

УДК 577.3.043

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ШУМОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

А.В. СИДОРЕНКО

Белорусский государственный университет, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 15 ноября 2018

Аннотация. Рассмотрены вопросы определения функционального состояния центральной нервной системы и эмоционального состояния оператора, находящегося в условиях воздействия электромагнитного излучения генератора шума. Предложены методы, обработаны и проанализированы на основе хаотической динамики электроэнцефалограммы регламентированных отведений. Описаны результаты анализа электроэнцефалограмм.

Ключевые слова: функциональное состояние, центральная нервная система, эмоциональное состояние, количественные параметры, оценка.

The consider issues of the functional state of central nervous system and emotion state of operator, subjected by oscillator electromagnetic noise radiation, were developed. The proposed methods, processed and analyzed the electroencephalograms, based on chaotic dynamics, were used. The results of analyzing the electroencephalograms were described.

Keywords: functional state, central nervous system, emotion state, numerous parameters, estimation.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 117, No. 7, pp. 118-122

Assessment of the operator well-being in conditions electromagnetic noise radiations

A.V. Sidorenko

Введение

Применение компьютерной техники для обработки информации ограниченного распространения предполагает обеспечение ее защиты от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений. Маскировка побочных электромагнитных излучений персональных компьютеров, рабочих станций компьютерных сетей и комплексов осуществляется путем формирования излучения в широком диапазоне частот при использовании генераторов электромагнитного зашумления.

При выборе средств защиты информации, в основе которых лежит излучение электромагнитного шума в широком диапазоне частот, полностью отсутствуют средства и способы защиты, действие которых направлены на защиту персонала от вредного влияния электромагнитных излучений генератора шума и обеспечения электромагнитной совместимости. В научной литературе практически отсутствует информация о критериях оценки степени воздействия электромагнитных шумовых излучений на оператора.

Актуальным является решение комплексной задачи определения функционального состояния центральной нервной системы и эмоционального состояния оператора (отражением которых является электроэнцефалограмма) на основе нелинейной хаотической динамики.

В процессе работы проводилось определение количественных показателей функционального состояния центральной нервной системы: корреляционной размерности d , энтропии Колмогорова K и показателей эмоционального состояния оператора: активности A и эмоциональной валентности V .

Методы анализа электроэнцефалограмм

Оценка функционального состояния центральной нервной системы и его динамики при действии электромагнитного шумового излучения и в фоне проводится с использованием анализа изменений в биоэлектрической активности мозга методом нелинейной динамики – методом задержанной координаты [1]. Преимущества этого метода заключаются в определении двух количественных параметров: корреляционной размерности d и энтропии Колмогорова K для оценки изменений в работе мозга, что, в отличие от традиционных методов анализа на основе преобразований Фурье, позволяет выявить особенности, обусловленные быстротой реакции на внешние воздействия.

Временная реализация электроэнцефалограммы представляется в виде последовательности чисел x_1, x_2, \dots, x_n , где $x_n = x(n\tau)$, τ – время выборки, n – целое число.

Эта последовательность порождает m -мерные векторы, лежащие в m -мерном фазовом пространстве $\vec{x}_i^T = (x_i, \dots, x_{i+m-1})$, где T – знак транспонирования.

Состояние системы в реконструированном m -мерном фазовом пространстве определяется m -размерными точками для каждой временной реализации $x(t)$: $xim = (m1/2)(x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1})$. Корреляционная размерность d определяется $d = \lim_{r \rightarrow 0} [\lg(C_m(r) / \lg(r))]$, где $C_m(r)$ – корреляционный интеграл, r – размер ячейки разбиения, или коэффициент подобия.

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

Корреляционный интеграл записывается $C_m(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N \theta(r - |\vec{x}_i - \vec{x}_j|)$, где $\theta = 0$ при $t < 0$, $\theta = 0,5$ при $t = 0$, $\theta = 1$ при $t \geq 0$, θ – функция Хевисайда, N – число точек, используемых для оценки размерности.

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

Эмоциональные состояния представляют собой психические состояния, которые возникают в процессе жизнедеятельности субъекта и определяют не только уровень информационно-энергетического обмена, но и направленность поведения.

Эмоциональное состояние человека может быть оценено такими количественными параметрами, как эмоциональная валентность и активность [2, 3]. Измеряемыми показателями, на основе которых определяется активность и эмоциональная валентность, являются спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм в отведениях: $F_{pz}, F3, F4$ и бета-ритма электроэнцефалограммы в отведениях: F_{pz} . Активность отображает степень расслабленности или возбуждения человека.

Активность A рассчитывается как отношение спектральной плотности мощности бета-ритма к спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения F_{pz} .

$A = I_{Fpz\beta} / I_{Fpz\alpha}$ где $I_{Fpz\beta}$ – спектральная плотность мощности бета-ритма электроэнцефалограммы отведения F_{pz} , $I_{Fpz\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения F_{pz} .

Эмоциональная валентность отражает позитивность или негативность испытываемой эмоции. Чем больше эмоциональная валентность, тем приятнее испытываемая эмоция.

Эмоциональная валентность рассчитывается как отношение спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения $F3$ к спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения $F4$: $V = I_{F3\alpha} / I_{F4\alpha}$, где $I_{F3\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения $F3$, $I_{F4\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения $F4$.

Методика проведения исследований

Регистрация электроэнцефалограмм осуществлялась по регламентированной схеме «10/20» с использованием электроэнцефалографа «Нейрокартограф» фирмы МВН.

Обработка и анализ электроэнцефалограмм проводились в разработанной нами информационно-измерительной системе, модифицированной и адаптированной для работы с электроэнцефалограммами [1]. Объектом исследований являлись электроэнцефалограммы следующих отведений: F_{p1} , F_{p2} , $F3$, $F4$, $P3$, $P4$, $T3$, $T4$, F_{pz} . Сигнал отведения F_{pz} был получен усреднением соответствующих значений сигналов отведений F_{p1} и F_{p2} . 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, гамма-ритм 20–40 Гц.

Результаты и их обсуждение

В процессе проведения экспериментальных исследований под влиянием электромагнитного шумового излучения было установлено возрастание корреляционной размерности электроэнцефалограмм соответствующих отведений. Гистограмма распределения корреляционной размерности исследуемых электроэнцефалограмм приведена на рис. 1.

В отведении F_{pz} корреляционная размерность электроэнцефалограммы относительно фона практически не изменилась; в отведении F_{p1} – также изменилась незначительно (уменьшилась на 0,2 % относительно фона); в отведении F_{p2} – возросла относительно фона на 2,2 %. Вариации корреляционной размерности исследуемых электроэнцефалограмм в отведениях: $F3$, $F4$, $P3$, $P4$, $T4$ в сторону увеличения наблюдались в диапазоне от 1,7 до 4,9 %. Отмечается значительное увеличение корреляционной размерности электроэнцефалограммы, зарегистрированной в отведении $T3$, которое составляет 37,5 %.



Рис. 1. Гистограммы распределения корреляционной размерности исследуемых электроэнцефалограмм при воздействии генератора электромагнитного шума

Энтропии Колмогорова электроэнцефалограмм, зарегистрированных в указанных выше отведениях, представлены в виде гистограмм распределения на рис. 2.

Анализ показал, что при действии электромагнитного шумового излучения происходит возрастание энтропии Колмогорова исследованных электроэнцефалограмм. В количественном отношении это составило: в отведении F_{pz} энтропия Колмогорова увеличилась в 2,4 раза относительно фона; в отведении F_{p1} – возросла в 5,3 раза относительно фона; в отведении F_{p2} – увеличилась на 75,4 % относительно фона. Для левого полушария наблюдается большее увеличение этого параметра, чем для правого. В частности, в электроэнцефалограммах отведений $F3$ энтропия Колмогорова возросла в 5,1 раз относительно фона; в отведении $P3$ энтропия Колмогорова возросла в 4,4 раза относительно фона; в отведении $T3$ энтропия Колмогорова увеличилась в 6,9 раз. В правом же полушарии головного мозга в отведении $F4$

увеличение энтропии Колмогорова в исследованных электроэнцефалограммах относительно фона составило 37,4 %; в отведении $P4$ прирост энтропии Колмогорова электроэнцефалограмм составил 14,9 %; в отведении $T4$ энтропия Колмогорова на 39,6 % превысило значение, полученное для фона. Особенностью гистограммы является значительное увеличение энтропии Колмогорова электроэнцефалограммы отведения $T4$ при воздействии электромагнитного шумового излучения.

Вариации параметров эмоционального состояния оператора при действии излучения генератора шума приведены на рис. 3.



Рис. 2. Гистограммы распределения энтропии Колмогорова исследуемых электроэнцефалограмм при воздействии генератора электромагнитного шума

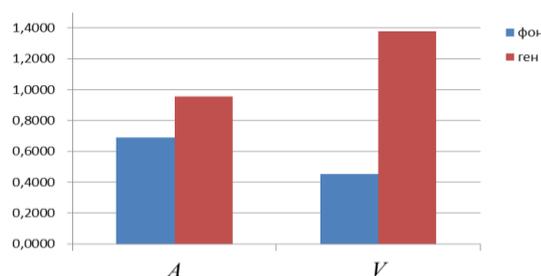


Рис. 3. Вариации активности A и эмоциональной валентности V оператора при действии электромагнитного шумового излучения

Значение параметра эмоциональной валентности V при воздействии электромагнитного шумового излучения увеличилось более чем в 3 раза относительно фона, а активность A соответственно на 38,3 % относительно фона. Это является подтверждением положительных эмоций, что свидетельствует о появлении возбуждения.

Заключение

Проведен комплекс экспериментальных исследований электроэнцефалограмм здоровых лиц при воздействии электромагнитного шумового излучения на организм человека. Выявлены структурные особенности электроэнцефалограмм и определены количественные показатели функционального состояния центральной нервной системы в виде корреляционной размерности d и энтропии Колмогорова K при сравнительном анализе электроэнцефалограмм до и после обучения. Отмечается значительное увеличение корреляционной размерности электроэнцефалограммы, зарегистрированной в отведении $T3$, которое составило 37,5 %. Изменение количественных параметров – эмоциональной валентности и активности показывают, что при действии электромагнитного шумового излучения оператор испытывает возбуждение, получает положительные эмоции. Интерпретация полученных результатов основана на литературных источниках [2, 3].

Полученные результаты носят предварительный характер, т. е. необходимо углубленное изучение реакции систем организма человека для обеспечения работы оператора мобильных систем в условиях электромагнитного шумового излучения при реализации технических средств защиты информации.

Список литературы

1. Сидоренко А.В. Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов. Минск: БГУ, 2003. 187 с.
2. Danny Oude Bos. EEG-based emotion recognition. The influence of visual and auditory stimuli // *Capita Selecta*. University of Twente. 2006. P. 1–17.
3. Francesca M.M. Emotional valence and arousal affect reading in an interactive way: neuroimaging evidence for an approach-withdrawal framework // *Neuropsychologia*. 2014. Vol. 56. P. 79–89.

References

1. Sidorenko A.V. Metody informacionnogo analiza bioelektricheskikh signalov. Minsk: BGU, 2003. 187 s. (in Russ.)
2. Danny Oude Bos. EEG-based emotion recognition. The influence of visual and auditory stimuli // *Capita Selecta*. University of Twente. 2006. P. 1–17.
3. Francesca M.M. Emotional valence and arousal affect reading in an interactive way: neuroimaging evidence for an approach-withdrawal framework // *Neuropsychologia*. 2014. Vol. 56. P. 79–89.

Сведения об авторе

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

Information about the author

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

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
Минск, пр. 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, Nezavisivosti ave., 4
Belarusian state university
tel. +375-29-339-14-30;
e-mail: sidorenkoa@yandex.ru
Сидоренко Алевтина Васильевна