УДК 577.3.043

ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОПЕРАТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ШУМОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. СИДОРЕНКО, Н.А. СОЛОДУХО

Белорусский государственный университет, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 9 июля 2018

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования электроэнцефалограмм оператора, находящегося в условиях электромагнитного шумового излучения. Электроэнцефалограммы регистрировались в стандартных отведениях. Проанализированы количественные параметры эмоционального состояния оператора, оцениваемые по спектральной плотности мощности ритмических компонент мозга, в виде эмоциональной валентности и активности. Показано, что при действии излучения происходит возрастание эмоциональной валентности и активности, что можно интерпретировать как появление положительных эмоций.

Ключевые слова: излучение, шум, электроэнцефалограмма, эмоции, реакция, человек.

Abstract. The experimental investigations of operator electroencephalograms subjected by electromagnetic noise radiation were carried out. The electroencephalograms were registrated according to international «10/20» system. The numerical parameters as arousal and emotion valence characterized the emotion state of operator were estimated. The definition of these parameters based on spectral power densities of rhythms brain components. These parameters were estimated as developed positive emotions.

Keywords: radiation, noise, electroencephalogram, emotion, reaction, human.

Doklady BGUIR. 2019, Vol. 122, No. 4, pp. 5-10
Emotion state of operator subjected by electromagnetic noise radiation
A.V. Sidorenko, N.A. Solodyuho

Введение

Развитие технологий в современном мире способствует появлению устройств, приводящих к появлению электромагнитного излучения в повседневной жизни человека, в том числе и шумового. Примерами таких устройств являются планшеты, мобильные телефоны, смартфоны, телевизоры, СВЧ печи, тюнеры, усилители в быту. Отдельно можно выделить компьютеры и коммуникационное оборудование – коммутаторы, маршрутизаторы.

В научной литературе описаны результаты проведенного авторами цикла исследований по влиянию на человека излучений мобильной связи [1] и иных форм электромагнитного излучения на центральную нервную [2, 3] и другие системы организма человека [4]. Неоднозначность интерпретации экспериментальных результатов воздействия электромагнитного излучения на деятельность центральной нервной системы [2, 3, 6] требует дальнейших исследований.

При функционировании мобильных технических систем для защиты обрабатываемой информации от несанкционированного доступа по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок используются пассивные и активные методы: экраны из радиопоглощающих материалов и используемые для маскирования побочных излучений генераторы шума соответственно. При использовании для маскировки побочных электромагнитных излучений генераторов шума оператор, осуществляющий обработку, формирование и передачу информации, оказывается под воздействием этих излучений.

В работе [7] проводится анализ полученных экспериментальных результатов при воздействии электромагнитного шумового излучения на оператора. Показано, что под воздействием излучения происходит увеличение количественных параметров динамики электроэнцефалограмм (ЭЭГ): корреляционной размерности и энтропии Колмогорова, что свидетельствует об активации процессов в мозге и снижении устойчивости динамической, восстановленной по регистрируемым потенциалам. В связи с этим интерес представляет определение эмоционального состояния оператора, находящегося в условиях электромагнитного шумового излучения.

Целью работы является исследование воздействия электромагнитного шумового излучения, генерируемого сверхширокополосным генератором, на эмоциональное состояние оператора, оцениваемое изменением спектральной плотности мощности биоэлектрического сигнала – электроэнцефалограммы.

В процессе работы проводилось определение количественных показателей эмоционального состояния человека: эмоциональной валентности и активности; вариаций спектральной плотности мощности электроэнцефалограмм левого и правого височных отведений (*T*3 и *T*4, соответственно), являющихся показателями эмоций в виде радости или отвращения, а также комплексное изучение спектральной плотности мощности тета-, альфа-, бета-, гамма-ритмов электроэнцефалограмм в отведениях *Fp*1, *Fp*2, *F*3, *F*4, *P*3, *P*4, *T*3, *T*4, являющихся показателями эмоций в виде радости или гнева.

Методы анализа эмоционального состояния человека по электроэнцефалограммам

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

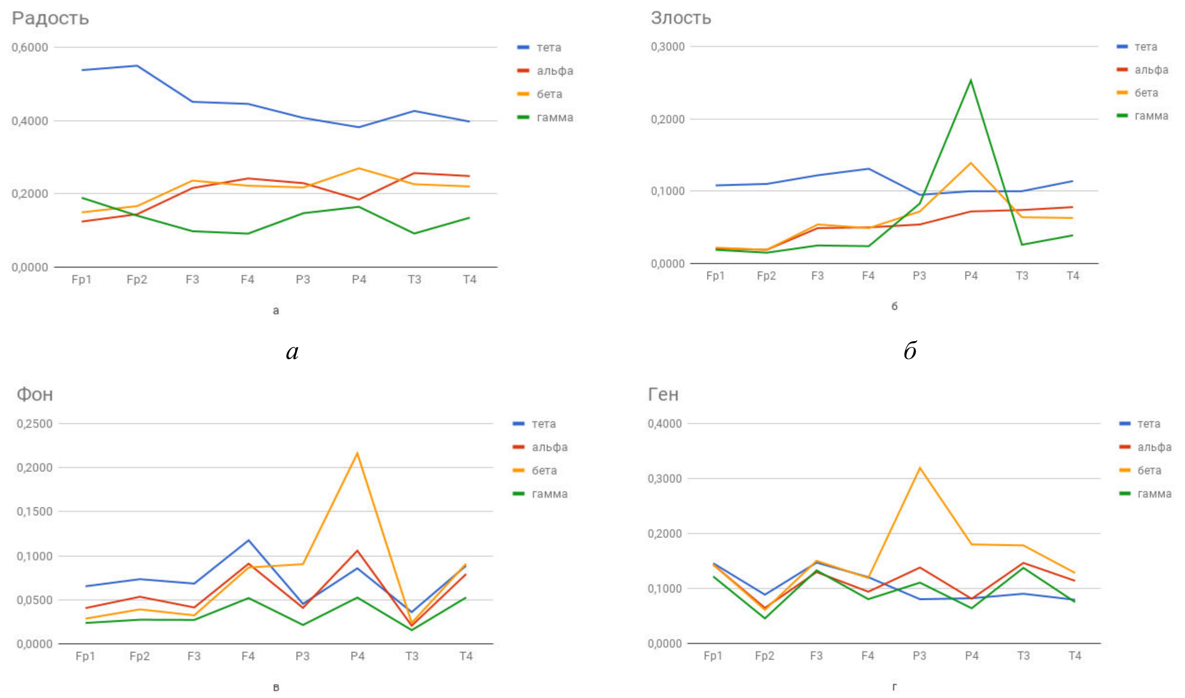
Эмоциональное состояние человека может быть оценено такими количественными параметрами, как эмоциональная валентность и активность. Измеряемыми показателями, на основе которых определяется активность и эмоциональная валентность, являются спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм в отведениях *Fpz*, *F*3, *F*4 и бета-ритма электроэнцефалограммы в отведении *Fpz*. 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 *Fpz*. $A = I_{Fpz\beta}/I_{Fpz\alpha}$, где $I_{Fpz\beta}$ – спектральная плотность мощности бета-ритма электроэнцефалограммы отведения *Fpz*, $I_{Fpz\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения *Fpz*.

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 *F*3 к спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения *F*4: $V = I_{F3\alpha}/I_{F4\alpha}$, где $I_{F3\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения *F*3, $I_{F4\alpha}$ – спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы отведения *F*4 [8].

Для оценки того, испытывает ли человек радость или отвращение, могут быть использованы электроэнцефалограммы левого и правого височных отведений *T*3 или *T*4 соответственно. Если значение спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы у левого височного отведения $I_{T3\alpha}$ выше, чем у правого $I_{T4\alpha}$, то человек испытывает отвращение; если же значение спектральной плотности мощности альфа-ритма электроэнцефалограммы выше у правого отведения $I_{T4\alpha}$, чем у левого $I_{T3\alpha}$, то человек испытывает радость [9].

Возможна оценка эмоций, испытывает человек радость или злость, при использовании спектральной плотности мощности тета-, альфа-, бета-, гамма-ритмов электроэнцефалограмм в отведениях *Fp*1, *Fp*2, *F*3, *F*4, *P*3, *P*4, *T*3, *T*4, (рис. 1, *а*, *б*) [10].



а *б*

в *г*

Рис. 1. Изменения спектральных плотностей мощности тета-, альфа-, бета-, гамма-ритмов электроэнцефалограмм различных отведений при радости (*а*), злости (*б*), а также в фоновом режиме (*г*) и при действии электромагнитного шумового излучения (*г*)

Кроме перечисленных, существуют также способы интерпретации эмоций, например, на основе извлечения вызванных потенциалов; получаемые при множественном вейвлет-преобразовании; при эмпирическом разложении на моды; при использовании метода опорных векторов.

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 [11]. Объектом исследований являлись электроэнцефалограммы следующих отведений *Fp*1, *Fp*2, *F*3, *F*4, *P*3, *P*4, *T*3, *T*4, *Fpz*. Сигнал отведения *Fpz* был получен усреднением соответствующих значений сигналов отведений *Fp*1 и *Fp*2. 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

Анализ вариаций спектральной плотности мощности тета-, альфа-, бета-, гамма-ритмов электроэнцефалограмм проводились в отведениях: *Fp*1, *Fp*2, *F*3, *F*4, *P*3, *P*4, *T*3, *T*4 (рис. 1). В фоновом режиме и режиме при наличии излучения наблюдается всплеск бета-ритма в электроэнцефалограммах теменной области (отведения *P*3 и *P*4), характерный для злости. Следует отметить, что при действии шумового излучения всплеск находится в электроэнцефалограмме отведения *P*3, а в фоновом режиме – в электроэнцефалограмме отведения *P*4, т. е. наблюдается сдвиг в левую теменную область головы по отношению к фону. При сравнении тета-ритма фонового режима и режима с излучением отмечено возрастание спектральной плотности мощности тета-ритма в режиме электромагнитного шумового излучения. Такая же тенденция наблюдается для бета-, гамма-, альфа-ритмов. При сравнении спектральной плотности мощности гамма-ритма для радости и злости с аналогичным ритмом при наличии генератора шума наблюдается картина, близкая к появлению радости, в отличие от фонового режима. Сравнительный анализ, проведенный по уровню спектральной плотности мощности тета- и альфа-ритмов при наличии генератора шума и в фоне, показывает наличие эмоции, характерной для злости.

Под воздействием электромагнитного шумового излучения наблюдаемые изменения спектральной плотности мощности альфа-ритма сводились к следующему (рис. 2).

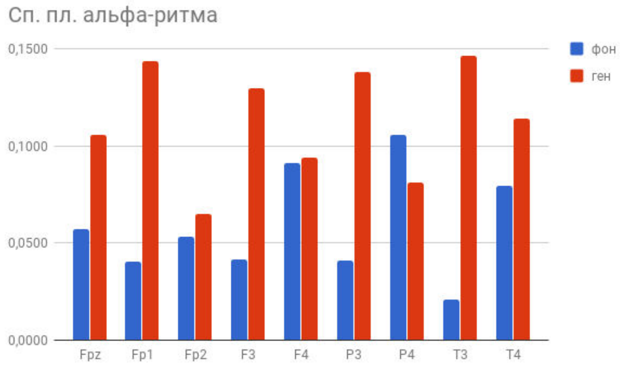


Рис. 2. Спектральная плотность мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм различных отведений

В отведении *Fpz* спектральная плотность мощности электроэнцефалограммы при наличии генератора шума увеличилась на 85,5 % относительно фона; в отведении *Fp*1 спектральная плотность мощности электроэнцефалограммы увеличилась более чем в 3,5 раза относительно фона; в отведении *Fp*2 спектральная плотность мощности электроэнцефалограммы при действии излучения возросла на 21,0 % относительно фона. В отведении *F*3 спектральная плотность мощности электроэнцефалограммы выросла более чем в 3,1 раза относительно фона; в отведении *F*4 прирост спектральной плотности мощности электроэнцефалограммы при наличии генератора шума составил 3,4 % относительно фона. В отведении *P*3 спектральная плотность мощности электроэнцефалограммы увеличилась почти в 3,4 раза относительно фона; в отведении *P*4 спектральная плотность мощности электроэнцефалограммы при наличии генератора шума уменьшилась на 23,1 % относительно фона. В отведении *T*3 спектральная плотность мощности электроэнцефалограммы возросла более чем в 7,1 раза относительно фона; в отведении *T*4 прирост спектральной плотности мощности электроэнцефалограммы при наличии генератора шума составил 423,8 % относительно фона. Возрастание альфа-ритма электроэнцефалограмм почти во всех отведениях может свидетельствовать об увеличении степени расслабленности человека и уменьшении зрительной активности под воздействием генератора шума.

Под влиянием генератора шума происходили следующие изменения спектральной плотности мощности бета-ритма (рис. 3).

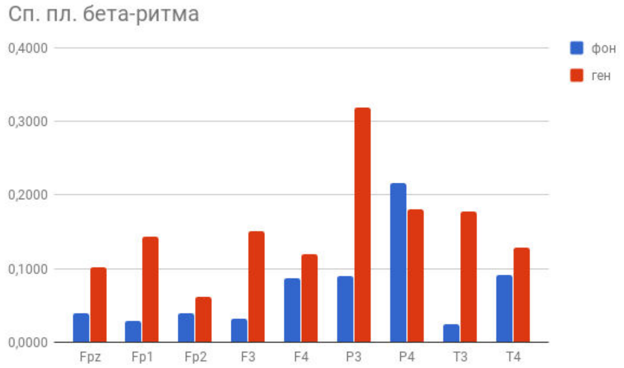


Рис. 3. Спектральная плотность мощности бета-ритма

В отведении *Fpz* спектральная плотность мощности анализируемого ритма электроэнцефалограммы при наличии шумового излучения возросла почти в 2,6 раза относительно фона; в отведении *Fp*1 спектральная плотность мощности ритма электроэнцефалограммы увеличилась более чем в 5 раз относительно фона; в отведении *Fp*2 спектральная плотность мощности анализируемого ритма электроэнцефалограммы при наличии шумового сигнала возросла на 56,1 %. В отведении *P*3 спектральная плотность мощности бета-ритма электроэнцефалограммы увеличилась более чем в 3,5 раза относительно фона; в отведении *P*4 значение спектральной плотности мощности бета-ритма электроэнцефалограммы при наличии генератора шума снизилось на 16,7 % относительно фона. В отведении *T*3 анализируемый параметр электроэнцефалограммы вырос почти в 3,5 раза относительно фона; в отведении *T*4 прирост спектральной плотности мощности бета-ритма электроэнцефалограммы при наличии генератора шума составил 41,0 % относительно фона. Увеличение мощности бета-компонент электроэнцефалограммы в научной литературе рассматривается как один из показателей скрытой тревоги, характерной для расстройств, связанных с ней.

Рассмотренные выше вариации спектральной плотности мощности различных ритмов головного мозга позволили определить изменения эмоционального состояния (рис. 4).

а *б*

Рис. 4. Вариации активности (*а*) и эмоциональной валентности (*б*) оператора при действии электромагнитного шумового излучения

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

Заключение

Проведен комплекс экспериментальных исследований электроэнцефалограмм отведений *Fp*1, *Fp*2, *F*3, *F*4, *P*3, *P*4, *T*3, *T*4, *Fpz* при действии электромагнитного шумового излучения. Изменение количественных параметров (эмоциональной валентности и активности) показывает, что при действии электромагнитного шумового излучения оператор испытывает возбуждение, получает положительные эмоции. Интерпретация полученных результатов основана на литературных источниках [8, 12]. Анализ спектральных плотностей мощности альфа-ритма электроэнцефалограмм левого и правого височных отведений (*T*3 и *T*4 соответственно) показал, что при действии электромагнитного шумового излучения оператор вместо радости в фоне начинает испытывать отвращение [9]. При сравнении спектральных плотностей мощности при шумовом облучении и в фоне показано, что в первом случае реакция оператора в виде эмоции близка к радости. При сравнении спектральных плотностей мощности тета- и альфа-ритмов при действии на головной мозг электромагнитного шумового излучения и в фоне возникают эмоции в виде злости [10]. Интерпретация полученных предварительных результатов об эмоциональном состоянии оператора при действии электромагнитных шумовых излучений свидетельствует о необходимости проведения в этом направлении дальнейших исследований.

Список литературы

1. Сидоренко А.В. Показатели нелинейной динамики электроэнцефалограмм при наличии излучений мобильной связи и радиопоглощающих полиуретановых композитов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 12. С. 44–52.

2. Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В. Экспериментальная оценка реакций ЦНС на воздействие импульсных ЭМИ низкой интенсивности // Радиация и риск. 2010. Т. 19, № 3. С. 104–119.
3. Yael S. Electromagnetic radiation and health: human indicators // Environmental indicators. 2014. P. 1025–1046.
4. Houston L.J. The effects of radiofrequency electromagnetic radiation on sperm function // Reproduction. 2016. Vol. 152, № 6. P. 263–276.
5. Cindy S. Electromagnetic fields. Pulsed radiofrequency radiation and epigenetics: How Wireless technologies may affect childhood development // Child development. 2017. P. 1–8.
6. Сидоренко А.В. Воздействие шумового излучения на центральную нервную систему // Электроника инфо. 2016. № 1. С. 58–64.
7. Сидоренко А.В., Солодухо Н.А. Нелинейный анализ электроэнцефалограмм оператора при действии электромагнитного шумового излучения // Докл. БГУИР. 2017. № 6. С. 69–75.
8. Danny Onde Bos. EEG-based emotion recognition. The influence of visual and auditory stimuli // Capita Selecta. University of Twente. 2006. P. 1–17.
9. Davidson R.J. Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology // J. Pers. Soc. Psychol. 1990. Vol. 58, № 2. P. 330–341.
10. Poriesz B. Alcogolism and human electrophysiology // Alcogol res health. 2003. Vol. 27, № 2. P. 153–160.
11. Сидоренко А.В. Методы информационного анализа биоэлектрических сигналов. Минск: БГУ, 2003. 187 с.
12. 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. Pokazateli nelinejnoj dinamiki jelektrojencefalogramm pri nalichii izluchenij mobil'noj svjazi i radiopogloshhajushhih poliuretanovyh kompozitov // Biomedicinskaja radiojelektronika. 2013. № 12. S. 44–52. (in Russ.)
2. Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V. Jeksperimental'naja ocenka reakcij CNS na vozdejstvie impul'snyh JeMI nizkoj intensivnosti // Radiacija i risk. 2010. T. 19, № 3. S. 104–119. (in Russ.)
3. Yael S. Electromagnetic radiation and health: human indicators // Environmental indicators. 2014. P. 1025–1046.
4. Houston L.J. The effects of radiofrequency electromagnetic radiation on sperm function // Reproduction. 2016. Vol. 152, № 6. P. 263–276.
5. Cindy S. Electromagnetic fields. Pulsed radiofrequency radiation and epigenetics: How Wireless technologies may affect childhood development // Child development. 2017. P. 1–8.
6. Sidorenko A.V. Vozdejstvie shumovogo izluchenija na central'nuju nervnuju sistemu // Jelektronika info. 2016. № 1. S. 58–64. (in Russ.)
7. Sidorenko A.V., Soloduho N.A. Nelinejnyj analiz jelektrojencefalogramm operatora pri dejstvii jelektromagnitnogo shumovogo izluchenija // Dokl. BGUIR. 2017. № 6. S. 69–75. (in Russ.)
8. Danny Onde Bos. EEG-based emotion recognition. The influence of visual and auditory stimuli // Capita Selecta. University of Twente. 2006. P. 1–17.
9. Davidson R.J. Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology // J. Pers. Soc. Psychol. 1990. Vol. 58, № 2. P. 330–341.
10. Poriesz B. Alcogolism and human electrophysiology // Alcogol res health. 2003. Vol. 27, № 2. P. 153–160.
11. Sidorenko A.V. Metody informacionnogo analiza biojelektricheskih signalov. Minsk: BGU, 2003. 187 s. (in Russ.)
12. 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 авторах

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

Солодухо Н.А., аспирант факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета.

Information about the authors

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

Soloduyho N.A., PG student 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, Nezavisimosti ave., 4
Belarusian state university
tel. +375-29-339-14-30;
e-mail: sidorenkoa@yandex.ru
Sidorenko Alevtina Vasilevna