

УДК 616.8, 57.087, 51-7  
DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1127-1132

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПАТТЕРНОВ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НА ЭЭГ-ДАНЫХ

© А.Е. Руннова<sup>1)</sup>, В.Ю. Мусатов<sup>1)</sup>, Р.А. Куланин<sup>1)</sup>, С.В. Пчелинцева<sup>1)</sup>,  
Т.Ю. Ефремова<sup>1)</sup>, В.В. Грубов<sup>1)</sup>, Д.В. Лопатин<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

410054, Российская Федерация, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

<sup>2)</sup> Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина

392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33

E-mail: anefila@gmail.com

Предложены методы классификации паттернов в электроэнцефалографических данных головного мозга на основе машинного обучения с использованием искусственных нейронных сетей. На основе описанных методов проведена обработка данных, зарегистрированных в группе добровольцев. Описаны условия и дизайн экспериментальной работы с группой из 20 неоплачиваемых добровольцев. В ходе эксперимента велась регистрация ЭЭГ-данных при реальных и воображаемых движениях. Обработка данных, полученных в унифицированных условиях эксперимента с нетренированными людьми различного пола и возрастов, показала хорошие результаты распознавания паттернов активности, коррелируемых с движениями различных типов.

*Ключевые слова:* нейронаука; обработка данных; искусственные нейронные сети; психофизиологический эксперимент; электроэнцефалография

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практика использования искусственных нейронных сетей (ИНС) для обработки и классификации больших объемов сложных данных плохой структуры переживает новый виток развития [1–8]. Особый интерес эти методы вызывают в области обработки данных нейронауки, а именно распознавания различных состояний человека по регистрируемой активности его головного мозга. Методы классической математики, основанные на частотно-временном, волновом или компонентном анализе, зачастую не дают устойчивых результатов распознавания различных состояний человека, и/или их применение становится крайне затруднительным из-за сложности алгоритмов [9–13]. Основная причина данной проблемы связана с самой природой исследуемых данных, связанных с сигналами головного мозга и отличающимися большой сложностью, присутствием многих шумов и помех, а также крайне слабой степенью структурированности. Классические математические приемы (спектральные преобразования Фурье, вейвлетный анализ, различные методы разложения сигналы на моды) основаны на выделении полезного сигнала из всего массива данных и дальнейшей алгоритмической работы с ним. Понятно, что для сигналов, регистрируемых в сложных условиях психофизиологических экспериментов, зачастую понятие «полезный сигнал» оказывается неприменимым, а при малейшем изменении состояния методика может перестать работать. В то же время применение подходов искусственных нейронных сетей принципиально лишено недостатков и, при правильном подборе методики обучения, структуры сети и т. д., способно распознать даже слабо и неявно отличающиеся состояния системы. Однако очевидны и недостатки такого

подхода, ничего не говорящего исследователю о природе возникновения состояния и не способного выделить из массива данных сигнал, непосредственно связанный с конкретным изучаемым процессом. Таким образом, подходы на основе искусственных нейронных сетей уместны для решения технических задач распознавания различных состояний, а также могут использоваться как маркеры имеющихся различий в регистрируемых данных. В фундаментальных исследованиях структуры и функционирования головного мозга подобные подходы могут быть неуместны, однако, использование искусственных нейронных сетей в более прикладных областях, таких как, например, создание нейроинтерфейсов и подобных устройств, является сегодня весьма перспективным направлением [14–17].

В представленной статье мы проводим распознавание коротких паттернов на ЭЭГ данных, регистрируемых у человека при различной двигательной активности. Для проведения этой работы первоначально были получены экспериментальные данные электрической активности головного мозга человека в движении с помощью многоканальной регистрации электроэнцефалографии.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАБОТА

Из числа студентов Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. были приглашены 20 неоплачиваемых добровольцев (12 – женщины, 8 – мужчины, средний возраст 21, возрастной разброс 18–22). Все добровольцы – условно здоровые индивиды с нормальным уровнем активности. Непосредственно перед началом каждого эксперимента специалист-психолог проводил короткую личную беседу с добровольцем, подготавливая его к concentra-

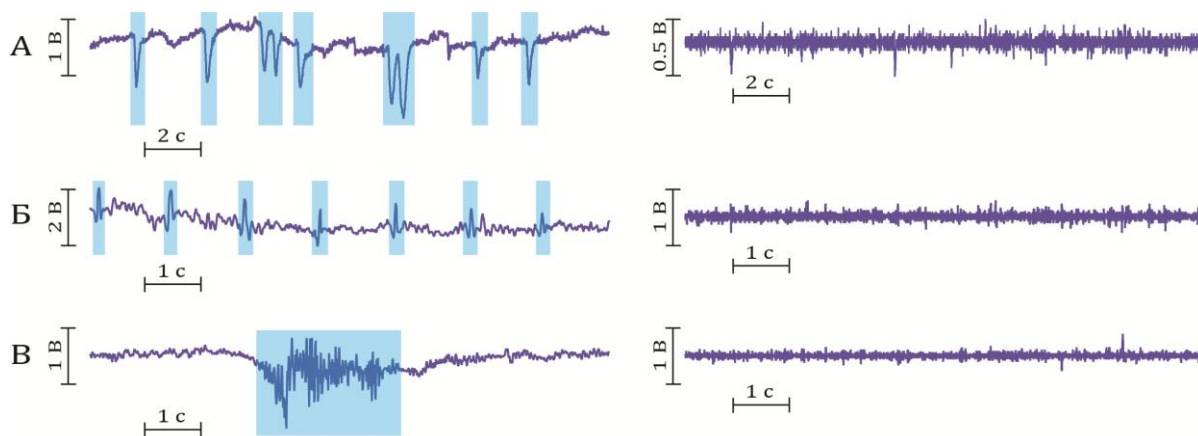
ции на своих двигательных ощущениях, во время установки всех необходимых электродов. Испытуемый занимал удобное положение сидя. Активная фаза эксперимента предполагала чередование периодов реальной и воображаемой двигательной активности. В эксперименте были задействованы движения левой и правой рук (взмахи и сжатия в кулак), а также движения в бедренном суставе левой и правой ног. Между сериями двигательной активности были периоды отдыха, позволяющие восстановить у испытуемого способности к концентрации, в течение которых проигрывалась легкая музыка. Отметим, что все эксперименты были единообразны, велись в утренние часы и проводились на неподготовленных добровольцах. В частности, по окончании эксперимента каждый испытуемый письменно обещал не разглашать экспериментальный дизайн до окончания серии работ, что делалось для сведения к минимуму подготовки участников к серии воображаемых движений – достаточно сложной когнитивной задачи, требующей большой концентрации на своих ощущениях.

Сигналы ЭЭГ были записаны с использованием электроэнцефалографа «Энцефалан-19/26» (Медиком-МТД, Таганрог, Российская Федерация) при помощи расширенной расстановки электродов – международной системы «10–10» [18], схема которой демонстрируется на рис. 1. Все экспериментальные данные имеют временную разметку событий – моменты начала движения, моменты сигналов к воображению движений и моменты пассивного бодрствования (периодов отдыха). Комиссия по этике Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. одобрила проведение экспериментальной работы в данном дизайне.

#### ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Полученные в эксперименте сигналы были отфильтрованы регистрирующей аппаратурой в диапазоне частот 0,016–70 Гц с полосовым фильтром в районе 49,5–50,5 Гц для устранения влияния промышленной электрической сети.

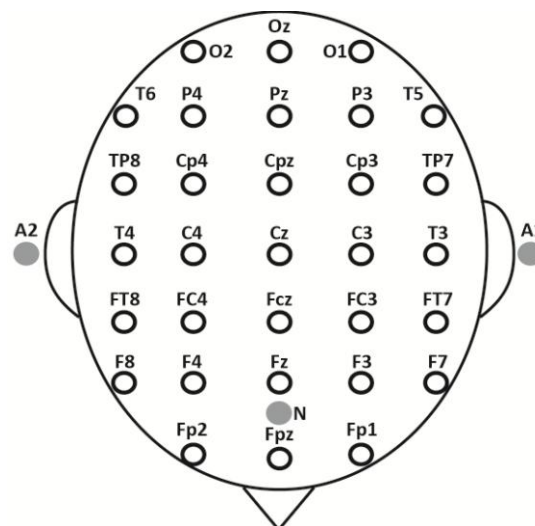
Дальнейшие работы по повышению качества сигналов и соотношения полезный сигнал/помеха велись в



**Рис. 2.** А – экспериментальные сигналы ЭЭГ человека, содержащие глазодвигательные артефакты; Б – кардиоритмы; В – артефакты мышечной активности. Временные интервалы регистрации артефактов выделены голубыми полосами. В правой части данного рисунка представлены соответствующие сигналы ЭЭГ после фильтрации предложенным в проекте методом, основанным на преобразовании Гильберта–Хуанга

направлении фильтрации помех следующих типов:

глазодвигательные и мышечные артефакты, кардиоритмы, частотная динамика которых принадлежит диапазону 0,1–15 Гц, что пересекается с диапазоном информативных паттернов на сигналах ЭЭГ. Для фильтрации указанных помех был использован метод, основанный на разложении по эмпирическим модам [19–21], представленные на рис. 2, на котором приведены экспериментальные сигналы ЭЭГ человека, содержащие глазодвигательные артефакты (рис. 2А), кардиоритмы (рис. 2Б) и артефакты мышечной активности (рис. 2В) (артефакты обозначены средними полосами). В правой части рис. 2 представлены сигналы ЭЭГ после фильтрации предложенным методом. В каждом из случаев применение метода позволило успешно подавить имеющиеся артефакты. Также следует отметить, что низкочастотная огибающая сигнала ЭЭГ,

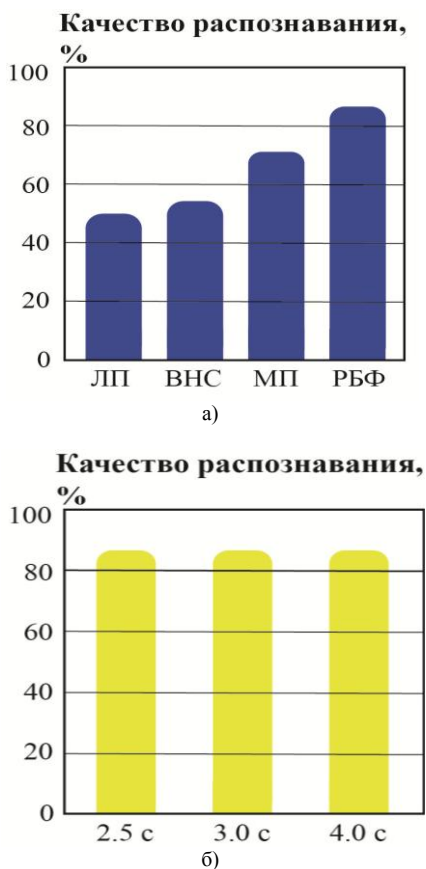


**Рис. 1.** Схема расстановки 31 скальповых электродов «10–10». На рисунке указаны их общепринятые обозначения. Дополнительно отмечены 3 электрода (A1, A2 и N), обеспечивающие необходимые, так называемые индифферентные точки, в которых электрические процессы минимальны и относительно которых ведется регистрация ЭЭГ в активных каналах

которая не содержит полезной информации, также была удалена после применения метода эмпирических мод. Для корректной работы алгоритма фильтрации с данными двигательных паттернов подобрано оптимальное число эмпирических мод, равное пяти.

### КЛАССИФИКАЦИЯ ПАТТЕРНОВ

Классификация паттернов, ассоциированных с различной двигательной активностью, велась на основе созданной автоматической интеллектуальной системы распознавания подобных состояний. Для создания интеллектуальной системы использовался следующий метод машинного обучения. В первую очередь, была проведена постобработка данных, при которой сигналы ЭЭГ были разделены на фрагменты, соответствующие различным периодам эксперимента (реальное/воображаемое движение левой/правой рукой/ногой, фрагменты различной фоновой активности). Были подготовлены серии маркированных фрагментов с различной временной длительностью: 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0 секунд.



**Рис. 3.** а) – демонстрируется качество распознавания (классификации) различных типов движения на базе искусственных нейронных сетей различной архитектуры: многослойный перцептрон (МП), радиальная базисная функция (РБФ), линейная (ЛС) и вероятностная нейронная сети (ВНС); б) – качество классификации типов двигательной активности для фрагментов ЭЭГ, данных с разной длительностью временного интервала. Использовалась искусственная нейронная сеть типа радиальная базисная функция

Классификация осуществлялась методом ИНС, обучаемых с учителем, с использованием пакета Statistica и собственного программного обеспечения на базе пакетов MatLab. В процессе классификации сравнивалось качество распознавания ИНС различных архитектур и типов: многослойный перцептрон (МП), радиальная базисная функция (РБФ), линейная (ЛС) и вероятностная нейронная сети (ВНС). В качестве специальной функции активации нейронов скрытого слоя радиально-базисной сети была выбрана функция Гаусса. Для обучения использовались массивы данных по 6000 точек (соответствующие 24 с записанных данных).

Классификация двигательной активности левой и правой рук с использованием ВНС, ЛС и МП происходит с низким качеством распознавания на уровне 50–55 %. РБФ позволяют достичь в этом случае 75–80 % распознавания. Классификация различных движений левой и правой ног показывает более уверенные результаты. Качество распознавания с помощью ЛС и ВНС на уровне 55 %, МП – 60–70 %, РБФ дает лучшее распознавание на уровне 85–89 % (см. рис. 3а).

Проведение процедур классификации с фрагментами различной длительности показало, что величина временного интервала длительности фрагмента данных не оказывает существенного влияния на качество распознавания, что продемонстрировано на рис. 3б.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования на базе машинного обучения показали, что использование метода искусственных нейронных сетей позволяет уверенно (с точностью до 80 %) классифицировать «воображаемые» и «реальные» движения по коротким временным фрагментам ЭЭГ. С учетом отсутствия тренировки добровольцев-операторов такой процент распознавания выглядит весьма достойно. При этом для обучения интеллектуальной системе достаточно всего 24 секунды данных паттернов, с учетом времени пауз и отдыха оператора – в реальном времени для обучения потребуется не более 10 минут. Очевидно, что данный результат является весьма многообещающим для использования в нейроинтерфейсных системах управления элементами экзоскелета, инвалидным креслом, в задачах медицинской диагностики и т. д. [16; 17; 22–23]. Показано, что оптимальная архитектура искусственной нейронной сети для классификации паттернов двигательной активности должна строиться на базе радиально-базисных функций. Результаты носят междисциплинарный характер и получены на стыке нейронауки и современной теории обработки сложных данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: an overview // *Neural Networks*. 2015. V. 61. P. 85-117.
2. Grossberg S. Towards solving the hard problem of consciousness: the varieties of brain resonances and the conscious experiences that they support // *Neural Networks*. 2017. V. 87. P. 38-95.
3. Meruelo A.C., Simpson D.M., Veres S.M., Newland P.L. Improved system identification using artificial neural networks and analysis of individual differences in responses of an identified neuron // *Neural Networks*. 2016. V. 75. P. 56-65.
4. Kim J., Jang G.-J., Lee M. Fast learning method for convolutional neural networks using extreme learning machine and its application to lane detection // *Neural Networks*. 2017. V. 87. P. 109-121.

5. *Hodge V.J., O'Keefe S., Austin J.* Hadoop neural network for parallel and distributed feature selection // *Neural Networks*. 2016. V. 78. P. 24-35.
6. *Huang G., Huang G.-B., Song S., You K.* Trends in extreme learning machines: a review // *Neural Networks*. 2015. V. 61. P. 32-48.
7. *Musatov V.Y., Pchelintseva S.V., Runnova A.E., Hramov A.E.* Patterns recognition of electric brain activity using artificial neural networks // *Proc. SPIE*. 2017. vol. 10337. DOI: 10.1117/12.2267701
8. *Pchelintseva S.V., Runnova A.E., Musatov V.Y., Hramov A.E.* Recognition and classification of oscillatory patterns of electric brain activity using artificial neural network approach // *Proc. SPIE*. 2017. V. 10063. DOI: 10.1117/12.2250001
9. *van Luijelaar G., Lüttjohann A., Makarov V.V., Maksimenko V.A., Koronovskii A.A., Hramov A.E.* Methods of automated absence seizure detection, interference bystimulation, and possibilities for prediction in genetic absence models // *Journal of Neuroscience Methods*. 2016. V. 260. P. 144.
10. *Koronovskii A.A., Hramov A.E., Grubov V.V., Moskalenko O.I., Sitnikova E.Y., Pavlov A.N.* Coexistence of intermittencies in the neuronal network of the epileptic brain // *Phys. Rev. E*. 2016. V. 93. DOI: 10.1103/PhysRevE.93.032220
11. *Павлов А.Н., Храмов А.Е., Короновский А.А., Ситникова Е.Ю., Макаров В.А., Овчинников А.А.* Вейвлет-анализ в нейродинамике // *УФН*. 2012. Т. 182. № 9. С. 905-939.
12. *Grubov V.V., Runnova A.E., Kurovskaya M.K., Pavlov A.N., Koronovskii A.A., Hramov A.E.* Demonstration of brain noise on human EEG signals in perception of bistable images // *Proc. SPIE*. 2016. V. 9707. DOI: 10.1117/12.2207390
13. *Hramov A.E., Koronovskii A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Y.* Wavelets in Neuroscience. Heidelberg; New York; Dordrecht; London, Springer, 2015. 318 p.
14. *Sotnikov P., Finagin K., Vidunova S.* Selection of Optimal Frequency Bands of the Electroencephalogram Signal in Eye-brain-computer Interface // *Procedia Computer Science*. 2017. V. 103. P. 168-175.
15. *Vasilyev A.N., Liburkina S.P., Kaplan A.Y.* Lateralization of EEG patterns in humans during motor imagery of arm movements in the brain-computer interface // *Zhurnal Vysshei Nervnoi Deyatelnosti Imeni IP Pavlova*. 2016. V. 66. № 3. P. 302-312.
16. *Каплан А.А., Жигульская Д.Д., Кирьянов Д.А.* Изучение возможности управления отдельными пальцами фантома кисти руки человека в контуре интерфейса мозг-компьютер на волне P300 // *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2017. Т. 2. С. 26-33.
17. *Maksimenko V.A., Heukelum S., Makarov V.V., Kelderhuis J., Lüttjohann A., Koronovskii A.A., Hramov A.E., Luijelaar G.* Absence Seizure Control by a Brain Computer Interface // *Scientific Reports*. 2017. V. 7. P. 2487.
18. *Nuwer M.R., Comi C., Emerson R. et al.* IFCN standards for digital recording of clinical EEG. International Federation of Clinical Neurophysiology. // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1998. V. 106. P. 259-261.
19. *Грубов В.В., Руннова А.Е., Короновский А.А., Храмов А.Е.* Адаптивная фильтрация сигналов электроэнцефалограмм с использованием метода эмпирических мод // *Письма в ЖТФ*. 2017. Т. 43. № 13. С. 58-64.
20. *Runnova A.E., Grubov V.V., Khramova A.E., Hramov A.E.* Dealing with noise and physiological artifacts in human EEG recordings: empirical mode methods // *Proceedings SPIE*. 2017. V. 10337. P. 1033712. DOI: 10.1117/12.2267695.
21. *Grubov V.V., Runnova A.E., Khramova M.V.* Filtration of human EEG recordings from physiological artifacts with empirical mode method // *Proceedings SPIE*. 2017. V. 10063. DOI: 10.1117/12.2250399
22. *Maximenko V.A., Lüttjohann A., Makarov V.V., Goremyko M.V., Koronovskii A.A., Nedaivozov V.O., Runnova A.E., Luijelaar G., Hramov A.E., Boccaletti S.* Macroscopic and microscopic spectral properties of brain networks during local and global synchronization // *Phys. Rev. E*. 2017. V. 96. DOI:10.1103/PhysRevE.96.012316
23. *Ovchinnikov A.A., Luttjohann A., Hramov A.E., van Luijelaar G.* An algorithm for real-time detection of spike-wave discharges in rodents // *Journal of Neuroscience Methods*. 2010. V. 194. № 1. P. 172-178.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-29-08221\_офи\_м).

Поступила в редакцию 30 августа 2017 г.

Руннова Анастасия Евгеньевна, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры автоматизации, управления и мехатроники, e-mail: anefila@gmail.com

Мусатов Вячеслав Юрьевич, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации, управления и мехатроники, e-mail: vmusatov@mail.ru

Куланин Роман Андреевич, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Российская Федерация, научный сотрудник НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем», e-mail: rkulanin2010@yandex.ru

Пчелинцева Светлана Вячеславовна, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации, управления и мехатроники, e-mail: pchelintseva@inbox.ru

Ефремова Татьяна Юрьевна, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Российская Федерация, ведущий инженер НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем», e-mail: pchelintseva@inbox.ru

Грубов Вадим Валерьевич, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры автоматизации, управления и мехатроники, e-mail: vvgrubov@gmail.com

Лопатин Дмитрий Валерьевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат физико-математических наук, доцент, директор Центра компьютерной безопасности, e-mail: +79107540080@ya.ru

UDC 616.8, 57.087, 51-7  
DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1127-1132

## CLASSIFICATION OF MOTOR ACTIVITY PATTERNS IN EEG DATA

© A.E. Runnova<sup>1)</sup>, V.Y. Musatov<sup>1)</sup>, R.A. Kulanin<sup>1)</sup>, S.V. Pchelintseva<sup>1)</sup>,  
T.Y. Efremova<sup>1)</sup>, V.V. Grubov<sup>1)</sup>, D.V. Lopatin<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
77 Politekhnicheskaya St., Saratov, Russian Federation, 410054

<sup>2)</sup>Tambov State University named after G.R. Derzhavin  
33 Internatsionalnaya St., Tambov, Russian Federation, 392000  
E-mail: anefila@gmail.com

The methods for pattern classification in the brain electroencephalographic data based on machine learning and artificial neural networks are proposed. We have processed the EEG data, registered in volunteers group. The experimental work design and a group of 20 unpaid volunteers are described. We demonstrate experimental EEG records for real and imaginary movements. The processing of data obtained in unified experimental conditions for untrained people demonstrates good results for recognizing and classification for activity patterns correlated with various types motions.

**Keywords:** neuroscience; data processing; artificial neural networks; psychophysiological experiment; electroencephalography

### REFERENCES

1. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: an overview. *Neural Networks*, 2015, vol. 61, pp. 85-117.
2. Grossberg S. Towards solving the hard problem of consciousness: the varieties of brain resonances and the conscious experiences that they support. *Neural Networks*, 2017, vol. 87, pp. 38-95.
3. Meruelo A.C., Simpson D.M., Veres S.M., Newland P.L. Improved system identification using artificial neural networks and analysis of individual differences in responses of an identified neuron. *Neural Networks*, 2016, vol. 75, pp. 56-65.
4. Kim J., Jang G.-J., Lee M. Fast learning method for convolutional neural networks using extreme learning machine and its application to lane detection. *Neural Networks*, 2017, vol. 87, pp. 109-121.
5. Hodge V.J., O'Keefe S., Austin J. Hadoop neural network for parallel and distributed feature selection. *Neural Networks*, 2016, vol. 78, pp. 24-35.
6. Huang G., Huang G.-B., Song S., You K. Trends in extreme learning machines: a review. *Neural Networks*, 2015, vol. 61, pp. 32-48.
7. Musatov V.Y., Pchelintseva S.V., Runnova A.E., Hramov A.E. Patterns recognition of electric brain activity using artificial neural networks. *Proc. SPIE*, 2017, vol. 10337. DOI: 10.1117/12.2267701
8. Pchelintseva S.V., Runnova A.E., Musatov V.Y., Hramov A.E. Recognition and classification of oscillatory patterns of electric brain activity using artificial neural network approach. *Proc. SPIE*, 2017, vol. 10063. DOI: 10.1117/12.2250001
9. van Luijelaar G., Lüttjohann A., Makarov V.V., Maksimenko V.A., Koronovskii A.A., Hramov A.E. Methods of automated absence seizure detection, interference bystimulation, and possibilities for prediction in genetic absence models. *Journal of Neuroscience Methods*, 2016, vol. 260, p. 144.
10. Koronovskii A.A., Hramov A.E., Grubov V.V., Moskalenko O.I., Sitnikova E.Y., Pavlov A.N. Coexistence of intermittencies in the neuronal network of the epileptic brain. *Phys. Rev. E.*, 2016, vol. 93. DOI: 10.1103/PhysRevE.93.032220
11. Pavlov A.N., Hramov A.E., Koronovskiy A.A., Sitnikova E.Yu., Makarov V.A., Ovchinnikov A.A. Veyvlet-analiz v neyrodinamike [Wavelet analysis in neurodynamics]. *Uspekhi fizicheskikh nauk – Advances in Physical Sciences*, 2012, vol. 182, no. 9, pp. 905-939. (In Russian).
12. Grubov V.V., Runnova A.E., Kurovskaya M.K., Pavlov A.N., Koronovskii A.A., Hramov A.E. Demonstration of brain noise on human EEG signals in perception of bistable images. *Proc. SPIE*, 2016, vol. 9707. DOI: 10.1117/12.2207390.
13. Hramov A.E., Koronovskii A.A., Makarov V.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Y. Wavelets in Neuroscience. Springer: Heidelberg; New York; Dordrecht; London, 2015. 318 p.
14. Sotnikov P., Finagin K., Vidunova S. Selection of Optimal Frequency Bands of the Electroencephalogram Signal in Eye-brain-computer Interface. *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 103, pp. 168-175.
15. Vasilyev A.N., Liburkina S.P., Kaplan A.Y. Lateralization of EEG patterns in humans during motor imagery of arm movements in the brain-computer interface. *Zhurnal Vysshei Nervnoi Deyatelnosti Imeni IP Pavlova – Higher Nervous Function Journal named after I.P. Pavlov*, 2016, vol. 66, no. 3, pp. 302-312.
16. Kaplan A.Ya., Zhigul'skaya D. D., Kir'yanov D.A. Izuchenie vozmozhnosti upravleniya otdel'nymi pal'tsami fantoma kisti ruki cheloveka v konture interfeysa mozg-komp'yuter na volne P300 [The study of certain fingers control of the phantom of human hand in the contour of interface computer brain at the wave P300]. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta – Bulletin of Russian State Medical University*, 2017, vol. 2, pp. 26-33. (In Russian).

17. Maksimenko V.A., Heukelum S., Makarov V.V., Kelderhuis J., Lüttjohann A., Koronovskii A.A., Hramov A.E., Luijtelaaar G. Absence Seizure Control by a Brain Computer Interface. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, p. 2487.
18. Nuwer M.R., Comi C., Emerson R. et al. IFCN standards for digital recording of clinical EEG. International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 1998, vol. 106, pp. 259-261.
19. Grubov V.V., Runnova A.E., Koronovskiy A.A., Khramov A.E. Adaptivnaya fil'tratsiya signalov elektroentsefalogramm s ispol'zovaniem metoda empiricheskikh mod [Adaptive filtration of signals of electroencephalogram with the use of empirical modes method]. *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki – Applied Physics Letters*, 2017, vol. 43, no. 13, pp. 58-64. (In Russian).
20. Runnova A.E., Grubov V.V., Khramova A.E., Hramov A.E. Dealing with noise and physiological artifacts in human EEG recordings: empirical mode methods. *Proceedings SPIE*, 2017, vol. 10337. DOI: 10.1117/12.2267695
21. Grubov V.V., Runnova A.E., Khramova M.V. Filtration of human EEG recordings from physiological artifacts with empirical mode method. *Proceedings SPIE*, 2017, vol. 10063. DOI: 10.1117/12.2250399.
22. Maximenko V.A., Lüttjohann A., Makarov V.V., Goremyko M.V., Koronovskii A.A., Nedaivozov V.O., Runnova A.E., Luijtelaaar G., Hramov A.E., Boccaletti S. Macroscopic and microscopic spectral properties of brain networks during local and global synchronization. *Phys. Rev. E.*, 2017, vol. 96. DOI:10.1103/PhysRevE.96.012316
23. Ovchinnikov A.A., Lüttjohann A., Hramov A.E., van Luijtelaaar G. An algorithm for real-time detection of spike-wave discharges in rodents. *Journal of Neuroscience Methods*, 2010, vol. 194, no. 1, pp. 172-178.

ACKNOWLEDGEMENTS: The work is fulfilled under support of Russian Foundation for Basic Research (Project no. 16-29-08221\_офи\_м).

Received 30 August 2017

Runnova Anastasiya Evgenjevna, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of Automation, Control and Mechatronics Department, e-mail: anefila@gmail.com

Musatov Vyacheslav Yurevich, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor of Automation, Control and Mechatronics Department, e-mail: vmusatov@mail.ru

Kulanin Roman Andreevich, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation, Research Worker of Research Educational Centre “Nonlinear Dynamics of Complicated Structures”, e-mail: rkulanin2010@yandex.ru

Pchelintseva Svetlana Vyacheslavovna, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor, Associate Professor of Automation, Control and Mechatronics Department, e-mail: pchelintseva@inbox.ru

Efremova Tatiana Yurevna, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation, Leading Engineer of Research Educational Centre “Nonlinear Dynamics of Complicated Structures”, e-mail: efremova.t@mail.ru

Grubov Vadim Valerievich, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of Automation, Control and Mechatronics Department, e-mail: vvgrubov@gmail.com

Lopatin Dmitrii Valerevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Director of Computer Security Center, e-mail: 79107540080@ya.ru

**Для цитирования:** Руннова А.Е., Мусатов В.Ю., Куланин Р.А., Пчелинцева С.В., Ефремова Т.Ю., Грубов В.В., Лопатин Д.В. Классификация паттернов двигательной активности на ЭЭГ-данных // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1127-1132. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1127-1132

**For citation:** Runnova A.E., Musatov V.Y., Kulanin R.A., Pchelintseva S.V., Efremova T.Y., Grubov V.V., Lopatin D.V. [Classification of motor activity patterns in EEG data]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1127-1132. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1127-1132 (In Russian, Abstr. in Engl.).