

СИДОРЕНКО А.В., СОЛОДУХО Н.А.5

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИАПАЗОНА WiFi НА ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПЕРАТОРА

Белорусский государственный университет  
г. Минск, Республика Беларусь

Проведены экспериментальные исследования электроэнцефалограмм оператора, находящегося в условиях электромагнитного шумового излучения диапазона WiFi. Регистрация электроэнцефалограмм проводилась в стандартных отведениях Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz. Проанализированы количественные параметры эмоционального состояния оператора, выраженные спектральной плотностью мощности ритмических компонент мозга, а также такими информационными параметрами, как выборочная энтропия, фрактальная размерность, сложность Лемпеля-Зива, усредненные для 10 испытуемых. Показано, что при действии излучения оператор испытывает депрессию. Показано, что тенденция изменения параметров спектральной плотности мощности тета-, альфа-, гамма-ритмов, фрактальной размерности, сложности Лемпеля-Зива, выборочной энтропии в большинстве отведений электроэнцефалограмм совпадает с тенденцией изменения этих параметров, представленных в научной литературе, при депрессии. Установлено, что оператор испытывает страх, что определяется увеличением параметра фрактальной размерности электроэнцефалограмм не более чем на 0,4 % по отношению к фону.

**Ключевые слова:** шум, человек, излучение, WiFi, электроэнцефалограмма, эмоции, депрессия, страх

### Введение

На сегодняшний день в научной литературе присутствуют противоречивые данные о влиянии электромагнитного излучения [1, 2] на центральную нервную систему человека. Ранее проведенные нами исследования влияния электромагнитного шумового излучения в диапазоне 5 ГГц на центральную нервную систему оператора с использованием в качестве количественных параметров спектральной плотности мощности, а также информационных параметров: экспоненты самоподобия, фрактальной размерности, выборочной энтропии – подтвердили появление депрессии у оператора при воздействии на него шумового электромагнитного излучения в диапазоне 5 ГГц [3].

Министерством здравоохранения Республики Беларусь установлены предельно допустимые значения энергетической экспозиции электромагнитного излучения радиочастотного диапазона, равными  $200 \text{ (мкВт/см}^2\text{)} \cdot \text{ч}$  [4].

Целью данной работы является исследование эмоционального состояния оператора, в частности, наличия депрессии и страха, под воздействием генератора электромагнитного шумового излучения из диапазона WiFi при воздействии в пределах нормы и выше нормы с использованием в качестве количественных параметров как линейных параметров (спектральной плотности мощности ритмических компонент мозга), так и информационных параметров: выборочной энтропии, фрактальной размерности, сложности Лемпеля-Зива.

### Метод Хигучи для оценки фрактальной размерности

Представим значения зарегистрированной электроэнцефалограммы как временной ряд  $X$ , состоящий из  $N$  элементов:

$$X; X(1), X(2), \dots, X(N). \quad (1)$$

Алгоритм метода вычисления фрактальной размерности временного ряда  $X$ , содержащего  $N$  элементов, включает следующие этапы:

1. Создание новых временных рядов. Из данного временного ряда  $X$  создаются новые временные ряды,  $X_k^m$ , определяемые следующим образом:

$$X_k^m; X(m), X(m+k), X(m+2k), \dots, X(m + \lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor \cdot k) \quad (m=1, 2, \dots, k), \quad (2)$$

$\lfloor \cdot \rfloor$  означает целую часть числа,  $k$  и  $m$  – целые числа, причем  $m$  обозначает начальное время, а  $k$  – время интервала между соседними значениями ряда.

2. Вычисление длины каждого подряда. Длина кривой  $X_k^m$  определяется следующим образом:

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

Дробь  $\frac{N-1}{\lfloor \frac{N-m}{k} \rfloor \cdot k}$  представляет собой нормировочный коэффициент для длины кривой поднабора временных рядов. Усреднение  $L_m(k)$  по всем  $m$  (от 1 до  $k$ ) дает  $L_{cp}(k)$ .

3. Построение графика зависимости  $L_{cp}(k)$  от  $k$ . Строится график функции средней длины кривой за временной интервал  $L_{cp}(k)$  от  $k$  в двойном логарифмическом масштабе. Если  $L_{cp}(k) \sim k^D$ , тогда кривая является фракталом с размерностью  $D$ .

4. Вычисление модуля тангенса угла наклона графика. Вычисляется модуль значения тангенса угла наклона графика функции  $L_{cp}(k)$  от  $k$  при построении его в двойном логарифмическом масштабе, что дает значение фрактальной размерности  $D$  исходного временного ряда  $X$  [5].

### Метод выборочной энтропии

Выборочная энтропия  $SampEn$  временного ряда  $u(j)$  из  $N$  точек  $\{u(j), 1 < j < N\}$  вычисляется следующим образом. Формируется  $N-m$  векторов:

$$x_m(i) \text{ для } \{1 \leq i \leq N-m\}, \quad (5)$$

$$\text{где } x_m(i) = \{u(i+k), 0 \leq k \leq m-1\} \quad (6)$$

является вектором для  $m$  точек от  $u(i)$  до  $u(i+m-1)$ .

Расстояние между двумя такими векторами  $x_m(i)$  и  $x_m(j)$  определяется как:

$$d[x(i), x(j)] = \max \{|u(i+k) - u(j+k)|; 0 \leq k \leq m-1\}, \quad (7)$$

т. е. максимальное расстояние между их соответствующими скалярными компонентами.

Для вычисления выборочной энтропии  $SampEn$  требуется следующее. Определим  $B_i^m(r)$  как деленное на  $(N-m-1)$  число векторов  $x_m(j)$  на расстоянии  $r$  от  $x_m(i)$ , где  $j$  меняется в диапазоне  $[1, N-m]$ , причем  $j \neq i$ . Далее определяем:

$$B^m(r) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r). \quad (8)$$

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

$$A^m(r) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r). \quad (9)$$

Значение выборочной энтропии равно [6]:

$$SampEn(m, r, N) = -\ln(A^m(r) / B^m(r)). \quad (10)$$

### Метод Лемпеля-Зива

Сложность Лемпеля-Зива  $C$  вычисляется по формуле

$$C = k(\log_2 k + 1) / n, \quad (11)$$

где  $k$  число слов в последовательности, а  $n$  – количество элементов последовательности. Слова – это блоки из нулей и единиц. Для расчета  $C$  необходимо

предварительное преобразование числовой последовательности таким образом, что если число в последовательности больше медианного значения, оно преобразуется в 0, иначе в 1. При этом каждое следующее “слово” не должно повторять ни одно предыдущее. По длине оно должно быть минимально возможным [7].

### Методика проведения исследований

Регистрация электроэнцефалограмм осуществлялась по схеме «10/20» [8] с использованием электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-4» фирмы Нейрософт. В качестве генератора электромагнитных шумовых излучений использовался “Подавитель Скорпион Wi-Fi - 15” [9] мощностью 4 Вт в диапазоне частот 2400-2500 МГц и 5150-5350 МГц. Обработка и анализ электроэнцефалограмм проводились в разработанной авторами информационно-измерительной системе, адаптированной для работы с электроэнцефалограммами [10]. Объектом исследований являлись электроэнцефалограммы 10 мужчин следующих отведений: Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz [8]. Электроэнцефалограммы обрабатывались в режимах: фон (режим 1), облучение в пределах нормы (режим 2, 57 минут облучения), и облучение выше нормы (режим 3, 77 минут облучения). В фоне использовались электроэнцефалограммы здорового человека. Полученные по 10 испытуемым количественные параметры усреднялись, а погрешность вычислялась для доверительной вероятности 0,90 с использованием коэффициентов Стьюдента.

Спектральная плотность мощности ритмов головного мозга рассчитывалась с помощью быстрого преобразования Фурье, применяемого к анализируемой электроэнцефалограмме. Анализируемые диапазоны включали: дельта-ритм (0–4 Гц), тета-ритм (4–8 Гц), альфа-ритм (8–12 Гц), бета-ритм (12–20 Гц), гамма-ритм (20–40 Гц). Выборочная энтропия и сложность Лемпеля-Зива электроэнцефалограмм вышеуказанных отведений рассчитывались с помощью одноименных методов. Фрактальная размерность электроэнцефалограмм вышеуказанных отведений рассчитывалась с помощью метода Хигучи. При расчете выборочной энтропии для оценки параметра  $m$  использовался метод Алексича [11]. Параметр  $m$  мы полагаем равным 2, параметр  $r$  – равным 0,2 [6].

### Результаты

*Депрессия.* Проанализируем спектральную плотность мощности электроэнцефалограмм при возможной депрессии оператора. Спектральная плотность мощности в отведениях Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz электроэнцефалограмм, исследованных

нами, в режимах 1, 2 и 3 изменялась как показано на рисунке 1.

Из литературных источников известно, что спектральная плотность мощности в отведениях Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz при депрессии изменялась, как показано на рисунке 2 [12].

Сравнивая рисунки 1 и 2, можно сделать заключение, что в режиме 2 для бета-ритма и

дельта-ритма тенденция изменения спектральной плотности мощности противоположна депрессии для большинства отведений электроэнцефалограмм, исследованных нами, а для тета-, альфа-, гамма-ритмов тенденция совпадает. В режиме 3 для тета-ритма, альфа-ритма, бета-ритма, гамма-ритма тенденция совпадает для большинства отведений, а для дельта-ритма тенденция противоположна.

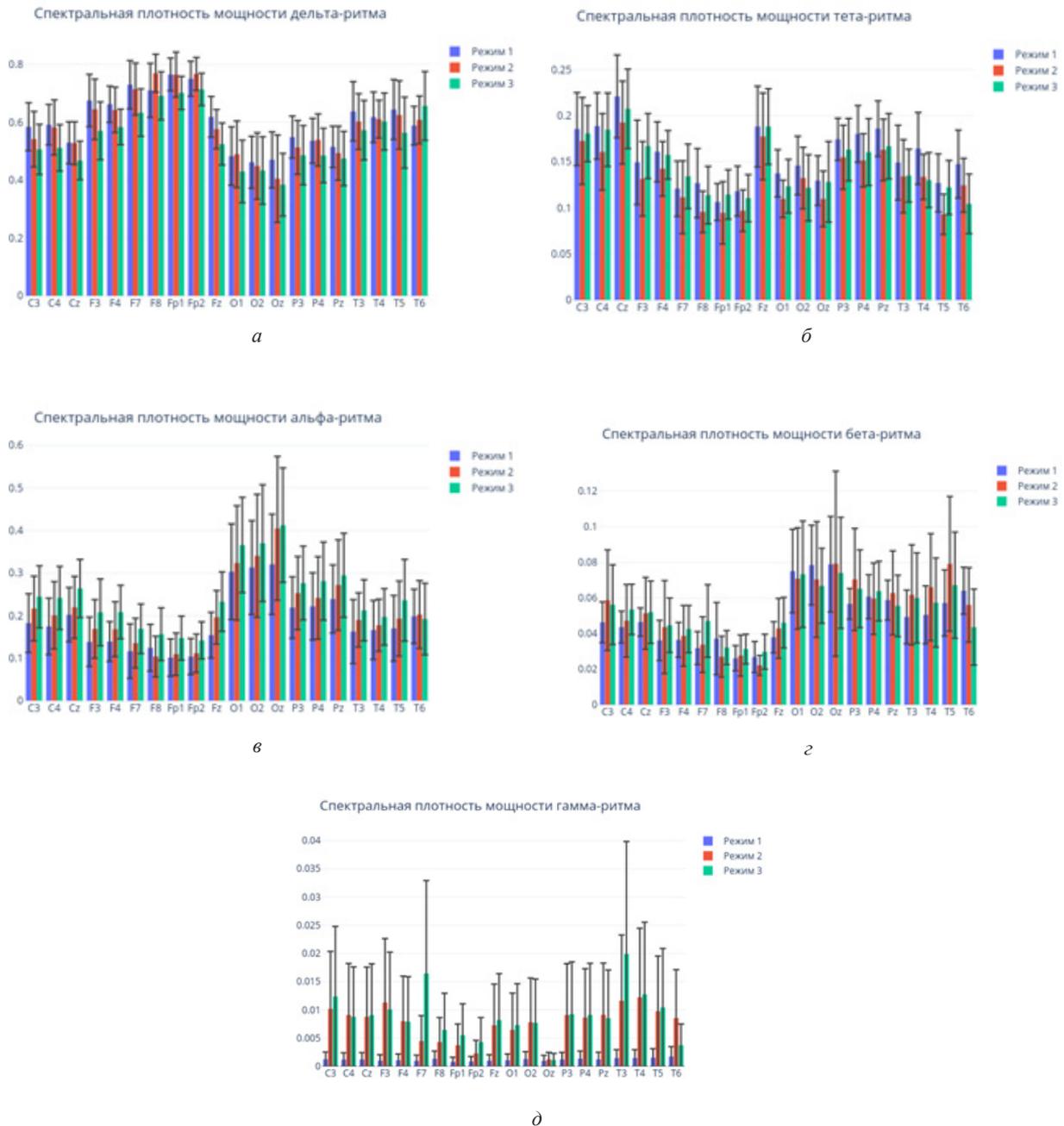


Рисунок 1. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности дельта-ритма (а), тета-ритма (б), альфа-ритма (в), бета-ритма (г), гамма-ритма (д) ЭЭГ оператора в режимах 1, 2 и 3

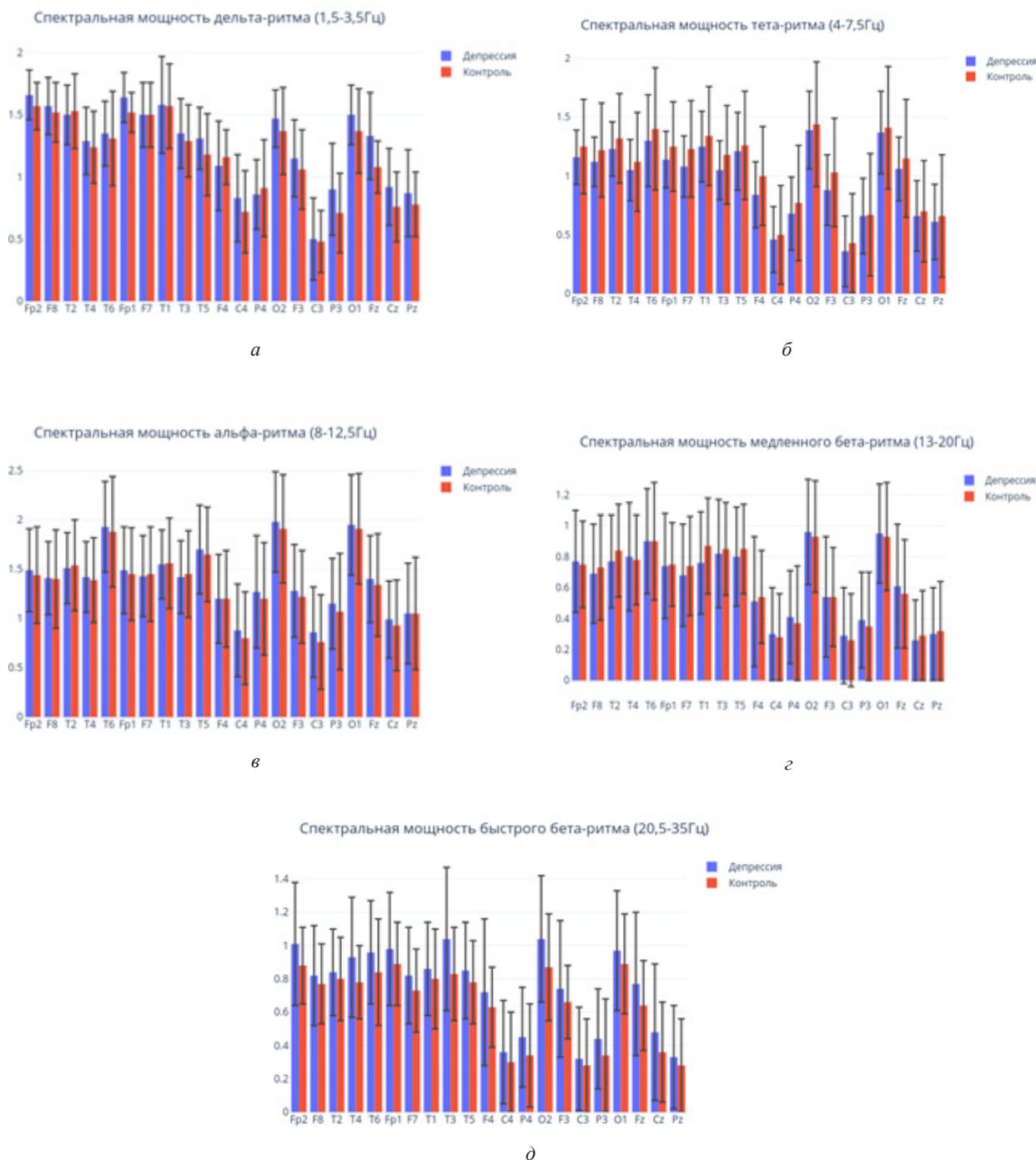


Рисунок 2. Гистограммы распределения спектральной плотности мощности дельта-ритма (а), тета-ритма (б), альфа-ритма (в), бета-ритма (з), гамма-ритма (д) электроэнцефалограмм в состоянии депрессии

Проанализируем нелинейные параметры электроэнцефалограмм при возможной депрессии оператора с использованием фрактальной размерности. Фрактальная размерность электроэнцефалограмм, исследованных нами, в отведениях Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz в режимах 1, 2 и 3 изменялась как показа-

но на рисунке 3а. Из литературных источников, фрактальная размерность при депрессии изменялась как показано на рисунке 3б [13]. Сравнивая рисунки 3а и 3б, можно сделать заключение, что для фрактальной размерности в режиме 2 и 3 в 1 отведении наблюдается тенденция, противоположная при депрессии, а в 7 отведениях тенденция совпадает.

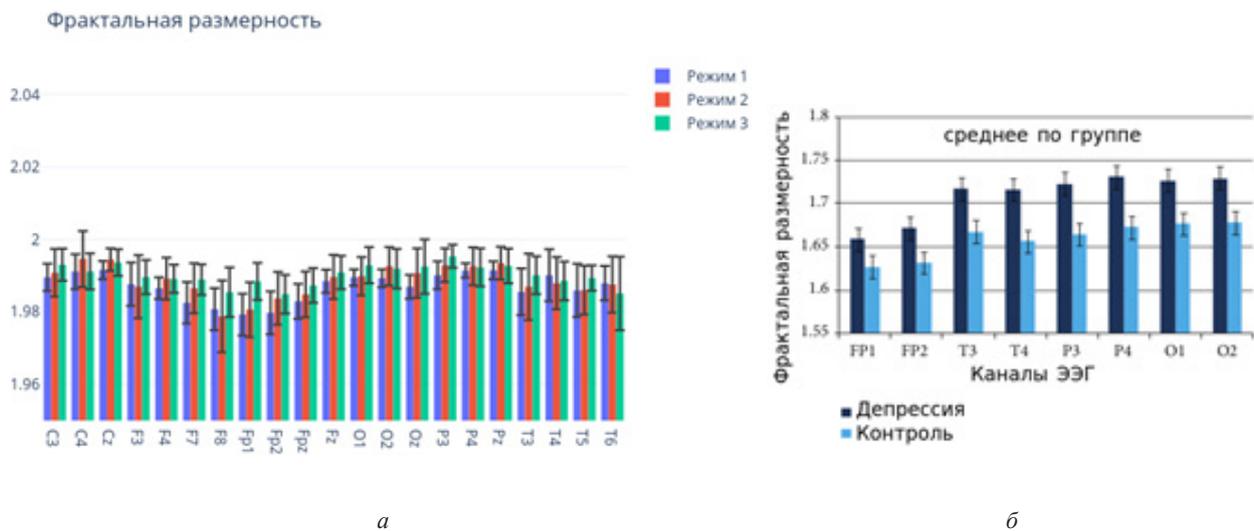


Рисунок 3. Гистограммы распределения фрактальной размерности ЭЭГ оператора в режимах 1, 2 и 3 (а) и в состоянии депрессии (б)

При усреднении фрактальной размерности по всем отведениям, исследованных нами электроэнцефалограмм, в режиме 1, 2 и 3, фрактальная размерность изменялась как показано на рисунке 4а. Из

литературных источников известно, что фрактальная размерность электроэнцефалограмм, усредненная по всем отведениям, при депрессии изменялась как показано на рисунке 4б [14].

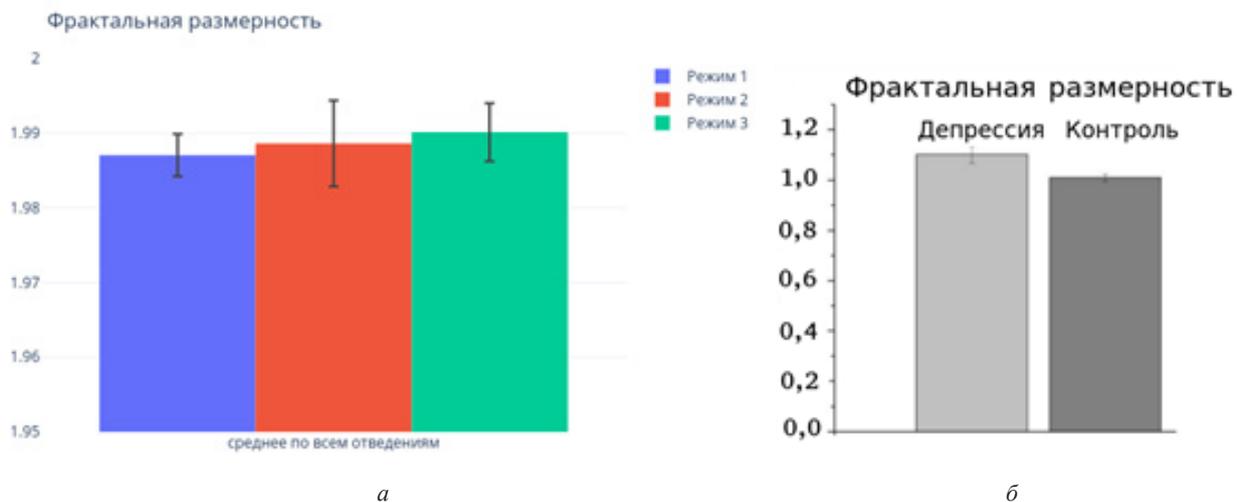


Рисунок 4. Гистограммы распределения фрактальной размерности, усредненной по всем отведениям ЭЭГ оператора в режимах 1, 2 и 3 (а) и в состоянии депрессии (б)

При сравнении результатов, приведенных на рисунке 4а и 4б, тенденция изменения фрактальной размерности электроэнцефалограмм, усредненной по всем отведениям, в режиме 2 и 3 совпадает с тенденцией изменения фрактальной размерности электроэнцефалограмм, усредненной по всем отве-

дениям, при депрессии. Тенденция изменений сохраняется как для режима 2, так и в случае режима 3.

Проанализируем нелинейные параметры электроэнцефалограмм при возможной депрессии оператора с использованием сложности Лемпеля-Зива. Сложность Лемпеля-Зива электроэнцефалограмм,

исследованных нами, в режимах 1, 2 и 3 в отведениях Pz, Oz изменялась как показано на рисунке 5а. Из литературных источников, сложность Лемпеля-

Зива электроэнцефалограмм при депрессии в отведениях Fz, Oz, Pz изменялась как показано на рисунке 5б [15].

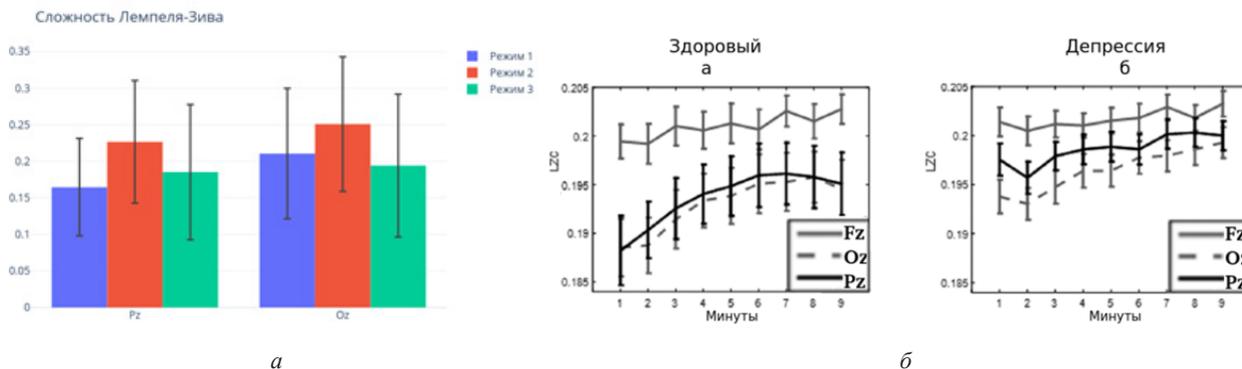


Рисунок 5. Гистограммы распределения сложности Лемпеля-Зива ЭЭГ оператора в режимах 1, 2 и 3 в отведениях Pz, Oz (а) и в состоянии депрессии (б) в отведениях Fz, Oz, Pz

Сравнивая рисунки 5а и 5б, можно видеть, что тенденция изменения сложности Лемпеля-Зива электроэнцефалограмм, исследованных нами в режиме 2 совпадает с тенденцией изменения сложности Лемпеля-Зива электроэнцефалограмм при депрессии в обоих отведениях Pz и Oz. Тенденция изменения сложности Лемпеля-Зива электроэнцефалограмм в режиме 3 совпадает с тенденцией изменения сложности Лемпеля-Зива электроэнцефалограммы при депрессии в отведении Pz и противоположна в отведении Oz.

сии оператора с использованием выборочной энтропии. Выборочная энтропия электроэнцефалограмм, исследованных нами в режимах 1, 2 и 3 в отведениях Fp1, T5 изменялась, как показано на рисунке 6а. Из литературных источников, выборочная энтропия электроэнцефалограмм при депрессии в отведениях Fp1, T5 изменялась, как показано на рисунке 6б [16].

Проанализируем нелинейные параметры электроэнцефалограмм при возможной депрес-

Сравнивая рисунки 6а и 6б, можно сделать заключение, что для выборочной энтропии электроэнцефалограмм в режимах 2 и 3 в обоих отведениях Fp1 и T5 наблюдается тенденция, совпадающая с депрессией.

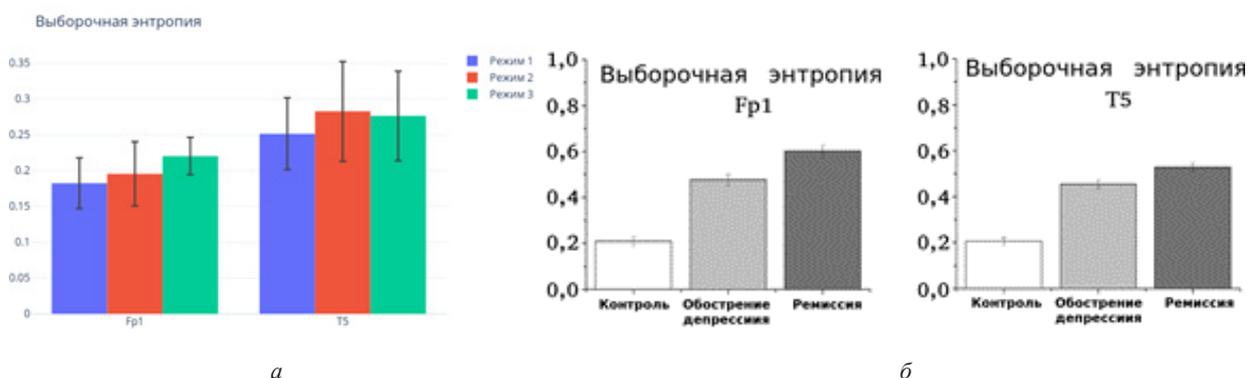


Рисунок 6. Гистограммы распределения выборочной энтропии ЭЭГ оператора в режимах 1, 2 и 3 (а) и в состоянии депрессии (б) для отведений Fp1, T5

Выборочная энтропия электроэнцефалограмм, исследованных нами, усредненная по всем отведениям, в режимах 2 и 3 изменяется как показано на рисунке 7а. Из литературных источников, выборочная энтропия электроэнцефалограмм, усредненная по всем отведениям, при депрессии изменялась как показано на рисунке 7б [14]. Как видно из рисунка 7,

тенденция изменения выборочной энтропии электроэнцефалограмм, исследованных нами, усредненной по всем отведениям, в режимах 2 и 3 совпадает с тенденцией изменения выборочной энтропии электроэнцефалограмм, усредненной по всем отведениям, при депрессии. Тенденция сохраняется как для случая режима 2, так и в случае режима 3.

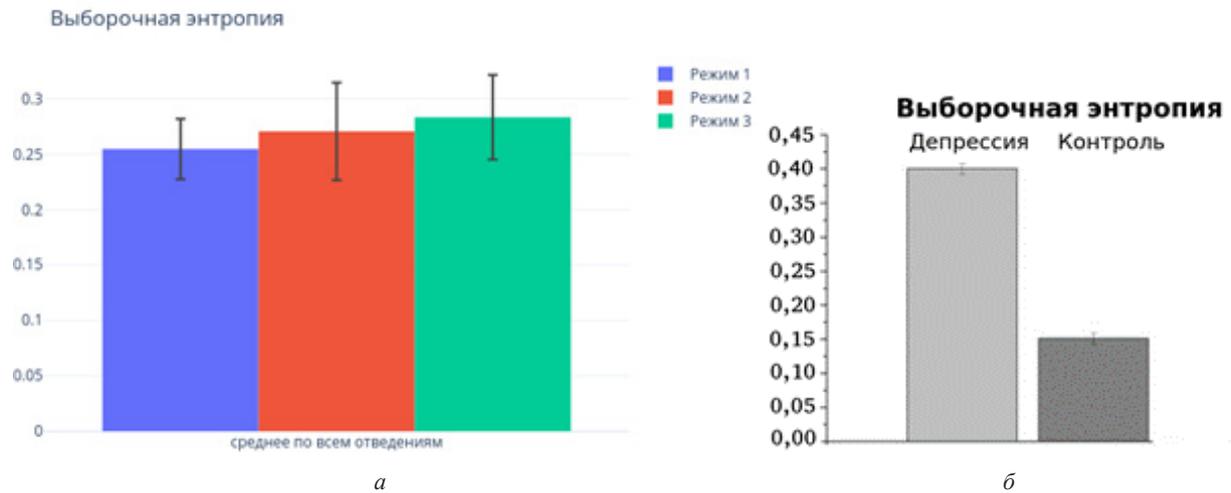


Рисунок 7. Гистограммы распределения фрактальной размерности элект, усредненной по всем отведениям ЭЭГ оператора в режимах 1, 2 и 3 (а) и в состоянии депрессии (б)

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что большинство параметров подтверждают появление депрессии у испытуемых в режимах 2 и 3.

*Страх.* Оценим, испытывает ли оператор страх либо какую-то эмоцию с использованием информационного параметра фрактальной размерности некоторых электроэнцефалограмм. Фрактальная

размерность электроэнцефалограмм, исследованных нами, в режимах 1, 2 и 3 изменялась как показано на рисунке 3а.

Из литературных источников известно, что, фрактальная размерность электроэнцефалограмм изменялась при просмотре нейтрального видео; страшного видео; смешного видео; видео, вызывающего отвращение, как показано на рисунке 8 [17].

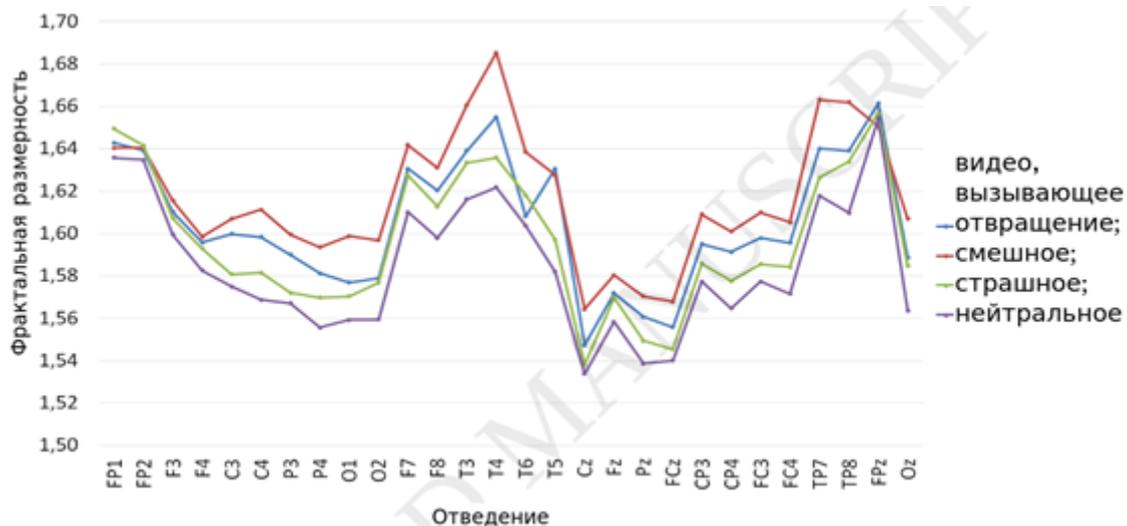


Рисунок 8. Изменение значения параметра фрактальной размерности электроэнцефалограмм при просмотре видео разной эмоциональной направленности

Анализируя информацию, приведенную на данном рисунке, из литературных источников можно сделать заключение, что если фрактальная размерность электроэнцефалограмм увеличивалась не более, чем на 1,2 % от фона – человек испытывал страх, если фрактальная размерность электроэнцефалограмм росла на 3,2 % от фона – человек испытывал отвращение, а если увеличивалась до

3,9 % от фона – человеку было смешно. Анализируя рисунки 3а и 8, можно видеть, что фрактальная размерность электроэнцефалограмм, исследуемых нами, в режиме 2 росла не более, чем на 0,2 % от значения в режиме 1, и не более чем на 0,4 % от значения в режиме 1 при действии излучения в режиме 3. В связи с этим можно сделать заключение, что человек испытывает страх в режиме 2 и 3.

### Заклучение

Проведен комплекс экспериментальных исследований и проанализированы электроэнцефалограммы отведений Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz, Oz человека. Приведены полученные результаты для 10 испытуемых после воздействия на них а электромагнитного шумового излучения в диапазоне частот WiFi 2400–2500 МГц и 5150–5350 МГц в пределах нормы и выше нормы. Изменения большинства ко-

личественных параметров электроэнцефалограмм (спектральной плотности мощности тета-, альфа-, гамма-ритмов, выборочной энтропии, сложности Лемпеля-Зива, фрактальной размерности) указывают на наличие депрессии и страха в результате воздействия генератора электромагнитного шума как в пределах нормы, так и выше нормы. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости контроля психоэмоционального состояния оператора при работе в зоне воздействия электромагнитного шумового излучения диапазона WiFi.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Sidorenko, A.V.** Assessing the effect of electromagnetic noise radiation on the central nervous system using non-linear parameters of the electroencephalogram / A.V. Sidorenko, M.A. Saladukha // *Nonlinear Dynamics and Applications*. – 2019. – Vol. 25. – Pp. 231-240.
2. **Сидоренко А.В., Солодухо Н.А.** Исследование эмоции страха оператора при воздействии электромагнитного шумового излучения / А.В. Сидоренко, Н.А. Солодухо // *Нейронаука для медицины и психологии, Материалы 15-ого международного междисциплинарного конгресса, Судак, 30 мая-10 июня 2019 г.* – Судак, 2019. – С. 375-376. doi: <https://doi.org/10.29003/m553.sudak.ns2019-15/375-376>
3. **Сидоренко, А.В.** Оценка депрессивного состояния оператора мобильной системы при наличии генератора электромагнитных шумовых излучений и человека при некоторых патологиях / А.В. Сидоренко, Н.А. Солодухо // *Нейронаука для медицины и психологии : тез. докл. 19-ого международного междисциплинарного конгресса, Судак, 30 мая-10 июня 2023 г.* / Российское Физиологическое Общество им. и.п. Павлова [и др.] – Судак, 2023. – С. 256. doi: <https://doi.org/10.29003/m3368.sudak.ns2023-19/256-257>
4. **Санитарные нормы и правила «Требования к электромагнитным излучениям радиочастотного диапазона при их воздействии на человека»** [Электронный ресурс] : постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 5 марта 2015 г., № 23 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21529716p&p1=1> . – Дата доступа: 10.10.2023.
5. **Harne, B.P.** Higuchi Fractal Dimension Analysis of EEG Signal before and after OM Chanting to Observe Overall Effect on Brain / B.P. Harne // *IJECE*. – 2014. – Vol. 4, № 4. – Pp. 585-592. doi: <http://dx.doi.org/10.11591/ijece.v4i4.5800>
6. **Richman, J.S.** Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy / J.S. Richman and J.R. Moorman // *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* – 2000. – Vol. 278, № 6. – Pp. 2039-2049. doi: 10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039
7. **Petrov, L.A.** On the Applicability of Nonlinear Time series Methods for Partial Discharge Analysis / L. A. Petrov, P.L. Lewin, T. Czaszejko // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. – 2014. – Vol. 21. – Pp. 284-293. doi: 10.1109/TDEI.2013.003983
8. **Oostenveld, Robert.** The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements / Robert Oostenveld, Peter Praamstra // *Clinical Neurophysiology*. – 2001. – Vol. 112. – Pp. 713-719. doi: 10.1016/S1388-2457(00)00527-7
9. **Подавитель Скорпион Wi-Fi – 15** [Электронный ресурс] // Интернет магазин mrGadget.by. Режим доступа: <https://mrgadget.by/product/podavitel-scorpion-wi-fi---15/> Дата доступа 10.10.2023
10. **Сидоренко, А.В.** Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов / А.В. Сидоренко. - Мн.: БГУ, 2003. - 187 с.
11. **Aleksic, Z.** Estimating the embedding dimension / Z. Aleksic // *Physica D*. – 1991. – Vol. 52. – Pp. 362-368. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(91\)90132-S](https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90132-S)
12. **Das, J.** Resting State Quantitative Electroencephalogram Power Spectra in Patients with Depressive Disorder as Compared to Normal Controls: An Observational Study / J. Das, Sh. Yadav // *Indian Journal of Psychological Medicine*. – 2020. – Vol. 42, iss. 1. – Pp. 30-38. doi: 10.4103/IJPSYM.IJPSYM\_568\_17
13. **Bachmann, M.** Spectral Asymmetry and Higuchi's Fractal Dimension Measures of Depression Electroencephalogram / Maie Bachmann [et al.] // *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. – 2013. – Vol. 2013. – Pp. 251638-1-251638-8. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/251638>
14. **Čukić M.** EEG machine learning with Higuchi's fractal dimension and Sample Entropy as features for successful detection of depression / Milena Čukić [et. al.] // *arXiv.org* [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://arxiv.org/abs/1803.05985> – Date of access : 26.04.2021.

15. **Cerquera, A.** Nonlinear Recurrent Dynamics and Long-Term Nonstationarities in EEG Alpha Cortical Activity: Implications for Choosing Adequate Segment Length in Nonlinear EEG Analyses / A. Cerquera, M. A. Vollebregt, M. Arns // *Clin EEG Neurosci.* – 2018. – Vol. 49, № 2. – Pp. 71-78. **doi:** 10.1177/1550059417724695
16. **Čukić M.** Nonlinear analysis of EEG complexity in episode and remission phase of recurrent depression / Milena Čukić [et al.] // *Int J Methods Psychiatr Res.* – 2020. – Vol. 29, № 2. – Pp. 1-11. **doi:** 10.1002/mpr.1816
17. **Ruiz Padial, E.** Fractal dimension of EEG signals and heart dynamics in discrete emotional states / E. Ruiz Padial and A.J. Ibáñez-Molina // *Biol Psychol.* – 2018. – Vol. 137. – Pp. 42-48. **doi:** 10.1016/j.biopsycho.2018.06.008

## REFERENCES

1. **Sidorenko, A.V.** Assessing the effect of electromagnetic noise radiation on the central nervous system using non-linear parameters of the electroencephalogram / A.V. Sidorenko, M.A. Saladukha // *Nonlinear Dynamics and Applications.* – 2019. – Vol. 25. – Pp. 231-240.
2. **Sidorenko, A.V., Solodukho N. A.** Investigation of fear emotion of the operator influenced by electromagnetic noise radiation / A.V. Sidorenko, N.A. Solodukho // *Materials of XV International Interdisciplinary Congress Neuroscience For Medicine And Psychology, Sudak, 30 may-10 june 2019 – Sudak, 2019.* – Pp. 375-376. **doi:** <https://doi.org/10.29003/m553.sudak.ns2019-15/375-376>
3. **Sidorenko, A.V.** Assessment of the depressive state of a mobile system operator in the presence of a generator of electromagnetic noise emissions and person in some pathologies / A.B. Сидоренко, Н.А. Солодухо // *Materials of XIX International Interdisciplinary Congress Neuroscience For Medicine And Psychology, Sudak, 30 may-10 june 2023.* – Sudak, 2023. – P. 256. **doi:** <https://doi.org/10.29003/m3368.sudak.ns2023-19/256-257>
4. **Sanitarnye normy i pravila «Trebovanija k jelektromagnitnym izluchenijam radiochastotnogo diapazona pri ih vozdejstvii na cheloveka»** [Electronic resource] : postanovlenie Ministerstva zdravooхранeniya Resp. Belarus', 5 marta 2015 g., № 23 // *Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'*. Mode of access : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21529716p&p1=1> . – Date of access: 10.10.2023.
5. **Harne, B.P.** Higuchi Fractal Dimension Analysis of EEG Signal before and after OM Chanting to Observe Overall Effect on Brain / B.P. Harne // *IJECE.* – 2014. – Vol. 4, № 4. – Pp. 585-592. **doi:** <http://dx.doi.org/10.11591/ijece.v4i4.5800>
6. **Richman, J.S.** Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy / J.S. Richman and J.R. Moorman // *Am.J.Physiol.HeartCirc.Physiol.* – 2000. – Vol. 278, № 6. – Pp. 2039-2049. **doi:** 10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039
7. **Petrov, L.A.** On the Applicability of Nonlinear Time series Methods for Partial Discharge Analysis / L.A. Petrov, P.L. Lewin, T. Czaszejko // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.* – 2014. – Vol. 21. – Pp. 284-293. **doi:** 10.1109/TDEI.2013.003983
8. **Oostenveld, Robert.** The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements / Robert Oostenveld, Peter Praamstra // *Clinical Neurophysiology.* – 2001. – Vol. 112. – Pp. 713-719. **doi:** 10.1016/S1388-2457(00)00527-7
9. **Podavitel' Skorpion Wi-Fi – 15** [Electronic resource]. Internet magazin mrGadget.by. Mode of access : <https://mrgadget.by/product/podavitel-skorpion-wi-fi---15/> Date of access: 10.10.2023
10. **Sidorenko, A.V.** Metody informacionnogo analiza biojelektricheskikh signalov. Mn.: BSU, 2003. – 187 p.
11. **Aleksic, Z.** Estimating the embedding dimension / Z. Aleksic // *Physica D.* – 1991. – Vol. 52. – Pp. 362-368. **doi:** [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(91\)90132-S](https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90132-S)
12. **Das, J.** Resting State Quantitative Electroencephalogram Power Spectra in Patients with Depressive Disorder as Compared to Normal Controls: An Observational Study / J. Das, Sh. Yadav // *Indian Journal of Psychological Medicine.* – 2020. – Vol. 42, iss. 1. – Pp. 30-38. **doi:** 10.4103/IJPSYM.IJPSYM\_568\_17
13. **Spectral Asymmetry and Higuchi's Fractal Dimension Measures of Depression Electroencephalogram / Maie Bachmann [et al.]** // *Computational and Mathematical Methods in Medicine.* – 2013. – Vol. 2013. – Pp. 251638-1-251638-8. **doi:** <https://doi.org/10.1155/2013/251638>
14. **EEG machine learning with Higuchi's fractal dimension and Sample Entropy as features for successful detection of depression** / Milena Čukić [et. al.] // *arXiv.org* [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://arxiv.org/abs/1803.05985> – Date of access : 26.04.2021.
15. **Cerquera, A.** Nonlinear Recurrent Dynamics and Long-Term Nonstationarities in EEG Alpha Cortical Activity: Implications for Choosing Adequate Segment Length in Nonlinear EEG Analyses / A. Cerquera, M.A. Vollebregt, M. Arns // *Clin EEG Neurosci.* – 2018. – Vol. 49, № 2. – Pp. 71-78. **doi:** 10.1177/1550059417724695
16. **Nonlinear analysis of EEG complexity in episode and remission phase of recurrent depression** / Milena Čukić [et al.] // *Int J Methods Psychiatr Res.* – 2020. – Vol. 29, № 2. – Pp. 1-11. **doi:** 10.1002/mpr.1816
17. **Ruiz Padial, E.** Fractal dimension of EEG signals and heart dynamics in discrete emotional states / E. Ruiz Padial and A.J. Ibáñez-Molina // *Biol Psychol.* – 2018. – Vol. 137. – Pp. 42-48. **doi:** 10.1016/j.biopsycho.2018.06.008

SIDORENKO A.V., SALADUKHA M.A.

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC NOISE RADIATION IN THE WIFI RANGE ON THE EMOTIONAL STATE OF THE OPERATOR

Belarusian State University  
Minsk, Republic of Belarus

. Experimental studies of electroencephalograms of an operator located in conditions of electromagnetic noise radiation in the WiFi range were carried out. Electroencephalograms were recorded in standard leads Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz. The quantitative parameters of the operator's emotional state, expressed by the power spectral density of the rhythmic components of the brain, as well as such information parameters as sample entropy, fractal dimension, Lempel-Ziv complexity, averaged for 10 subjects, were analyzed. It has been shown that when exposed to radiation, the operator experiences depression. It has been shown that the trend of changes in the parameters of the spectral power density of theta, alpha, gamma rhythms, fractal dimension, Lempel-Ziv complexity, sample entropy in most leads of electroencephalograms coincides with the trend of changes in these parameters presented in the scientific literature in depression. It has been established that the operator experiences fear, which is determined by an increase in the fractal dimension parameter of electroencephalograms by no more than 0.4% relative to the background

**Keywords:** noise, man, radiation, WiFi, electroencephalogram, emotions, depression, fear



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

**E-mail:** sidorenkoa@yandex.by



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