

А. В. СИДОРЕНКО, Н. А. СОЛОДУХО

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Белорусский государственный университет

Цель работы, результаты которой представлены в рамках статьи, заключалась в исследовании закономерностей изменений нелинейных параметров ЭЭГ, представленных выборочной энтропией, корреляционной размерностью, фрактальной размерностью, сложностью Лемпеля-Зива при облучении оператора электромагнитным шумовым излучением. Вместе с вышеуказанными нелинейными параметрами исследовалось изменение спектральной плотности мощности дельта-, тета-, альфа- и бета-ритмов. Изменение спектральной плотности мощности бета- и тета-ритмов, фрактальной размерности и выборочной энтропии при облучении было связано с изменением вышеуказанных параметров при депрессии. Изменение спектральной плотности мощности дельта-, тета-, альфа- и бета-ритмов, корреляционной размерности и сложности Лемпеля-Зива при облучении было связано с изменением вышеуказанных параметров при стрессе. Изменение спектральной плотности мощности тета-ритма, выборочной энтропии и сложности Лемпеля-Зива при облучении было связано с изменением вышеуказанных параметров при умственной усталости. Мощность генератора электромагнитного шума составляла 30 мВт, спектральный диапазон составлял 5 ГГц, а сам генератор представлял собой генератор электромагнитного шумового излучения на транзисторах. Было изучено математическое описание расчета нелинейных параметров, представленных выборочной энтропией, корреляционной размерностью, фрактальной размерностью и сложностью Лемпеля-Зива. Регистрация электроэнцефалограмм осуществлялась по схеме "10/20" с использованием электроэнцефалографа "Нейрокартограф" фирмы МБН. Результаты работы показали наличие депрессивного и стрессового состояния, а также отсутствие умственной усталости при воздействии электромагнитным шумовым излучением, если руководствоваться изменением выборочной энтропии, корреляционной размерности, фрактальной размерности, сложности Лемпеля-Зива и спектральной плотности мощности.

Ключевые слова: электромагнитный шум, депрессия, стресс, умственная усталость, ЭЭГ.

Введение

При работе с оборудованием и в повседневной жизни мы встречаемся с устройствами, являющимися генераторами электромагнитного излучения. В повседневной жизни это могут быть смартфоны, компьютеры, СВЧ-печи, коммутаторы, маршрутизаторы. В медицине это медицинское физиотерапевтическое оборудование, электростимуляторы для воздействия на биологически активные точки и зоны, аппараты физиорефлексотерапевтической серии. В промышленности это электромагнитные измерители и приемники, промышленные коммутаторы, генераторы. Разновидность последних, а именно генераторы шума, могут использоваться для защиты информации.

Ранее нами были проведены исследования о влиянии излучения генератора электромагнитного шума на ЦНС оператора с использованием нелинейных характеристики ЭЭГ, в том числе анализировалось и влияние

на эмоциональное состояние оператора [1]. Однако оценка влияния излучения генератора шума на депрессивное состояние, стресс и умственную усталость комплексно не проводилась.

В связи с этим целью нашей работы стало оценить стрессовое и депрессивное состояние оператора под воздействием генератора электромагнитного шума, а также оценить, испытывает ли оператор умственную усталость при облучении генератором шума. Генератором электромагнитного шума стал генератор на транзисторах мощностью 30 мВт и частотным диапазоном 5 ГГц. Количественными параметрами стали спектральная плотность мощности, выборочная энтропия, корреляционная размерность, фрактальная размерность, сложность Лемпеля-Зива.

Метод выборочной энтропии

Электроэнцефалограмма представляется в виде последовательности чисел временного

ряда x из N точек $\{x_j, 1 < j < N\}$. Тогда выборочная энтропия этого ряда вычисляется следующим образом. Формируется $N-m$ векторов

$$v_m(i) \text{ для } \{1 < i < N-m\}, \quad (1)$$

где $v_m(i) = \{x_{i+k}, 0 < k < m-1\}$ является вектором из m точек от x_i до x_{i+m-1}

Определим $B_i^m(r)$ как деленное на $(N-m-1)$ число векторов $v_m(j)$ на расстоянии r от $v_m(i)$, где j меняется в диапазоне $[1, N-m]$, причем $j \neq i$. Далее определяем

$$B^m(r) = (N-m)^{-1} \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r). \quad (2)$$

Аналогичным образом определяем $A_i^m(r)$ как деленное на $(N-m-1)$ число векторов $v_{m+1}(j)$ на расстоянии r от $v_{m+1}(i)$, где j меняется в диапазоне $[1, N-m]$, причем $j \neq i$. Далее

$$A^m(r) = (N-m)^{-1} \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r). \quad (3)$$

Таким образом, $B^m(r)$ это вероятность того, что две последовательности будут совпадать на m точек, а $A^m(r)$ это вероятность того, что две последовательности будут совпадать на $m+1$ точек. Значение выборочной энтропии равно:

$$\text{SampEn}(m, r, N) = -\ln(A^m(r)/B^m(r)) \quad (4)$$

Погрешность расчета выборочной энтропии составляет не более 0,19% [2].

Метод задержанной координаты

Для расчета корреляционной размерности применяется метод задержанной координаты [3]. Электроэнцефалограмма представляется в виде последовательности чисел

$$x_1, x_2, \dots, x_N, \quad (5)$$

где $x_N = x(N\tau)$, τ – время выборки, N – целое число.

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

$$\overline{x}_i^T = (x_i, \dots, x_{i+m-1}), \quad (6)$$

где T -знак транспонирования.

$$L_m(k) = \left(\left(\left[\frac{N-m}{k} \right] \sum_{i=1}^{\left[\frac{N-m}{k} \right] k} (x(m+ik) - x(m+(i-1)k)) \right) \left(\frac{N-1}{\left[\frac{N-m}{k} \right] k} \right) \right) / k, \quad (11)$$

Состояние системы в реконструированном m -мерном фазовом пространстве определяется m -размерными точками для каждой временной реализации $x(t)$

$$x_i^m = (m^{1/2})(x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1}). \quad (7)$$

Корреляционный интеграл $C_m(l)$ – это функция, равная вероятности того, что расстояние между двумя реконструированными векторами меньше l .

Корреляционная размерность d определяется

$$d = \lim_{r \rightarrow 0} \lg C_m(r) / \lg(r), \quad (8)$$

где $C_m(r)$ – корреляционный интеграл, r – размер ячейки разбиения, или коэффициент подобия. Погрешность расчета – не более 16,8% [3].

Метод Хигучи

Электроэнцефалограмма представляется временным рядом x из N элементов:

$$x; x_1, x_2, \dots, x_N \quad (9)$$

Алгоритм метода вычисления фрактальной размерности 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:

$$x_k^m; x_m, x_{m+k}, x_{m+2k}, \dots, x_{m + \left[\frac{N-m}{k} \right] k}, \quad (10)$$

$$(m = 1, 2, \dots, k)$$

где $[\]$ означает целую часть числа, k и m – целые числа, причем m обозначает начальное время, а k – время интервала между соседними значениями ряда. Для времени интервала, равного k , получается k наборов новых временных рядов.

2. Вычисление длины каждого подряда x_k^m определяется следующим образом:

где $x(m+ik)$ – это число в ряде x на позиции $m+ik$; аналогично $x(m+(i-1)k)$ – это число в ряде x на позиции $m+(i-1)k$. Усреднение $L_m(k)$ по всем m дает $L_{cp}(k)$.

3. Построение графика $L_{cp}(k)$ от k .

4. Вычисление модуля тангенса угла наклона графика дает значение фрактальной размерности временного ряда x [4]. Погрешность метода составляет не более 0,02%.

Метод Лемпеля-Зива

Для расчета сложности Лемпеля-Зива числовая последовательность (электроэнцефалограмма) x должна быть преобразована в последовательность нулей и единиц. Часто делают так: если число в последовательности больше медианного значения, оно преобразуется в 0, иначе в 1. После преобразования сигнала в его символьную последовательность из нулей и единиц, последовательность делится на “слова” таким образом, чтобы каждое следующее “слово” не повторяло ни одно предыдущее и было минимально возможным по длине. Рассмотрим пример. Дана последовательность:

10011110110000100

Тогда слова для этой последовательности:

1,0,01,11,10,110,00,010

Далее сложность Лемпеля-Зива вычисляется по формуле $C=k(\log_2 k+1)/n$, где k число слов в последовательности (8 для примера), а n – количество элементов последовательности (17 для примера). Погрешность расчета составляет 2,68% [5].

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 [3]. Объектом исследований являлись электроэнцефалограммы следующих отведений Fp_z, Fp₁, Fp₂, F₃, F₄, C₃, C₄, P₃, P₄, O₁, O₂, F₇, F₈, T₃, T₄, T₅, T₆. Сигнал отведения Fp_z был получен усреднением соответствующих значений сигналов отведений Fp₁ и Fp₂. 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: дельта-ритм (0–4 Гц), тета-ритм (4–8 Гц), альфа-ритм (8–12 Гц), бета-ритм (12–20 Гц). Выборочная энтропия рассчитывается одноименным методом [2] с размерностью вложения равной 2, а τ равнялся 0,2. Корреляционная размерность рассчитывалась методом задержанной координаты [3] со значением параметра размерности вложения, равной 2. Сложность Лемпеля-Зива рассчитывалась методом Лемпеля-Зива [5]. Фрактальная размерность рассчитывалась методом Хигучи [4]. Генератором электромагнитного шума стал генератор на транзисторах мощностью 30 мВт с частотным диапазоном 5 ГГц.

Результаты и их обсуждение

Депрессия. Рассмотрим изменение параметров, связанных с депрессией. Исследуем синхронизацию и десинхронизацию бета- и тета-ритмов между левым и правым полушарием (рис. 1). В тета-ритме наблюдается десинхронизация между левым и правым полушарием у 6 пар отведений (C₃ и C₄; P₃ и P₄; O₁ и O₂; F₇ и F₈; T₃ и T₄; T₅ и T₆) – т.е. в левом отведении наблюдалось возрастание тета-ритма, а в правом – уменьшение. В бета-ритме наблюдается десинхронизация в 3 парах отведений (P₃ и P₄; O₁ и O₂; T₅ и T₆) – т.е. в левом отведении наблюдалось возрастание бета-ритма, а в правом – уменьшение. Т.е. суммарно, в 16 парах отведений, для бета- и тета-ритма наблюдается больше пар с рассинхронизацией ритмов (9 пар), чем с синхронизацией (7 пар), что может являться следствием скрытой депрессии у оператора (рис. 1) [6].

Проанализируем изменение фрактальной размерности (рис. 2) в 8 отведениях Fp₁, Fp₂, T₃, T₄, P₃, P₄, O₁, O₂. Изменение фрактальной размерности следующее: наблюдается возрастание фрактальной размерности под действием генератора шума в 6 из 8 анализируемых отведений (отведения Fp₁, Fp₂, T₃, T₄, P₃, O₁). Возрастание фрактальной размерности в отведениях Fp₁, Fp₂, T₃, T₄, P₃, P₄, O₁, O₂ является признаком депрессии, (рис. 2) [7]

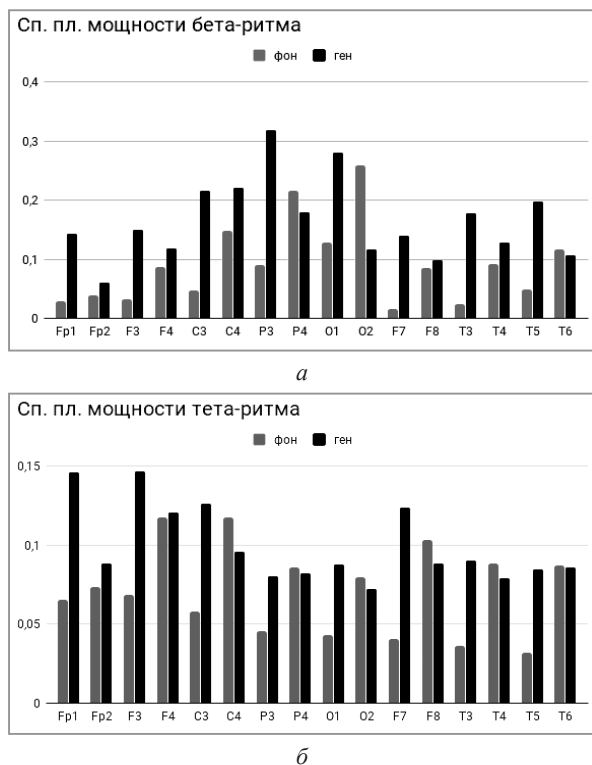


Рис. 1. Гистограммы распределений спектральной плотности мощности электроэнцефалограмм (ЭЭГ) под действием генератора шума: а – бета-ритм; б – тета-ритм

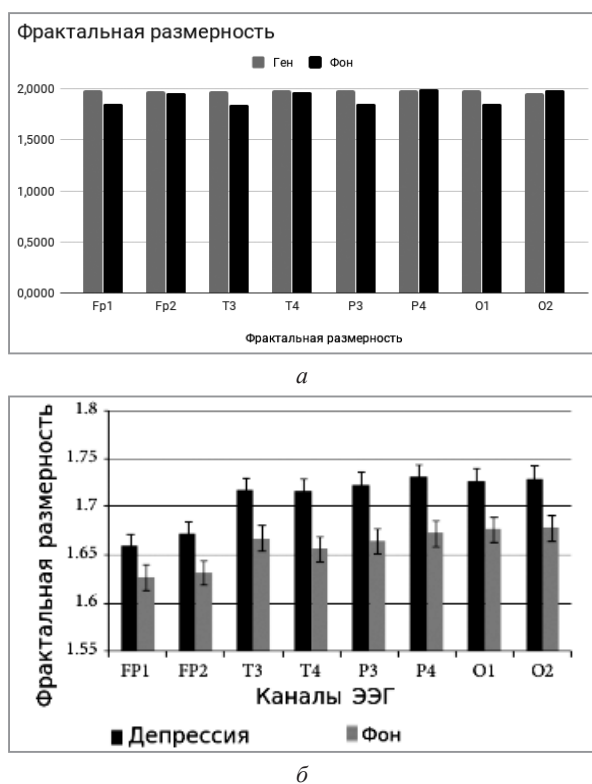


Рис. 2. Гистограммы распределения фрактальной размерности электроэнцефалограмм: а – под действием генератора шума; б – под действием депрессии [7].

следовательно, человек под действием генератора шума находится в депрессии.

Проанализируем изменение выборочной энтропии в отведениях Fr1 и T3 – при наличии генератора шума она возрастает в 2,8 раза в отведении Fr1 и в 4 раза для отведения T3. Под действием депрессии выборочная энтропия также возрастает в отведениях Fr1, T3, что позволяет сделать предварительный вывод о том, что при наличии генератора шума оператор испытывает депрессию (данные из [8], рис. 3).

Исходя из анализа спектральной плотности мощности бета-ритма, тета-ритма, фрактальной размерности, выборочной энтропии, можно сделать вывод, что оператор под воздействием электромагнитного шума испытывает депрессию.

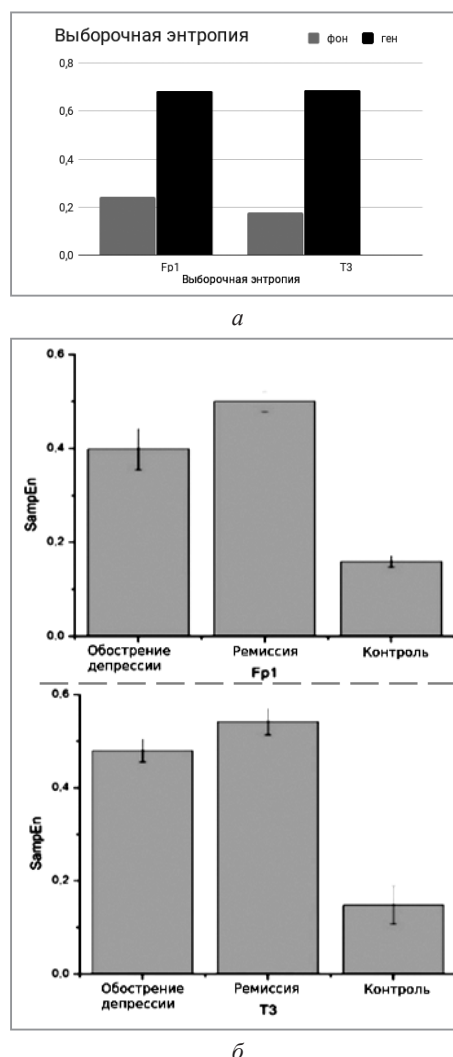


Рис. 3. Гистограммы распределения выборочной энтропии электроэнцефалограмм в отведениях Fr1, T3: а – под действием генератора шума; б – под действием депрессии [8]

Стресс. Исследуем изменение параметров, связанных со стрессом (рис 4). При наличии генератора шума наблюдается возрастание сп. пл. мощности бета-ритма в отведениях Fp1, Fp2, Fpz в 5 раз от фона, на 56,1% от фона, и в 2,5 раза от фона соответственно. Это может быть признаком стресса, т.к. на основе рис. 4в и [9], при стрессе возрастает спектральная плотность мощности бета-ритма в отведениях Fp1, Fpz.

При наличии генератора шума наблюдается возрастание сп. пл. мощности тета-ритма в отведениях Fp1, Fp2, Fpz в 2,2 раза от фона, на 20,8% от фона, и на 47,4% от фона соответственно. Это может быть признаком стресса, т.к. из рис. 4 следует, что при стрессе возрастает спектральная плотность мощности тета-ритма в отведениях Fp1, Fp2, Fpz [9].

В отведениях Fp1, Fp2, Fpz при наличии излучения генератора шума наблюдается

увеличение корреляционной размерности на 30,7% от фона, на 0,9% от фона, и на 27,6% от фона соответственно, поэтому можно сделать предварительный вывод (т.е. вывод, основанный только на данных из рис. 5 [9]), что человек испытывает стресс, т.к. при стрессе корреляционная размерность в отведениях Fp1, Fp2 возрастает.

Под действием генератора шума (рис. 5) наблюдается возрастание сложности Лемпеля-Зива в отведениях Fp1, Fp2, Fpz в 5,3 раза от фона, в 4,7 раза от фона, и в 6 раз

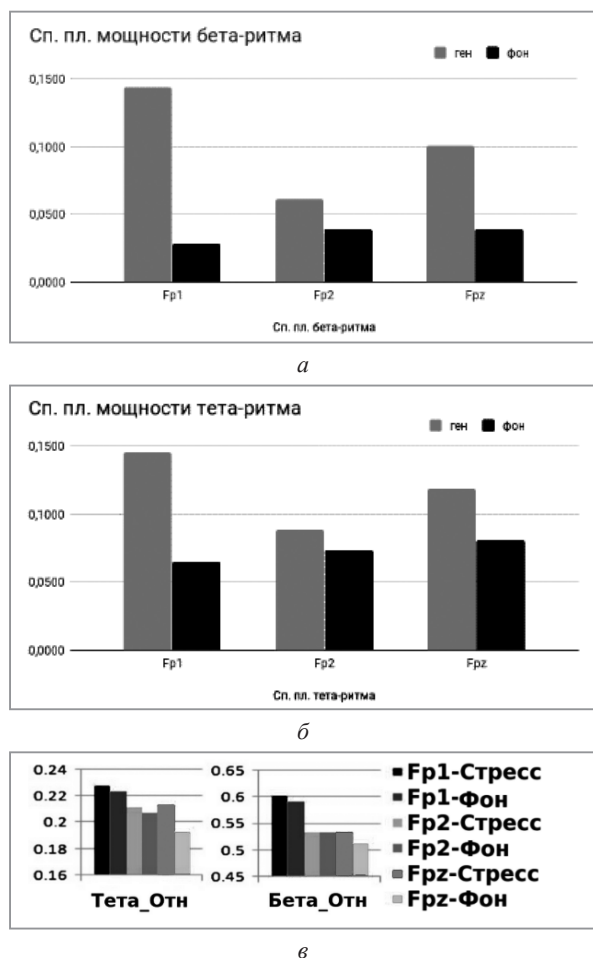


Рис. 4. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности электроэнцефалограмм: а, б – под действием генератора шума; в – под действием стресса [9]

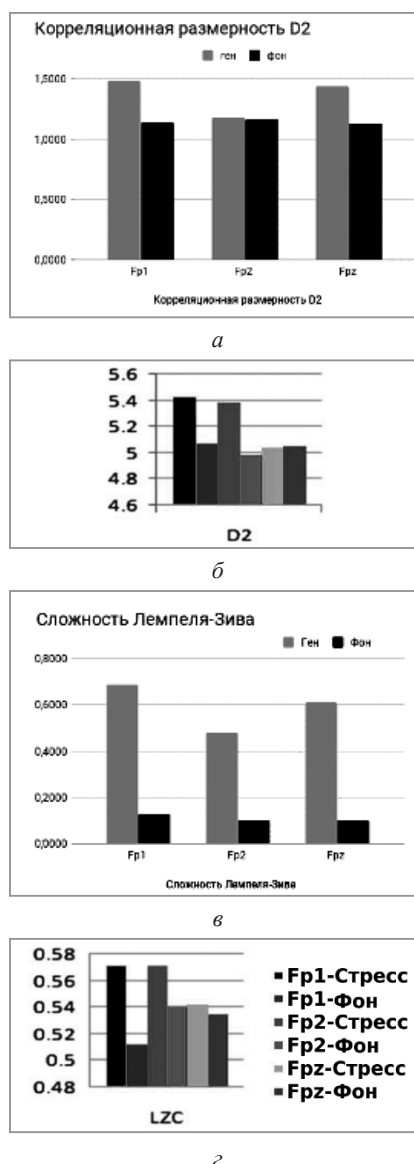


Рис. 5. Гистограммы распределения: а – корреляционной размерности ЭЭГ под действием генератора шума; б – корреляционной размерности ЭЭГ под действием стресса [9]; в – сложности Лемпеля-Зива ЭЭГ под действием генератора шума; г – сложности Лемпеля-Зива ЭЭГ под действием стресса [9]

соответственно. Т.к. при стрессе наблюдается возрастание сложности Лемпеля-Зива в отведениях Fp1, Fp2, Fpz, при наличии излучения генератора шума человек под стрессом.

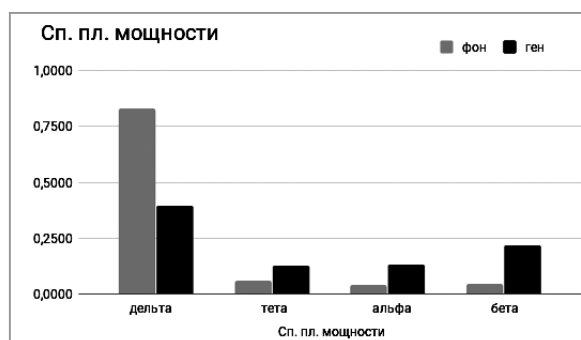
Исходя из изменений в спектральной плотности мощности (рис. 6) в отведении С3 (спектральная плотность мощности дельта-ритм уменьшилась в 2,1 раза; тета ритма – возросла в 2,2 раза, альфа ритма – возросла в 3,3 раза; бета-ритма – возросла в 4,5 раза) при наличии генератора шума (а именно из уменьшения сп. пл. мощности дельта-ритма и возрастания сп. пл. мощности тета-, альфа- и бета-ритмов) и данных из [10], можно заключить, что оператор испытывает сильный стресс (т.к. при нем так же, как и при наличии генератора шума уменьшается сп. пл. мощности дельта-ритма и возрастает сп. пл. мощности тета-ритма, а альфа-ритм и бета-ритм можно исключить из анализа, т.к. при сильном стрессе они не меняются).

Умственная усталость. Рассмотрим изменение параметров, связанных с умственной усталостью. Спектральная плотность мощности тета-ритма, усредненная по всем отведениям, возросла на 40,2% от фонового состояния. Возрастание спектральной плотности мощности тета-ритма, усредненной по всем отведениям, может являться следствием умственной усталости (если руководствоваться данными из [11]).

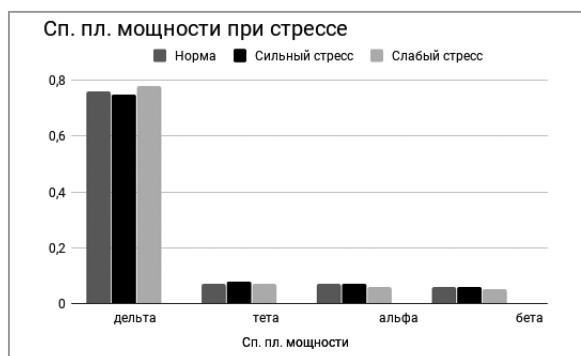
Увеличение выборочной энтропии (рис. 7) в отведениях F7, F3, O1, O2, F4, F8 при наличии генератора шума может говорить об отсутствии умственной усталости, т.к. при усталости выборочная энтропия в этих отведениях, наоборот, уменьшается [12].

Под действием генератора шума сложность Лемпеля-Зива (рис. 8) возрастает во всех 16 анализируемых отведениях (Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6). Под действием усталости сложность Лемпеля-Зива [13] возрастает в 4 отведениях (F3, F4, C3, C4) и уменьшается в 6 отведениях (O1, O2, T5, T6, F7, F8). Поэтому можно сделать предварительный вывод (т.е. вывод, основанный только на данных [13]), что человек под действием генератора шума усталость не испытывает.

Исходя из изменений вышеуказанных параметров, можно сделать заключение, что оператор под воздействием электромагнитного шума умственную усталость не испытывает.

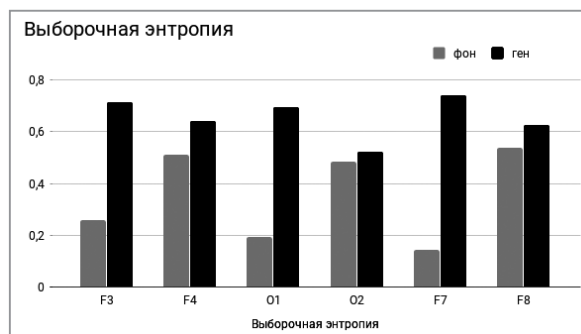


а

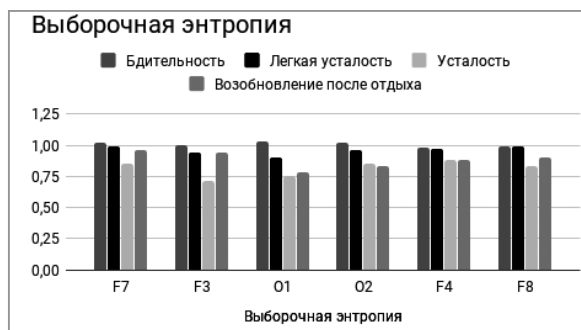


б

Рис. 6. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности в отведении С3: а – под действием генератора шума; б – под действием стресса [10]



а



б

Рис. 7. Гистограммы распределения выборочной энтропии электроэнцефалограмм: а – под действием генератора шума; б – под действием умственной усталости [12]

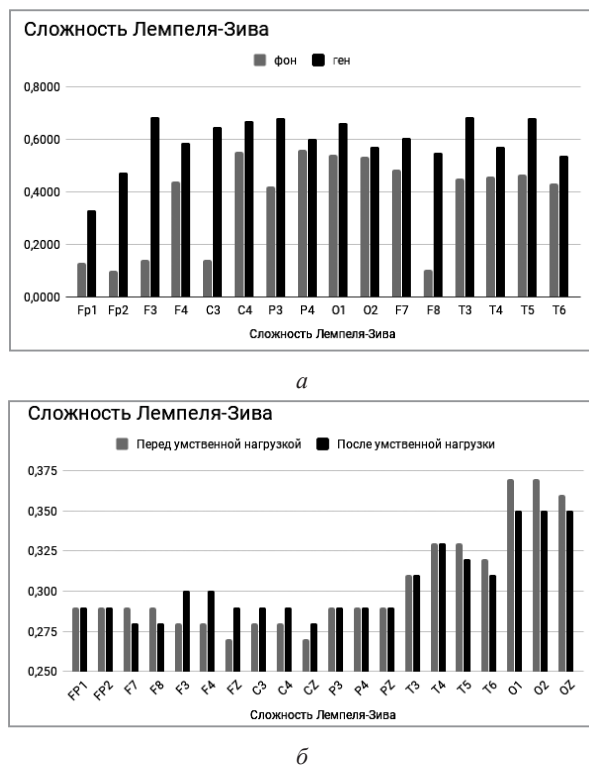


Рис. 8. Гистограммы распределения сложности Лемпеля-Зива электроэнцефалограмм:
a – под действием генератора шума;
б – под действием усталости, вызванных умственной нагрузкой [13]

Заключение

Исходя из изменений спектральной плотности мощности бета-ритма, тета-ритма, фрактальной размерности и выборочной энтропии, оператор под действием генератора электромагнитного шума испытывает депрессию. Результаты согласуются с результатами в [14]. Исходя из изменений спектральной плотности мощности бета-ритма, тета-ритма, корреляционной размерности, сложности Лемпеля-Зива; спектральной плотности мощности дельта-, тета-, альфа-, бета-ритмов в отведении СЗ оператор под воздействием электромагнитного шума испытывает стресс. Исходя из изменения спектральной плотности мощности тета-ритма, выборочной энтропии и сложности Лемпеля-Зива, оператор под действием электромагнитного шума умственную усталость не испытывает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко, А.В., Солодухо Н.А. Эмоциональное состояние оператора при воздействии электромагнитного шумового излучения. Доклады БГУИР. 2019;(4):5–10.
2. Richman J.S., Moorman J.R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2000;278(6):2039–2049.
3. Сидоренко, А.В. Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов. Мн.: БГУ; 2003.
4. 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.
5. Petrov L.A., Lewin P.L., Czaszejko T. On the Applicability of Nonlinear Time series Methods for Partial Discharge Analysis. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2014;21:284–293.
6. Armitage R., Hoffman R.F., Rush A.J. Biological rhythm disturbance in depression: temporal coherence of ultradian sleep EEG rhythms. Psychol Med. 1999;29(6):1435–1448.
7. Bachmann M. Spectral Asymmetry and Higuchi's Fractal Dimension Measures of Depression Electroencephalogram. Computational and Mathematical Methods in Medicine. 2013;2013:251638–1–251638–8.
8. Bachmann M., Lass J., Hinrikus H. Single channel EEG analysis for detection of depression. Biomedical Signal Processing and Control. 2017;31:391–397.
9. Hong Peng, A method of identifying chronic stress by EEG. Personal and Ubiquitous Computing. 2013;17(17):1341–1347.
10. Perrin S.L. Waking qEEG to assess psychophysiological stress and alertness during simulated on-call conditions. International Journal of Psychophysiology. 2019;141:93–100.
11. Lili Li, EEG-based Mental Fatigue Detection by Spectral Non-negative Matrix Factorization. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2016;2016: 3716–3719.
12. Fei Wang, EEG-based mental fatigue assessment during driving by using sample entropy and rhythm energy. The 5th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems. 2015;2015:1906–1911.
13. Rui Xu, How Physical Activities Affect Mental Fatigue Based on EEG Energy, Connectivity, and Complexity. Frontiers in Neurology. 2018;9:1–13.

14. Сидоренко А.В., Солодухо Н.А. Воздействие шумового излучения на центральную нервную систему. Электроника ИНФО. 2016;(11):58–62.

REFERENCES

1. Sidorenko A.V., Solodyuho N.A. Emotion state of operator subjected by electromagnetic noise radiation. Doklady BGUIR. 2019;(4):5–10. (In Russ.)
2. Richman J.S., Moorman J.R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2000;278(6):2039–2049.
3. Sidorenko A.V. Metody informacionnogo analiza bioelektricheskikh signalov. Minsk: BGU; 2003. (in Russ.)
4. 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.
5. Petrov L.A., Lewin P.L., Czaszejko T. On the Applicability of Nonlinear Time series Methods for Partial Discharge Analysis. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2014;21:284–293.
6. Armitage R., Hoffman R.F., Rush A.J. Biological rhythm disturbance in depression: temporal coherence of ultradian sleep EEG rhythms. Psychol Med. 1999;29(6):1435–1448.
7. Bachmann M. Spectral Asymmetry and Higuchi's Fractal Dimension Measures of Depression Electroencephalogram. Computational and Mathematical Methods in Medicine. 2013;2013:251638–1–251638–8.
8. Bachmann M., Lass J., Hinrikus H. Single channel EEG analysis for detection of depression. Biomedical Signal Processing and Control. 2017;31:391–397.
9. Hong Peng, A method of identifying chronic stress by EEG. Personal and Ubiquitous Computing. 2013;17(17):1341–1347.
10. Perrin S.L. Waking qEEG to assess psychophysiological stress and alertness during simulated on-call conditions. International Journal of Psychophysiology. 2019;141:93–100.
11. Lili Li, EEG-based Mental Fatigue Detection by Spectral Non-negative Matrix Factorization. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2016;2016: 3716–3719.
12. Fei Wang, EEG-based mental fatigue assessment during driving by using sample entropy and rhythm energy. The 5th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems. 2015;2015:1906–1911.
13. Rui Xu, How Physical Activities Affect Mental Fatigue Based on EEG Energy, Connectivity, and Complexity. Frontiers in Neurology. 2018;9:1–13.
14. Sidorenko A.V., Solodyuho N.A. Vozdejstvie shumovogo izlucheniya na central'nuju nervnuju sistemu. Jelektronika INFO. 2016;(11):58–62. (In Russ.)

Поступила
01.09.2020

После доработки
28.11.2020

Принята к печати
01.12.2020

SIDORENKO A. V., SALADUKHA M. A.

EVALUATION OF OPERATOR'S STATE UNDER THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC NOISE GENERATOR

Belarusian State University

Abstract. The purpose of the work, the results of which are presented within the the article, was to study changes in the nonlinear EEG parameters represented by sample entropy, correlation dimension, fractal dimension, Lempel-Ziv complexity while the operator is irradiated with electromagnetic noise. Apart from the above nonlinear parameters, we studied the change in the power spectral density of delta-, theta-, alpha-, and beta-rhythms. A change in the spectral power density of beta- and theta- rhythms, fractal dimension, and sample entropy during irradiation was associated with a change in the above parameters during depression. A change in the spectral power density of delta, theta, alpha, and beta rhythms, the correlation dimension, and Lempel-Ziv complexity during irradiation was associated with a change in the above parameters in stress. A change in the spectral power density of the theta rhythm, sample entropy and Lempel-Ziv complexity during irradiation was associated with a change in the above parameters during mental fatigue. The power of the electromagnetic noise generator was 30 mW, the spectral range was 5 GHz, and the generator itself was a generator of electromagnetic noise radiation on transistors. The mathematical description of the calculation of nonlinear parameters represented by sample entropy, correlation dimension, fractal dimension and Lempel-Ziv complexity was studied. The registration of electroencephalograms was carried out according to the "10/20" scheme using the MBN electroencephalograph. The results of the work showed the presence of a depressive and stressful state, as well as the absence of mental fatigue when exposed to electromagnetic noise radiation, if we are guided by the change in sample entropy, correlation dimension, fractal dimension, Lempel-Ziv complexity and power spectral density.

Keywords: electromagnetic noise, depression, stress, mental fatigue, electroencephalogram.



Сидоренко А.В., доктор технических наук, профессор кафедры физики и аэрокосмических технологий факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета

Sidorenko A.V., doctor of science in techniques, professor of physics and aerospace technology department of radiophysics and computer technologies faculty of Belarusian State University

E-mail: sidorenkoA@yandex.ru



Солодухо Н.А., магистр физико-математических наук, старший преподаватель кафедры телекоммуникаций и информационных технологий факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета

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.

E-mail: malkomus@gmail.com