



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-4-53-61>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 577.3.043

ОЦЕНКА ДЕПРЕССИВНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА МОБИЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

СИДОРЕНКО А.В., СОЛОДУХО Н.А.

Белорусский государственный университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 12 марта 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Цель работы, результаты которой приведены в рамках статьи, заключалась в исследовании закономерностей изменений нелинейных параметров электроэнцефалограмм (ЭЭГ), представленных фрактальной размерностью, экспонентой самоподобия при облучении оператора электромагнитным шумовым излучением. Вместе с вышеуказанными нелинейными параметрами исследовалось изменение спектральной плотности мощности ритмических составляющих ЭЭГ: дельта-, тета-, альфа-, бета-ритмов. Изучение фрактальной размерности, экспоненты самоподобия и спектральной плотности мощности ЭЭГ при облучении было связано с возможным изменением данных параметров при депрессии и малой депрессии оператора. В качестве облучателя использовался генератор электромагнитного шумового излучения на транзисторах мощностью 30 мВт в диапазоне частот 5 ГГц. В работе приведено описание методов для расчета нелинейных параметров ЭЭГ, представленных фрактальной размерностью и экспонентой самоподобия. Для определения параметров ЭЭГ: фрактальной размерности, экспоненты самоподобия, спектральной плотности мощности ритмических составляющих при достижении поставленной цели было разработано программное обеспечение на языке Java. Проведено изучение научной литературы, связанной с изменением фрактальной размерности, экспоненты самоподобия, спектральной плотности мощности дельта-, тета-, альфа-, бета-ритмов при депрессии и малой депрессии человека. Регистрация электроэнцефалограмм осуществлялась по схеме «10/20» с использованием электроэнцефалографа «Нейрокартограф» фирмы МБН. Анализируемые отведения ЭЭГ: Fp1, Fp2, T3, T4, P3, P4, O1, O2, F3, F4, C3, C4. Результаты работы показали отсутствие четкого депрессивного состояния у оператора при воздействии электромагнитным шумовым излучением, если руководствоваться изменением экспоненты самоподобия, фрактальной размерности и спектральной плотности мощности. Однако при облучении оператора электромагнитным шумовым излучением наблюдалась тенденция изменения параметров, характерная для малой депрессии.

Ключевые слова: излучение, шум, электроэнцефалограмма, депрессия, человек.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Сидоренко А.В., Солодухо Н.А. Оценка депрессивного состояния оператора мобильных технических систем под воздействием электромагнитного шумового излучения. Доклады БГУИР. 2020; 18(4): 53-61.

EVALUATION OF THE DEPRESSIVE STATE OF MOBILE TECHNICAL SYSTEMS OPERATOR SUBJECTED TO ELECTROMAGNETIC NOISE RADIATION

ALEVTINA V. SIDORENKO, NIKITA A. SALADUKHA

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 12 March 2020

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. This paper presents the results of the work aimed at a study of the patterns of changes in the nonlinear electroencephalogram (EEG) parameters, including fractal dimension and self-similarity exponent, when the operator is irradiated with electromagnetic noise radiation. Together with the above-mentioned nonlinear parameters, a change in the spectral power density of the rhythmic components in EEG (delta-, theta-, alpha-, and beta-rhythms) has been studied. Investigation of the fractal dimension, self-similarity exponent, and spectral power density during irradiation was associated with possible changes of the parameters in the case of operator's depression or minor depression. The radiation source was represented by a transistor electromagnetic-noise generator with the power of 30 mW operating over the frequency range of 5 GHz. The methods for calculation of the nonlinear parameters including fractal dimension and self-similarity exponent have been described. To realize the principal objectives of the work, the Java-based software was developed. The relevant literature demonstrating the changes in fractal dimension, self-similarity exponent, spectral power density of the delta-, theta-, alpha-, beta-rhythms in the case of depression and minor depression has been reviewed. Electroencephalograms were registered according to the "10/20" scheme using the MBN Neurocartograph electroencephalograph. The analyzed leads were Fp1, Fp2, T3, T4, P3, P4, O1, O2, F3, F4, C3, C4. As shown by the results of this work, there is no distinct depressive state of the operator exposed to electromagnetic noise radiation, judging by changes in the self-similarity exponent, fractal dimension, and spectral power density. However, when the operator was irradiated with electromagnetic noise radiation, the observed tendency in variation of the parameters was characteristic for minor depression.

Keywords: radiation, noise, electroencephalogram, depression, human.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Sidorenko A.V., Saladukha M.A. Evaluation of the depressive state of mobile technical systems operator subjected to electromagnetic noise radiation. Doklady BGUIR. 2020; 18(4): 53-61.

Введение

Воздействие электромагнитного излучения на организм человека может привести к различным эффектам, включая позитивные, нейтральные, негативные. Среди позитивных эффектов присутствуют: стимуляция регенерации и восстановления тканей; ускорение формирования костной ткани и хряща; снижение бактериальной активности и уменьшение количества патогенов в ране; обогащение крови кислородом; снижение симптомов рассеянного склероза; увеличение антиоксидантной защиты; увеличение внимания; улучшение когнитивной активности; снижение времени реакции.

Среди нейтральных эффектов выделяются: ускорение глюкозного метаболизма; изменение вязкости крови; дифференциация мезенхимальных стволовых клеток кости человека; изменение активности антиоксидантных энзимов; изменение уровня мелатонина в плазме крови; изменение спектральной асимметрии ЭЭГ сигнала; сокращение времени засыпания и увеличение второй фазы сна; увеличение проницаемости гемато-энцефалического барьера; увеличение количества дельта- и тета-частотных импульсов в передних и центральных отведениях ЭЭГ.

Среди негативных эффектов влияния электромагнитного излучения фигурирует онкогенез, производство свободных радикалов в облучаемых тканях, увеличение проводимости мембраны, что, в свою очередь, приводит к сокращению времени выживания клетки [1].

Среди видов онкологии, которые могут быть вызваны облучением электромагнитным излучением, присутствуют миелоидная лейкемия, опухоли головного мозга, лимфома. Облучение также может вызывать или способствовать развитию болезни Паркинсона, мигрени [2].

При функционировании мобильных технических систем для защиты обрабатываемой информации от несанкционированного доступа оператор, осуществляющий обработку, формирование и передачу информации, оказывается под воздействием электромагнитного шумового излучения. Исследование воздействия электромагнитного шумового излучения на центральную нервную систему проводилось в работах [3–5]. Показано, что под действием генератора электромагнитного шума наблюдается активизация процессов в мозге [5], увеличивается когнитивная нагрузка, присутствует скрытая тревога [3]. Однако подробное описание влияния этого излучения на наличие депрессивного состояния оператора ранее не проводилось.

Целью работы является определение, испытывает ли оператор депрессивное состояние под воздействием генератора электромагнитного шума с использованием в качестве анализируемых линейных и нелинейных количественных параметров электроэнцефалограммы: спектральной плотности мощности, фрактальной размерности и экспоненты самоподобия.

В процессе исследований была измерена спектральная плотность мощности дельта-, тета-, альфа-, бета-ритмов в передней (отведения Fp1, Fp2, F3, F4), височной (отведения T3, T4), теменной (отведения P3, P4), центральной (отведения C3, C4) и затылочной (отведения O1, O2) областях головы. При оценке спектральной плотности мощности в какой-либо области головного мозга использовалось усреднение спектральных плотностей мощности электроэнцефалограмм отведений, связанных с этой областью головы. Фрактальная размерность измерялась в электроэнцефалограммах отведений Fp1, Fp2, T3, T4, P3, P4, O1, O2. Экспонента самоподобия измерялась в электроэнцефалограммах отведений F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2, P3, P4.

Методы анализа электроэнцефалограмм

Электроэнцефалограмму можно рассматривать как некоторый временной ряд записи потенциалов мозга. 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_i^m , определяемые следующим образом:

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

где $\lfloor \cdot \rfloor$ означает целую часть числа, k и m – целые числа, причем m означает начальное время, а k – временной интервал между соседними значениями ряда. Для времени интервала, равного k , получается k наборов новых временных рядов. В случае $k=3$ и $N=100$ три временных ряда, полученных таким образом, описываются:

$$\begin{aligned} x_3^1; & x(1), x(4), x(7), \dots, x(97), x(100), \\ x_3^2; & x(2), x(5), x(8), \dots, x(98), \\ x_3^3; & x(3), x(6), x(9), \dots, x(99). \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$L_m(k) = \left\{ \sum_{i=1}^{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor} |X(m+ik) - X(m+(i-1) \cdot k)| \right\} \frac{N-1}{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor \cdot k} \quad (3)$$

Дробь $\frac{N-1}{\left[\frac{N-m}{k}\right]} \cdot k$ представляет собой нормировочный коэффициент для длины кривой поднабора

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

3. 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 .

4. 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 [6, 7].

Метод флуктуационного анализа с исключенным трендом (DFA). Экспонента самоподобия h некоторого временного ряда $v(i)$, где i изменяется от 1 до N , вычисляется с использованием метода флуктуационного анализа с исключенным трендом следующим образом. Алгоритм вычисления сводится к следующему. Определяется квадрат каждого значения временного ряда:

$$x(i) = v^2(i), \quad 1 \leq i \leq N. \quad (4)$$

Далее от каждого элемента временного ряда $x(i)$ вычитается среднее значение всего временного ряда X и производится суммирование:

$$y(k) = \sum_{i=1}^k (x(i) - \langle x \rangle), \quad 1 \leq k \leq N, \quad (5)$$

где $\langle x \rangle$ – среднее значение временного ряда X в диапазоне $[1, N]$. Затем ряд Y разбивается на сегменты длиной n (n – временной масштаб наблюдения). Для каждого из этих сегментов с помощью метода наименьших квадратов определяется локальный тренд y_n . Определяется среднеквадратичное отклонение между $y(k)$ и $y_n(k)$ в диапазоне $[1, N]$:

$$F(n) = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(k) - y_n(k))^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

В дальнейшем вычисление $F(n)$ проводится для различных значений масштаба n (чаще всего вычисления проводят для диапазона $n \in [4; N/4]$). Финальным шагом является построение зависимости значения преобразования $F(n)$ от n в логарифмическом масштабе. Тангенс угла наклона данной зависимости $\log(F(n)) / \log(n)$ и дает значение экспоненты самоподобия, так как выполняется соотношение $F(n) \approx n^h$ [8].

Методика проведения исследований

Регистрация электроэнцефалограмм осуществлялась по схеме «10/20» с использованием электроэнцефалографа «Нейрокартограф» фирмы МБН. Обработка и анализ электроэнцефалограмм проводились в разработанной авторами информационно-измерительной системе, адаптированной для работы с электроэнцефалограммами [9]. Объектом исследований являлись электроэнцефалограммы следующих отведений: Fp1, Fp2, T3, T4, P3, P4, O1, O2, F3, F4, C3, C4. Анализ электроэнцефалограмм проводился в следующих областях головы: передняя (отведения Fp1, Fp2, F3, F4), височная (отведения T3, T4), теменная (отведения P3, P4), центральная (отведения C3, C4) и затылочная (отведения O1, O2). Электроэнцефалограммы обрабатывались в следующих режимах: фон, наличие генератора электромагнитного шумового излучения. В фоне использовались электроэнцефалограммы здорового человека. Спектральная плотность мощности ритмов головного мозга рассчитывалась с помощью быстрого преобразования Фурье. Анализируемые диапазоны включали: альфа-ритм (8–12 Гц), бета-ритм (12–20 Гц), тета-ритм (4–8 Гц), дельта-ритм (0–4 Гц). При оценке спектральной плотности мощности в какой-либо области головы использовалось усреднение спектральных плотностей мощности электроэнцефалограмм отведений, связанных с этой областью головы. Фрактальная размерность измерялась методом Хигучи, а экспонента самоподобия – методом флуктуационного анализа с исключенным трендом [10].

Результаты и их обсуждение

Исследованы вариации спектральной плотности мощности в различных областях головы. Значения спектральной плотности мощности в передней области головы были получены усреднением значений спектральной плотности мощности ритмов электроэнцефалограмм в отведениях Fp1, Fp2, F3, F4, в височной области головы – усреднением значений спектральной плотности мощности ритмов электроэнцефалограмм в отведениях T3 и T4, в теменной области головы – усреднением значений спектральной плотности мощности ритмов электроэнцефалограмм в отведениях P3 и P4, в центральной области головы – усреднением значений спектральной плотности мощности ритмов электроэнцефалограмм в отведениях C3 и C4, в затылочной области головы – усреднением значений спектральной плотности мощности ритмов электроэнцефалограмм в отведениях O1 и O2.

В передней области головы при анализе электроэнцефалограмм спектральная плотность мощности альфа-ритма при наличии генератора шума оказалась на 90,8 % выше фона, бета-ритма – в 2,5 раза больше фонового значения, тета-ритма – на 54,6 % больше фона, спектральная плотность мощности дельта-ритма электроэнцефалограмм оказалась на 29,4 % меньше фона (рис. 1, *a*).

В центральной области головы спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм при наличии генератора шума оказалась на 74,3 % выше фона; бета-ритма – в 2,2 раза больше фонового значения; тета-ритма – на 26,6 % больше фона, спектральная плотность мощности дельта-ритма оказалась на 39,1 % меньше фона (рис. 1, *b*).

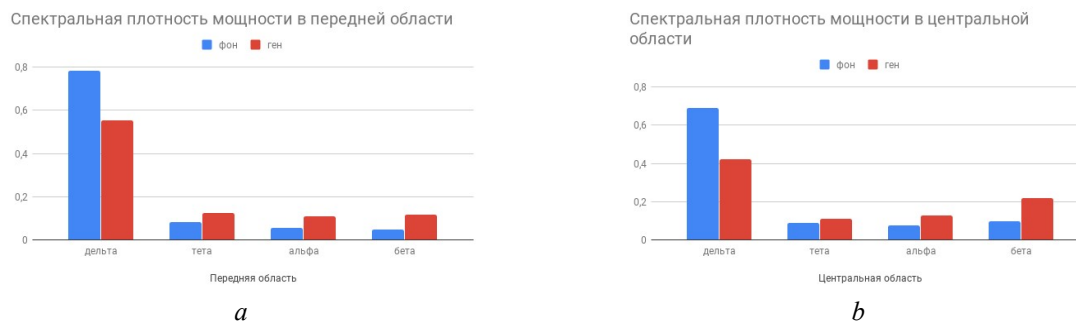


Рис. 1. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности в разных областях головы при наличии излучения генератора шума: *a* – передняя область; *b* – центральная область
Fig. 1. Power spectral density distributions histograms in different brain regions with noise generator radiation: *a* – frontal; *b* – central

В височной области головы спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм при наличии генератора шума оказалась в 2,6 раза выше фона, бета-ритма – в 2,7 раза больше фонового значения, тета-ритма – на 36,1 % больше фона.

В затылочной области головы спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм при наличии генератора шума оказалась на 40,9 % выше фона, бета-ритма – на 2,2 % больше фонового значения, тета-ритма – на 31,1 % больше фона; спектральная плотность мощности дельта-ритма оказалась на 14,8 % меньше фона (рис. 2, *b*).

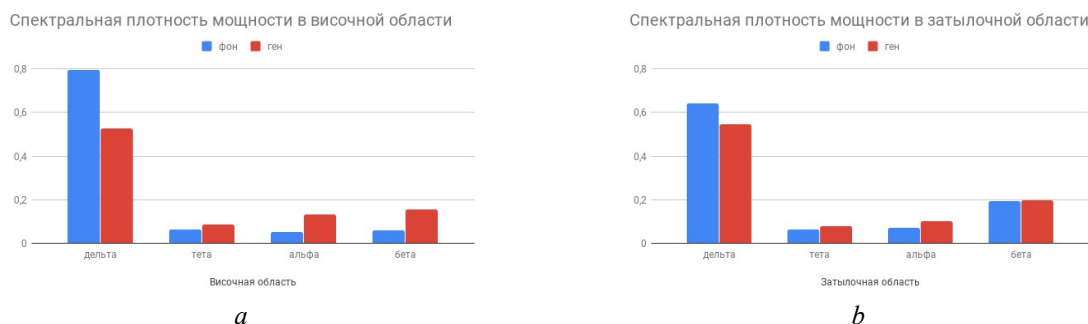


Рис. 2. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности в разных областях головы при наличии излучения генератора шума: *a* – височная область; *b* – затылочная область
Fig. 2. Power spectral density distributions histograms in different brain regions with noise generator radiation: *a* – temporal; *b* – occipital

В теменной области головы спектральная плотность мощности альфа-ритма при наличии генератора шума оказалась на 49,6 % выше фона, бета-ритма – на 62,7 % больше фонового значения, тета-ритма – на 24 % больше фона, спектральная плотность мощности дельта-ритма оказалась на 29,6 % меньше фона (рис. 3).

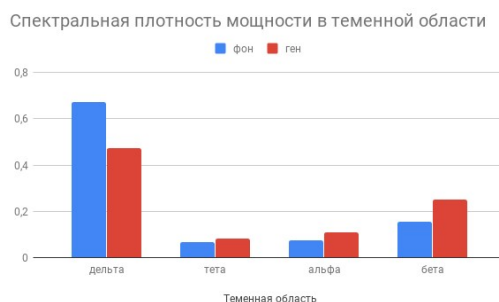


Рис. 3. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности в теменной области головы при наличии излучения генератора шума

Fig. 3. Power spectral density distributions histograms in parietal brain region with noise generator radiation

Изменения спектральной плотности мощности дельта-, тета-, альфа-, бета-ритмов электроэнцефалограмм в различных областях головы при депрессии показаны на рис. 4 [11].

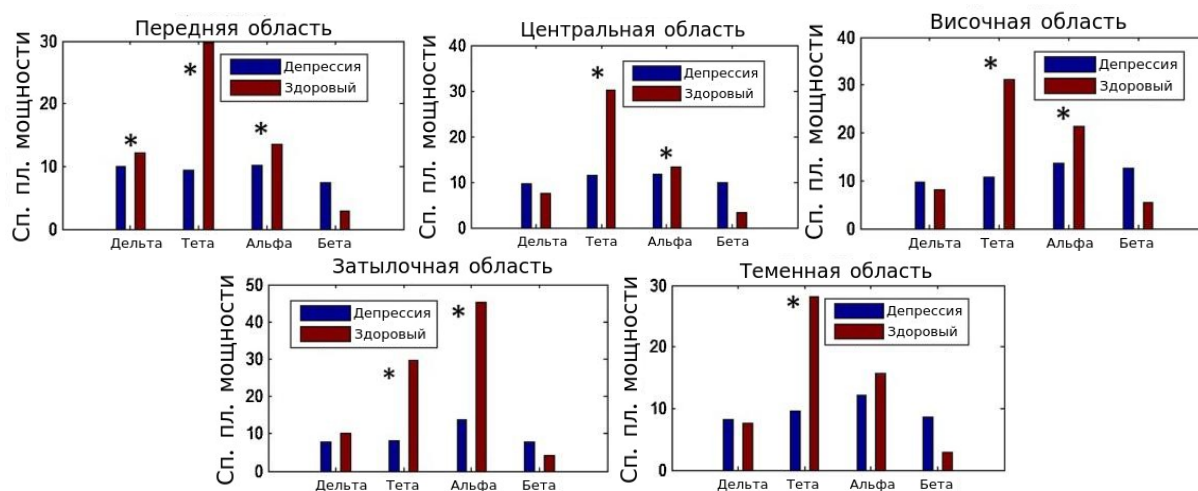


Рис. 4. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности при депрессии относительно фонового (здорового) состояния в разных областях головы: передняя, центральная, височная, затылочная, теменная [11]

Fig. 4. Power spectral density distributions histograms in different brain regions in depression compared to background (healthy) state in different brain regions: frontal, central, temporal, occipital, parietal [11]

При наличии излучения генератора шума спектральная плотность мощности тета-ритма и альфа-ритма электроэнцефалограмм возрастает на всей поверхности головы (это 10 гистограмм: в передней области 2 гистограммы (тета-ритм, альфа-ритм); в центральной области 2 гистограммы (тета-ритм, альфа-ритм); в височной области 2 гистограммы (тета-ритм, альфа-ритм); в затылочной области 2 гистограммы (тета-ритм, альфа-ритм); в теменной области 2 гистограммы (тета-ритм, альфа-ритм)). Противоположная тенденция характерна для депрессии (тета-ритм и альфа-ритм снижаются при депрессии по всей поверхности головы). В височной и теменной области дельта-ритм уменьшался при наличии генератора шума (это 2 гистограммы: дельта-ритм в височной области и дельта-ритм в теменной области). Для депрессии характерной является противоположная тенденция (при депрессии дельта-ритм возрастает в височной и теменной областях). Дельта-ритм электроэнцефалограмм в центральной области головы падает при наличии генератора шума, а при депрессии – возрастает (1 гистограмма).

В остальных случаях изменение спектральной плотности мощности электроэнцефалограмм при наличии генератора шума совпадает с тенденцией изменения спектральной плотности мощности при депрессии (это 7 гистограмм: дельта-ритм в передней области и затылочной области падает (2 гистограммы), бета-ритм по всей поверхности головы возрастает (5 гистограмм)).

Резюмируя, можно сказать, что тринадцать гистограмм вариаций спектральной плотности мощности при наличии генератора шума противоположны гистограммам при депрессии, а 7 гистограмм совпадают. Если руководствоваться данными из рис. 1–4 и [11], можно сказать, что человек при наличии излучения генератора шума депрессию не испытывает.

Фрактальная размерность электроэнцефалограмм под действием генератора электромагнитного шума изменялась следующим образом (рис. 5). В отведении Fp1 значение фрактальной размерности выросло на 7,3 % от фонового значения, в отведении Fp2 – выросло на 1,3 %; в отведении T3 – выросло на 7,4 %, в отведении T4 – выросло на 0,8 % от фона, в отведении P3 – выросло на 7 %, в отведении P4 – снизилось на 0,4 % от фона, в отведении O1 – выросло на 7,3 %, в отведении O2 – снизилось на 1,2 % от фона (рис. 5, а). В работе [10] отмечается, что при депрессии в электроэнцефалограммах отведений Fp1, Fp2, T3, T4, P3, P4, O1, O2 наблюдается рост фрактальной размерности. Это позволяет сделать предварительное заключение (т. е. заключение, основанное на данных рис. 5, а и [12]), что человек под воздействием генератора шума депрессию испытывает.

Экспонента самоподобия электроэнцефалограмм под воздействием генератора электромагнитного шума изменялась следующим образом (рис. 5, б). В отведении F3 она снизилась на 41,4 % от фонового значения, в отведении F4 – выросла на 9,5 % от фона, в отведении C3 – уменьшилась на 37,6 %, в отведении C4 – выросла на 0,4 %, в отведении T3 – снизилась на 15,3 %, в отведении T4 – упала на 23 % от фона, в отведении O1 – уменьшилась на 37,3 %, в отведении O2 падение составило 13 % от фона, в отведении P3 – уменьшилась на 36,8 %, в отведении P4 – упала на 12,2 % от фона.

При депрессии, как показано в работе [13], наблюдается возрастание экспоненты самоподобия в электроэнцефалограммах отведений F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2. Это позволяет сделать предварительное заключение (т. е. заключение, основанное на данных рис. 5, б и [11]), что человек под воздействием генератора шума депрессию не испытывает. Однако при малой депрессии (депрессивное состояние, не достигающее по тяжести и/или по формальным диагностическим критериям до диагноза «депрессия») наблюдается падение экспоненты самоподобия в отведениях F3, F4, C3, C4, O1, O2, P3, P4 [14]. Это позволяет сделать вывод, что в условиях излучения электромагнитного шума оператор находится в состоянии малой депрессии.

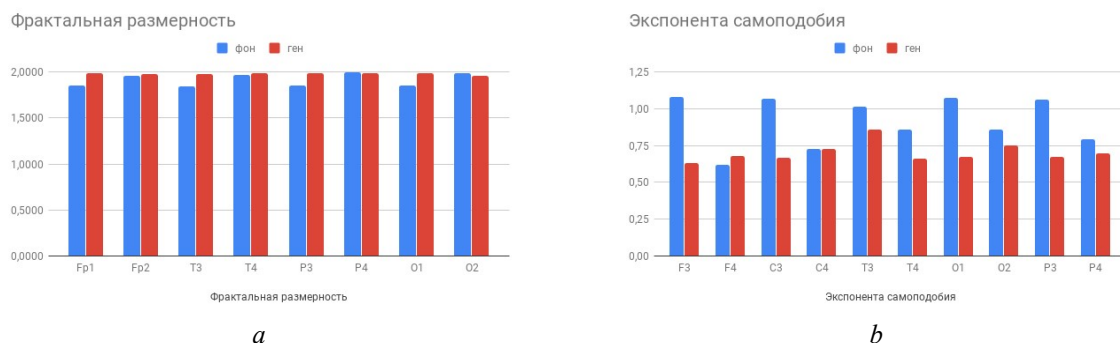


Рис. 5. Гистограммы распределения под действием излучения генератора электромагнитного шума:
а – фрактальная размерность; б – экспонента самоподобия
Fig. 5. Distribution histograms with noise generator radiation:
а – fractal dimension; б – self-similarity exponent

Заключение

Проведен комплекс экспериментальных исследований электроэнцефалограмм отведений Fp1, Fp2, T3, T4, P3, P4, O1, O2, F3, F4, C3, C4 при действии электромагнитного шумового излучения. Изменение количественных параметров позволяет сделать вывод о том, что человек под действием излучения генератора электромагнитного шума не находится в состоянии депрессии, но находится в малой депрессии. Количественными параметрами, которые использовались для оценки того, находится ли оператор в состоянии депрессии, являлись: спектральная плотность мощности тета-, дельта-, альфа-, бета-ритмов, фрактальная размерность, экспонента самоподобия. Тенденция изменения 13 гистограмм распределения спектральной плотности мощности электроэнцефалограмм при наличии генератора шума противоположна той, что наблюдается при депрессии, а в 7 гистограммах совпадает [11]. При депрессии наблюдается рост фрактальной размерности в анализируемых отведениях Fp1, Fp2, T3, T4, P3, P4, O1, O2; фрактальная размерность большинства электроэнцефалограмм анализируемых отведений возрастает при наличии генератора шума, что позволяет сделать предварительное заключение (т. е. заключение, основанное только на изменении фрактальной размерности) о наличии депрессии при воздействии электромагнитного шумового излучения [12]. Однако экспонента самоподобия электроэнцефалограмм при наличии генератора электромагнитного шума уменьшается в отведениях F3, C3, T3, T4, O1, O2. Противоположная тенденция (рост экспоненты самоподобия в электроэнцефалограммах отведений F3, F4, C3, C4, T3, T4, O1, O2) наблюдается и при депрессии [13]. Для оценки того, находится ли оператор в состоянии малой депрессии, использовалась экспонента самоподобия. Она падает в отведениях F3, F4, C3, C4, O1, O2, P3, P4 при малой депрессии [14], эта же тенденция (падение экспоненты самоподобия в отведениях F3, C3, O1, O2, P3, P4) наблюдается при наличии генератора электромагнитного шума.

Резюмируя, можно сказать, что под действием генератора электромагнитного шума человек не находится в состоянии депрессии (спектральная плотность мощности и экспонента самоподобия отрицают наличие депрессии, фрактальная размерность подтверждает наличие депрессии), но находится в состоянии малой депрессии.

Список литературы/References

1. Markovà E., Malmgren L.O.G., Belyaev I.Y. Microwaves from mobile phones inhibit 53BP1 focus formation in human stem cells stronger than in differentiated cells: possible mechanistic link to cancer risk. *Environ. Health Perspect.* 2010;118:394-399. DOI: 10.1289/ehp.0900781.
2. Terzi M., Ozberk B., Deniz O.G., Kaplan S. The role of electromagnetic fields in neurological disorders. *J Chem Neuroanat., Part B.* 2016;75:77-84. DOI: 10.1016/j.jchemneu.2016.04.003.
3. Sidorenko A.V., Saladukha M.A. Assessing the effect of electromagnetic noise radiation on the central nervous system using non-linear parameters of the electroencephalogram. *Nonlinear Dynamics and Applications.* 2019;25:231-240.
4. Sidorenko A.V., Solodyuho N.A. [Emotion state of operator subjected by electromagnetic noise radiation]. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR.* 2019;4:5-10. (In Russ.) Сидоренко А.В., Солодухо Н.А. Эмоциональное состояние оператора при воздействии электромагнитного шумового излучения. *Доклады БГУИР.* 2019;4:5-10.
5. Sidorenko A.V., Solodyuho N.A. [Nonlinear analysis of operator electroencephalograms subjected by electromagnetic noise radiation]. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR.* 2017;6:69-75. (In Russ.) Сидоренко А.В., Солодухо Н.А. Нелинейный анализ электроэнцефалограмм оператора при действии электромагнитного шумового излучения. *Доклады БГУИР.* 2017;6:69-75.
6. Harne B.P. Higuchi Fractal Dimension Analysis of EEG Signal before and after OM Chanting to Observe Overall Effect on Brain. *IJECE.* 2014;4(4):585-592. DOI: 10.11591/ijece.v4i4.5800.
7. Sidorenko A.V. Neurointerface: its operation principles and realizations. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR.* 2016;7:106-110. (In Russ.) Сидоренко А.В. Нейроинтерфейс: принципы действия и реализации. *Доклады БГУИР.* 2016;7:106-110.
8. Golinska A.K. Detrended Fluctuation Analysis (DFA) in biomedical signal processing: selected examples. *SLGR.* 2012;29(42):107-115.
9. Sidorenko A.V. [Metody informacionnogo analiza bioelektricheskikh signalov]. Minsk: BGU; 2003. (in Russ.)

- Сидоренко А.В. *Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов*. Минск: БГУ; 2003.
10. Sidorenko A.V. Assessment of the operator well-being in conditions electromagnetic noise radiations. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR*. 2018;7:118-122. (In Russ.) Сидоренко А.В. Оценка состояния оператора в условиях электромагнитных шумовых излучений. *Доклады БГУИР*. 2018;7:118-122.
 11. Wajid Mumtaz. Electroencephalogram (EEG)-based computer-aided technique to diagnose major depressive disorder (MDD). *Biomedical Signal Processing and Control*. 2017;31:108-115. DOI: 10.1016/j.bspc.2016.07.006.
 12. Maie Bachmann. Spectral Asymmetry and Higuchi's Fractal Dimension Measures of Depression Electroencephalogram. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. 2013;2013(1394): 251638-1-251638-8. DOI: 10.1155/2013/251638.
 13. Lee J.S. Detrended fluctuation analysis of resting EEG in depressed outpatients and healthy controls. *Clinical Neurophysiology*. 2007;118:2489-2496. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.08.001.
 14. Xavier Bornas. Long range temporal correlations in EEG oscillations of subclinically depressed individuals: their association with brooding and suppression. *Cogn Neurodyn*. 2015;9(1):53-62. DOI: 10.1007/s11571-014-9313-1.

Вклад авторов

Сидоренко А.В. определила задачи, которые необходимо было решить в ходе проведения исследований, обосновала методику проведения эксперимента для определения параметров электроэнцефалограмм, участвовала в интерпретации результатов исследований, связанных с определением состояния оператора

Солодухо Н.А. предложил методы для анализа электроэнцефалограмм, полученных в процессе эксперимента при воздействии электромагнитных шумовых излучений, разработал программное обеспечение для эксперимента на языке Java, принимал участие в интерпретации результатов исследования.

Authors' contribution

Sidorenko A.V. has identified the tasks to be solved during the research, justified methods for experiments to define the parameters of electroencephalograms and participated in the interpretation of the research results.

Saladukha N.A. has proposed the methods for analyzing electroencephalograms obtained through an experiment when exposed by electromagnetic noise radiation, developed the software in Java and participated in the interpretation of the research results.

Сведения об авторах

Сидоренко А.В., д.т.н., профессор кафедры физики и аэрокосмических технологий факультета радиопизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета.

Солодухо Н.А., м.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры телекоммуникаций и информационных технологий факультета радиопизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета.

Information about the authors

Sidorenko A.V., D.Sci., Professor of Physics and aerospace technology Department of Radiophysics and computer technologies faculty of Belarusian State University.

Saladukha M.A., master of physics and mathematics, Senior Teacher of Telecommunication and Information Technology Department of Radiophysics and computer technologies faculty of Belarusian State University.

Адрес для корреспонденции

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

Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,
Minsk, Nezavisimosty ave., 4,
Belarusian State University
tel. +375-29-339-14-30;
e-mail: sidorenkoA@yandex.ru
Sidorenko Alevtina Vasiljevna