радиопоглощающих полиуретановых композитов на электроэнцефалограмму человека при действии излучений мобильной связи // Материалы 14-й Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2014 года: Экологические проблемы XXI века». Минск, 29–30 мая 2014 г. / МГЭУ им. А.Д. Сахарова. С. 120–121.
3. Сидоренко А.В., Жалковский М.В. Мобильный генератор электромагнитного шума // Электроника инфо. 2014. № 7. С. 35–38.

4. Сидоренко А.В., Леончик Ю.Л. Показатели нелинейного анализа с подавлением шумов биоэлектрической активности мозга при действии нифедипина и электромагнитного излучения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 1. С. 37–44.
5. Дьяконов В.П. Вуйвлеты. От теории к практике. М.: Солон-Пресс, 2004. 398 с.
6. Higuchi T. Approach to an irregular time series on the base of the fractal theory // Physica D.: Nonlinear Phenomena. 1998. Vol. 31. P. 277–283.
7. Wolf A. Determining Lyapunov exponents from a time series // Physica D 16. 1985. P. 285–317.
8. Sundarapandiana V., Pehlivan I. Analysis, control, synchronization and circuit design of a novel chaotic system // Mathematical and Computer Modeling. 2012. Vol. 55. P. 1904–1915.
9. Сидоренко А.В. Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов. Минск.: БГУ, 2003. 187 С.
10. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2006. 355 С.

References

1. Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V. Jeksperimental'naja ocenka reakcij CNS na vozdejstvie impul'snyh JeMI nizkoj intensivnosti // Radiacija i risk (Bjulleten' Rossijskogo Nacional'nogo radiacionno-jepidemiologicheskogo registra). 2010. № 3, t. 19. S. 104–119. (in Russ.)
2. Sidorenko A.V., Ovsjankina G.I., Soloduhu N.A. Ocenka vlijanija radiopogloshhajushih poliuretanovyh kompozitov na jelektrojencefalogrammu cheloveka pri dejstvii izluchenij mobil'noj svjazi // Materialy 14-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Saharovskie chtenija 2014 goda: Jekologicheskie problemy XXI veka». Minsk, 29–30 maja 2014 g. / MGJeU im. A.D. Saharova. S. 120–121. (in Russ.)
3. Sidorenko A.V., Zhalkovskij M.V. Mobil'nyj generator jelektromagnitnogo shuma // Jelektronika info. 2014. № 7. S. 35–38. (in Russ.)
4. Sidorenko A.V., Leonchik Ju.L. Pokazateli nelinejnogo analiza s podavleniem шумов biojelektricheskoy aktivnosti mozga pri dejstvii nifedipina i jelektromagnitnogo izlucheniya // Biomedicinskaja radiojelektronika. 2010. № 1. S. 37–44. (in Russ.)
5. D'jakonov V.P. Vujvlety. Ot teorii k praktike. M.: Solon-Press, 2004. 398 s. (in Russ.)
6. Higuchi T. Approach to an irregular time series on the base of the fractal theory // Physica D.: Nonlinear Phenomena. 1998. Vol. 31. P. 277–283.
7. Wolf A. Determining Lyapunov exponents from a time series // Physica D 16. 1985. P. 285–317.
8. Sundarapandiana V., Pehlivan I. Analysis, control, synchronization and circuit design of a novel chaotic system // Mathematical and Computer Modeling. 2012. Vol. 55. P. 1904–1915.
9. Sidorenko A.V. Metody informacionnogo analiza biojelektricheskikh signalov. Minsk.: BGU, 2003. 187 S. (in Russ.)
10. Kuznecov S.P. Dinamicheskij haos. M.: Fizmatlit, 2006. 355 S. (in Russ.)

Сведения об авторах

Сидоренко А.В., д.т.н., профессор, профессор факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета.

Солодухо Н.А., аспирант факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета.

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
Минск, пр. Независимости, д. 4
Белорусский государственный университет
тел. +375-29-339-14-30;
e-mail: sidorenkoa@yandex.ru
Сидоренко Алевтина Васильевна

Information about the authors

Sidorenko A.V., D. Sci., professor, professor of radiophysics and computer technologies department of Belarusian state university.

Soloduhu N.A., PG student of radiophysics and computer technologies department of Belarusian state university.

Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,
Minsk, Nezavisivosti ave., 4
Belarusian state university
tel. +375-29-339-14-30;
e-mail: sidorenkoa@yandex.ru
Сидоренко Алевтина Васильевна