

УДК 004.056: 061.068

## НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ ШУМА И НАЛИЧИИ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ЭКРАНОВ

А.В. СИДОРЕНКО, М.В. ЖАЛКОВСКИЙ

*Белорусский государственный университет  
Независимости, 4, 220050, Минск, Беларусь*

*Поступила в редакцию 2 июля 2013*

Проведены изучение и анализ зарегистрированных в клинических условиях электроэнцефалограмм здоровых лиц при действии электромагнитных излучений генераторов шума и размещении экранов из радиопоглощающих материалов методом нелинейной динамики. Электроэнцефалограммы обрабатывались и анализировались с помощью разработанной информационной измерительной системы. Результаты исследований показывают наличие различных структурных изменений в анализируемых сигналах при действии излучений генератора шума, а также излучений генератора шума и размещении радиопоглощающих экранов между генератором шума и широкополосной антенной. Применение нелинейного анализа биоэлектрического сигнала, электроэнцефалограммы, с позиций методологии детерминированного хаоса позволило реализовать построение фазовых портретов и использовать параметры: корреляционную размерность и энтропию Колмогорова для определения воздействия радиопоглощающих материалов.

*Ключевые слова:* электроэнцефалограмма, генератор шума, экран, радиопоглощающие материалы, нелинейный анализ.

### Введение

Широкое распространение информационных технологий вызывает необходимость в решении различных задач защиты информации. Большинство современных предприятий независимо от вида деятельности и форм собственности использует для защиты своей информации технические средства контроля безопасности информации при ее обработке, хранении и передаче. Выбор метода и технических средств защиты телекоммуникационной информации зависит от канала ее передачи. К техническим средствам защиты информации, обрабатываемой объектами вычислительной техники в телекоммуникационных сетях, относятся генераторы шума [1]. Они препятствуют перехвату информации по электромагнитным излучениям и наводкам в линиях электропитания и заземления.

В научной литературе имеются противоречивые данные влияние электромагнитных излучений, в частности излучений мобильной связи, на организм человека. Оценка же воздействия электромагнитных излучений генераторов шума на организм человека или отдельные его системы в доступной литературе практически отсутствует.

Целью работы является исследование влияния излучений генераторов шума при внесении защитных экранов на основе радиопоглощающих материалов (с металлическими вкраплениями и шламов очистки ваграночных газов) на функционирование центральной нервной системы, отображаемой в электроэнцефалограммах человека при использовании нелинейного метода анализа – метода задержанной координаты.

## Метод задержанной координаты

Построение фазовых диаграмм дает возможность визуально определять степень заполнения фазового пространства. При использовании метода задержанной координаты определяются параметры: корреляционная размерность и энтропия Колмогорова. Корреляционная размерность позволяет определить область локализации динамической системы в фазовом пространстве или число степеней свободы указанной системы. Энтропия Колмогорова характеризует устойчивость работы системы, измеряемую скоростью расходимости ее траекторий в фазовом пространстве. Согласно алгоритму метода задержанной координаты [2], выходная последовательность алгоритма шифрования представляется в виде

$$x_1, x_2, \dots, x_N, \quad (1)$$

где  $x_n = x(np)$ ,  $p$  – шаг дискретизации,  $n$  – целое число.

Эта последовательность порождает  $m$ -мерные векторы, лежащие в  $m$ -мерном фазовом пространстве

$$\vec{x}_i^T = (x_i, \dots, x_{i+m-1}), \quad (2)$$

где  $T$  – знак транспонирования.

Состояние системы в реконструированном  $m$ -размерном фазовом пространстве определяется  $m$  – размерными точками для каждой реализации  $x(p)$ .

$$x_i^m = \left(m^{-1/2}\right)(x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1}). \quad (3)$$

Корреляционный интеграл  $C_m(l)$  – это функция, равная вероятности того, что расстояние между двумя реконструированными векторами  $\vec{x}_i$  меньше  $l$ .

Корреляционная размерность  $d$  определяется, как

$$d = \lim_{r \rightarrow 0} [\lg C_m(r) / \lg r], \quad (4)$$

где  $C_m(r)$  – корреляционный интеграл,  $r$  – размер ячейки разбиения или коэффициент подобия

Корреляционный интеграл записывается

$$C_m(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N \theta(r - |\vec{x}_i - \vec{x}_j|), \quad (5)$$

где  $\theta = 0$ , при  $t \leq 0$ ,  $\theta = 0,5$  при  $t = 0$ ,  $\theta = 1$  при  $t \geq 0$ ,  $\theta$  – функция Хевисайда,  $N$  – число точек, используемых для оценки размерности.

Найдено, что для малых  $r$  поведение функции  $C_m(r)$  может быть описано

$$C_m(r) = r^d, \quad (6)$$

где  $d$  – параметр, близкий к фрактальной размерности странного аттрактора,  $r$  – параметр подобия.

Для достоверной оценки корреляционной размерности  $d$  размерность соответствующих фазовых пространств должна удовлетворять условию Мане

$$m \geq 2d + 1. \quad (7)$$

Для снижения объема вычислений используется алгоритм И. Арансона, описанный в работе [2], и позволяющий оперировать с целыми числами и существенно снизить временные затраты. Энтропия Колмогорова определяется выражением

$$K = \lim_{r \rightarrow 0} \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{1}{\tau} \lg [C_m(r) / C_{m+1}(r)]. \quad (8)$$

## Методика исследований

В качестве методологии исследований в данной работе применен нелинейный метод, в основу которого положено представление биоэлектрических сигналов как детерминированного хаоса [2]. Метод задержанной координаты позволяет по временному ряду зарегистрированных потенциалов определить динамическую систему, характеризуемую нелинейными параметрами. В качестве таких параметров используются корреляционная размерность и энтропия Колмогорова. Визуальный анализ производился построением фазовых портретов электроэнцефалограмм.

В процессе выполнения работы были обработаны электроэнцефалограммы 20 волонтеров в шестнадцати отведениях, включая:  $Fp_1 - A_1$ ,  $Fp_2 - A_2$ ,  $C_3 - A_1$ ,  $C_4 - A_2$ ,  $O_1 - A_1$ ,  $O_2 - A_2$ ,  $T_3 - A_1$ ,  $T_4 - A_2$ , зарегистрированных по схеме «10-20» электроэнцефалографом «Нейрокартограф» фирмы МБН. Достоверность определения параметров определяли методом дискриминационной статистики. В работе также приведены определенные нами результаты расчета спектральной плотности мощности альфа-, бета- и тета - ритмов исследованных электроэнцефалограмм. Электроэнцефалограммы обрабатывались в четырех режимах: фон (режим 1); генератор шума (режим 2); генератор шума, экран 5 (режим 3); генератор шума, экран 6 (режим 4).

В качестве защитных экранов из радиопоглощающих материалов использованы: экран 5 (с металлическими вкраплениями) и экран 6 (материал на основе шлама очистки ваграночных газов, закрепленного в связующем веществе – цементе) [3]. Коэффициент передачи  $S_{21}$  использованных экранов 5 и 6 составлял  $-25$  дБ (диапазон от 0,5 до 18 ГГц). Коэффициент отражения  $S_{11}$  при этом имел, в среднем, значение от 0,2 до 2 дБ для экрана 5 и  $-10$  дБ для экрана 6 в диапазоне частот от 0,5 до 18 ГГц.

## Результаты и их обсуждение

В процессе исследований установлено, что интерес представляют электроэнцефалограммы отведений  $Fp_1 - A_1$ ,  $Fp_2 - A_2$ ;  $T_3 - A_1$ ,  $T_4 - A_2$ . Фазовые портреты электроэнцефалограмм отведений  $T_4 - A_2$  приведены на рис. 1.

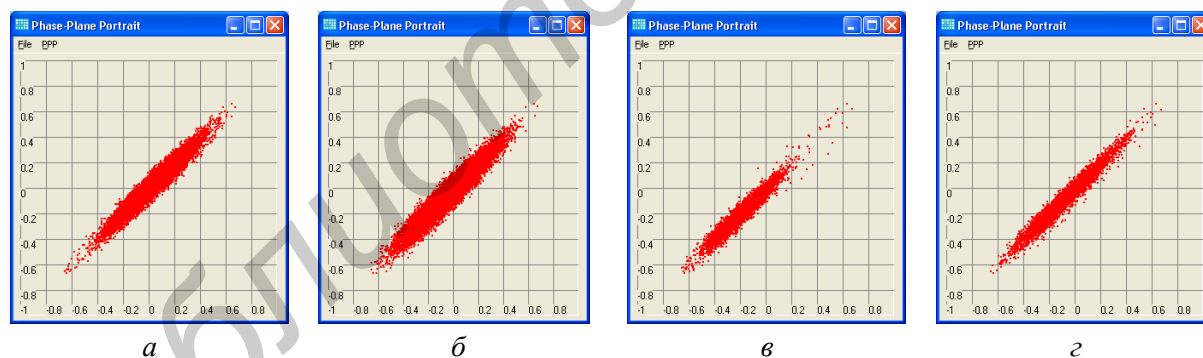


Рис. 1. Фазовые портреты электроэнцефалограмм отведений  $T_4 - A_2$  в состояниях: *а* – фон (режим 1); *б* – генератор шума (режим 2); *в* – генератор шума, экран 5 (режим 3); *г* – генератор шума, экран 6 (режим 4)

При анализе фазовых диаграмм электроэнцефалограмм отведений, например,  $T_4 - A_2$ , видно, что действие генератора шума, а также совместного действия генератора шума и экрана 5, генератора шума и экрана 6 приводит к изменению области локализации фазового портрета и для электроэнцефалограммы в отведении  $T_4 - A_2$  по отношению к фону. Совместное действие излучений генератора шума и экранов приводит к восстановлению фазового портрета динамической системы, причем более близким по отношению к фону наблюдается фазовый портрет электроэнцефалограммы при внесении генератора шума и экрана 6 для отведения  $T_4 - A_2$ . Полученные качественные результаты находят свое отражение и в количественных параметрах: корреляционной размерности и энтропии Колмогорова, а также спектральной плотности мощности альфа-, бета- и тета-ритмов. На рис. 2 приведены гистограммы распределений параметров, полученных методом задержанной координаты для электроэнцефалограмм отведения  $T_4 - A_2$ .

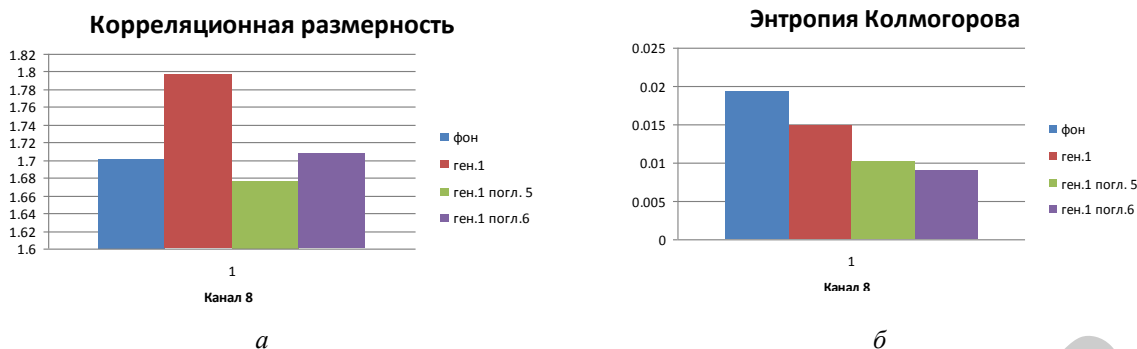


Рис. 2. Гистограммы распределений корреляционной размерности  $d$  (а), энтропии Колмогорова  $E$  (б) электроэнцефалограмм отведений  $T_4 - A_2$  в состояниях, определяемых: режим 1, режим 2, режим 3, режим 4

Из анализа гистограмм распределения параметров электроэнцефалограмм видно, что введение излучений генератора шума 1 приводит к увеличению корреляционной размерности на 5,6 % по отношению к фону. Совместное же действие излучения генератора и экрана 5, генератора и экрана 6 снижает, соответственно, значения корреляционной размерности на 1,5 % и увеличивает на 0,4 %. Что же касается энтропии Колмогорова  $E$ , то ее значение уменьшается при действии излучения генератора 1 на 22,7 % по отношению к фону. При совместном же действии излучения генератора 1 и экрана 5, генератора 1 и экрана 6 снижение энтропии Колмогорова  $E$  достигает 47,7 % и 53,3 %, соответственно, относительно фона.

Гистограммы распределений спектральной плотности мощности альфа-ритма, бета-ритма электроэнцефалограмм отведений  $T_4 - A_2$  приведены на рис. 3.

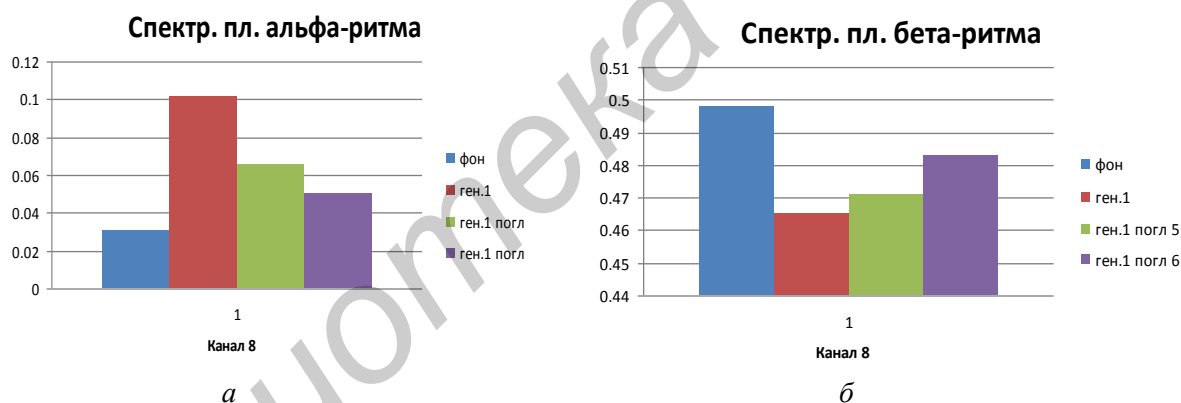


Рис. 3. Гистограммы распределений спектральной плотности мощности альфа-ритма (а), бета-ритма (б) электроэнцефалограмм отведений  $T_4 - A_2$  в состояниях, определяемых как режим 1, режим 2, режим 3, режим 4

Спектральная плотность мощности альфа-ритма возрастает при действии электромагнитных излучений генератора шума в 3,3 раза по отношению к фону (рис. 3, а). Размещение экрана 5 дополнительно с действием излучений увеличивает спектральную плотность мощности шума в 2,1 раза, а экрана 6 совместно с действием излучений, соответственно, в 1,6 раз относительно фона.

Следует отметить, что использование генератора шума снижает спектральную плотность мощности бета-ритмов на 6,6 % по отношению к фону. Дополнительное внесение экрана 5 или экрана 6 изменяет влияние генератора шума на работу мозга. Снижение уровня спектральной плотности мощности бета ритма происходит уже на 5,4 % и 3,1 %, соответственно. Отмечаются вариации спектральной плотности мощности тета-ритма (рис. 4).

Действие электромагнитных излучений генератора шума приводит к снижению спектральной плотности мощности по отношению к фону на 2,4 %. При размещении экранов 5 и 6 происходит увеличение мощности тета-ритма соответственно на 5,2 % и 2,4 %. То есть в этом случае можно говорить о смещении процессов в сторону торможения при внесении как экрана 5, так и экрана 6.

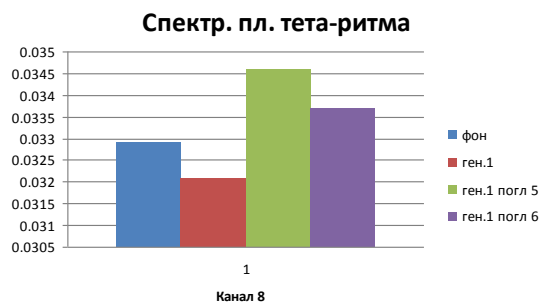


Рис. 4. Гистограммы распределений спектральной плотности мощности тета-ритма электроэнцефалограмм отведений  $T_4 - A_2$  в состояниях, определяемых как режим 1, режим 2, режим 3, режим 4

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что при действии электромагнитных излучений генератора шума происходит перестройка ритмических процессов в сторону активизации процессов в мозге при снижении интенсивности бета- и тета-ритмов. Использование экранов из радиопоглощающих материалов компенсирует в определенной степени влияние электромагнитных излучений, снижая уровень возбуждения. Сравнительный анализ, проведенный по нелинейным параметрам корреляционной размерности, энтропии Колмогорова, а также спектральной плотности альфа-, бета- и тета-ритмов электроэнцефалограмм свидетельствует об активизации процессов в мозге при действии электромагнитных излучений генератора шума. Внесение же радиопоглощающих экранов позволяет отдать предпочтение экрану 6, который совместно с излучением генератора шума позволяет в большей степени снизить вариации параметров корреляционной размерности, энтропии Колмогорова, спектральной плотности мощности ритмов по сравнению с экраном 5.

## THE NONLINEAR ANALYSIS OF ELECTROENCEPHALOGRAMS INFLUENCED BY NOISE OSCILLATOR ELECTROMAGNETIC WAVES AND RADIATION ABSORBING SHIELDS

A.V. SIDORENKO, M.V. ZHALKOVSKIYI

### Abstract

It is proposed to study the clinical electroencephalograms, recorded for healthy volunteers and subjected to the effect of noise oscillator radiation, influenced by protection screens based on radiation absorbing materials, with the use of nonlinear dynamics methods. The clinical electroencephalograms were processed and analyzed using the specially developed information-measuring system. The performed analysis of electroencephalograms shows that the structural changes in signals are different for radiation of operated noise oscillator also with the use of protection screens between the noise oscillator and wide-band antenna. The employment of nonlinear methods considering bioelectric signals of the brain as deterministic chaos enables one to realize the construction of phase portraits and to introduce such informative parameters as the correlation dimension and Kolmogorov entropy, making it possible to determined the influence of screens protecting against the electromagnetic radiation.

### Список литературы

1. Генераторы шума. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.crsc.nist>. – Дата доступа: 26.09.2012.
2. Сидоренко А.В. Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов. Минск, 2003.
3. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М. Антропогенные источники электромагнитного излучения. Безопасность жизнедеятельности человека. Минск, 2008.