

Научная статья

УДК 159.91

doi: 10.24411/2409-4102-2022-10302

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ (НА ОСНОВЕ ЭЭГ-ДАННЫХ) ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ СОСТОЯНИЯМИ В ТЕКУЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Светлана Анатольевна Белоусова<sup>1</sup>, Елена Аркадьевна Шумилова<sup>2</sup>,  
Виталий Альбертович Васильев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия, Belousova.s.2018@yandex.ru

<sup>2</sup> Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия, post@iro23.ru

<sup>3</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, vasilyev\_va@list.ru

**Аннотация.** Представлены результаты работы по созданию опытного образца носимого программно-аппаратного комплекса (ПАК) диагностики и оперативного управления на основе данных электроэнцефалограммы (ЭЭГ-данных) функциональными психофизиологическими состояниями в текущей деятельности условно здоровых лиц и лиц с ограниченными возможностями здоровья. Группой инженеров-электронщиков, программистов, психологов, специальных педагогов носимый ПАК «БОС» включен в систему биологической обратной связи. Комплекс состоит из микропроцессорного ЭЭГ-регистратора, подключенных к нему ЭЭГ-датчиков и комплекта программ для персонального компьютера (ПК). ЭЭГ-регистратор является автономным мобильным устройством и обеспечивает выполнение нужных функций по измерению электрической активности головного мозга пользователя в реальном времени. Разрабатывается программа для смартфона, обеспечивающая обратную связь клиенту.

**Ключевые слова:** биологическая обратная связь, программно-аппаратный комплекс, носимое ЭЭГ-устройство, управление функциональными состояниями в текущей деятельности

**Для цитирования:** Белоусова С. А., Шумилова Е. А., Васильев В. А. Разработка программно-аппаратного комплекса диагностики и оперативного управления (на основе ЭЭГ-данных) функциональными психофизиологическими состояниями в текущей деятельности // Вестник Челябинского государственного университета. Образование и здравоохранение. 2022. № 3 (19). С. 15—21. doi: 10.24411/2409-4102-2022-10302.

Original article

## **DEVELOPMENT OF A HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR DIAGNOSTICS AND OPERATIONAL MANAGEMENT (BASED ON EEG DATA) OF FUNCTIONAL PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATES IN CURRENT ACTIVITIES**

**Svetlana A. Belousova<sup>1</sup>, Elena A. Shumilova<sup>2</sup>, Vitaliy A. Vasilyev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia, Belousova.s.2018@yandex.ru

<sup>2</sup> Kuban State University, Krasnodar, Russia, post@iro23.ru

<sup>3</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, vasilyev\_va@list.ru

**Abstract.** The results of work on creation of a prototype of a portable hardware-software complex (HSC) of diagnostics and operative management on the basis of electroencephalogram data (EEG-data) of functional psychophysiological states in the current activity of conditionally healthy persons and persons with disabilities are presented. A group of electronic engineers, programmers, psychologists, special pedagogues included wearable PAC “BOS” into biofeedback system. The complex consists of a microprocessor EEG-recorder, EEG-sensors connected to it and

a set of programs for a personal computer (PC). EEG-recorder is an autonomous mobile device and provides the necessary functions for measuring the electrical activity of the user's brain in real time. A program for the smartphone providing feedback to the client is being developed.

**Keywords:** biofeedback, hardware-software system, wearable EEG device, control of functional states in the current activity

**For citation:** Belousova SA, Shumilova EA, Vasilyev VA. Development of a hardware-software complex for diagnostics and operational management (based on EEG data) of functional psychophysiological states in current activities. *Bulletin of Chelyabinsk State University. Education and Healthcare*. 2022;(3(19):15-21. (In Russ.). doi: 10.24411/2409-4102-2022-10302.

### Введение

На сегодняшний день психологи имеют потребности и возможность включать данные электроэнцефалограммы клиента с тяжелыми нарушениями речи в систему психологической коррекции. Статистика показывает, что, у большинства испытуемых с тяжелыми нарушениями речи в возрасте 8—9 лет, согласно сложившейся в науке систематике ЭЭГ [1], — дезорганизованный тип с наличием альфа-ритма; имеется высокий процент медленных колебаний (30 % и выше), более всего представленных в затылочных зонах коры, широко варьирующихся по форме. Согласно данным о возрастной динамике ЭЭГ [2], наши испытуемые не достигают характеристик нормы.

Проведение ЭЭГ-БОС-тренингов по методическим рекомендациям Д. В. Лютина [3], спо-

собствует формированию у испытуемых навыка произвольного сосредоточения, закрепляет начатое (в играх и психогимнастических упражнениях) изменение способности к самоконтролю, уровня внимания, поведенческих реакций. Эффекты ЭЭГ-тренингов: увеличение альфа-ритма, увеличение сенсомоторного ритма 12—14 Гц, бета-1 субдиапазона, подавление тета-ритма (по показаниям).

Пример структуры ЭЭГ при проведении курса ЭЭГ-БОС-тренинга представлен на рис. 1. По наблюдениям родителей испытуемых и их педагогов, изменения ЭЭГ испытуемых связаны с улучшением речи, когнитивных функций, координированности движений, улучшением процессов внимания, снижением тревожности, с улучшением сна.

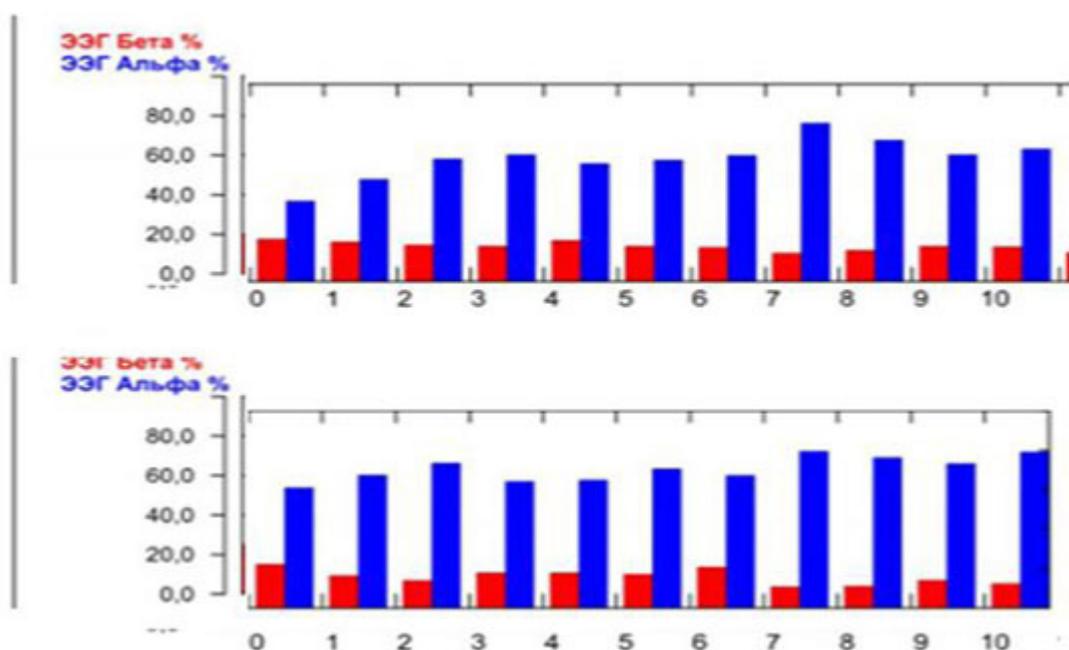


Рис. 1. Динамика структуры ЭЭГ при проведении курса БОС-тренинга (верхний график — измерение фона до сеанса ЭЭГ-БОС, нижний график — после сеанса ЭЭГ-БОС)

Вместе с тем практика показывает большую значимость поддерживающей работы во время проведения ЭЭГ-БОС-тренинга, а также в послетренинговый период (семейной терапии, тренингов родительских навыков (зрительный и физический контакт); обучения приемам модификации поведения). Кроме того, рекомендуется повтор курса ЭЭГ-БОС-тренинга (15—20 сеансов) через 4—6 мес. (всего рекомендуется проходить по два курса в год) [3]. Вместе с тем трудности испытуемых в переносе и удержании навыка в текущей деятельности ставят перед исследователями задачи развития технологии БОС. Специалисты нуждаются в носимых ЭЭГ-устройствах, включенных в систему биологической обратной связи в естественных для клиента условиях.

Таким образом, носимые ЭЭГ-устройства могут стать инструментарием, важным для реализации социального запроса на технологизацию управления психофизиологическими состояниями человека в текущей деятельности. Процесс диагностики и управления функциональными ресурсами человека на основе ЭЭГ-данных в период бурного развития нейронаук и высоких технологий может обогатиться новыми методами. Цифровизация может позволить реализовать системно-структурную модель организации коррекционного процесса — определение ведущего симптомокомплекса, лежащего в основе дефекта (по уровням детерминации); обеспечить объективацию коррекционных программ, рефлексию и «институционализацию» методов их (программ) индивидуализации.

Для проведения измерений малых потенциалов требуются высокоточные, малошумящие усилители (коэффициент усиления от 20 000 до 100 000, что очень много). При таком усилении, даже малые помехи становятся большими и могут приводить к проблемам при исследовании электрических сигналов.

Кроме того, необходимы специальные приборы преобразования аналоговых сигналов в цифровой код, для ввода в компьютер, специальные программы для проведения частотного анализа и выделения определенных волн (частот), например ЭЭГ. Такие приборы всегда были достаточно громоздкими и достаточно дорогими.

Но сегодняшнее время характеризуется стремительным развитием микроэлектроники. Технология «SOC» («Система на кристалле») стала настоящей технической революцией. На кристалле размером 15x20 мм находится компьютер мощностью больше, чем персональная ЭВМ, средства

связи с периферией: аналого-цифровые преобразователи, коммутаторы, усилители, интерфейсы связи (например, радиоканал: Wi-Fi, Bluetooth). Словом, все самое необходимое для обработки электрических «биологических» сигналов.

Разработаны и выпускаются миниатюрные усилители специально для измерения ЭЭГ и ЭКГ сигналов. Существуют как стационарные, так и мобильные системы ЭКГ и ЭЭГ, так называемые «холтеры». Однако это медицинские приборы, и они не предназначены для проведения сеансов биологической обратной связи. Для БОС требуется адаптация программно-аппаратных комплексов, разработка специальных сценариев, написание специальных программ и разработка методов удаленного контроля для осуществления обратной связи.

Кроме электрофизиологических методов, при разработке программно-аппаратных комплексов БОС используются и чисто физические методы, основанные, например, на методах навигации. Появление революционных МЭМС-технологий (микро-электро-механические системы) позволяет существенно повысить точность позиционирования объекта в пространстве и существенно снизить затраты на изготовление.

### **Материалы и методы**

На основе патентного поиска поставлена задача разработки и создания опытного образца носимого программно-аппаратного комплекса системы биологической обратной связи. Носимый ПАК-БОС должен состоять из микропроцессорного ЭЭГ-регистратора, подключенных к нему ЭЭГ-датчиков и комплекта программ для ПК. Разрабатываемый ЭЭГ-регистратор должен быть автономным мобильным устройством и обеспечивать выполнение следующих функций: а) измерение электрической активности головного мозга пользователя в реальном времени, б) фильтрацию и предварительную обработку полученных сигналов, в) передачу полученной информации по беспроводному соединению в ПК, г) запись полученной информации во встроенную память с возможностью последующей передачи и обработки на ПК, д) передачу полученной информации по беспроводному соединению, используя беспроводный интернет-шлюз, в удаленный ПК. Должно быть найдено техническое решение для предоставления обратной связи испытуемому для управления функциональным состоянием в текущей деятельности. Результаты работы создаваемого оборудования должны быть согласованы с «Преобразователем измерительным

биоэлектрических и биомеханических сигналов организма человека для работы с ПК с целью лечения больных по методу биологической обратной связи «ПБС-БОС» (Регистрационное удостоверение ФСР 2008/03995).

### Результаты исследования

Научным коллективом, включающим биологов, психологов, программистов, электронщиков, разрабатывается опытный образец носимого устройства — программно-аппаратного комплекса диагностики и оперативного управления (на основе

ЭЭГ-данных) функциональными психофизиологическими состояниями в текущей деятельности условно здоровых лиц и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Опытный образец ПАК БОС (программно-аппаратный комплекс системы биологической обратной связи) состоит из микропроцессорного ЭЭГ-регистратора, подключенных к нему ЭЭГ-датчиков и комплекта программ для ПК. Разрабатываемый ЭЭГ-регистратор является автономным мобильным устройством. Общий вид устройства приведен на рис. 2.

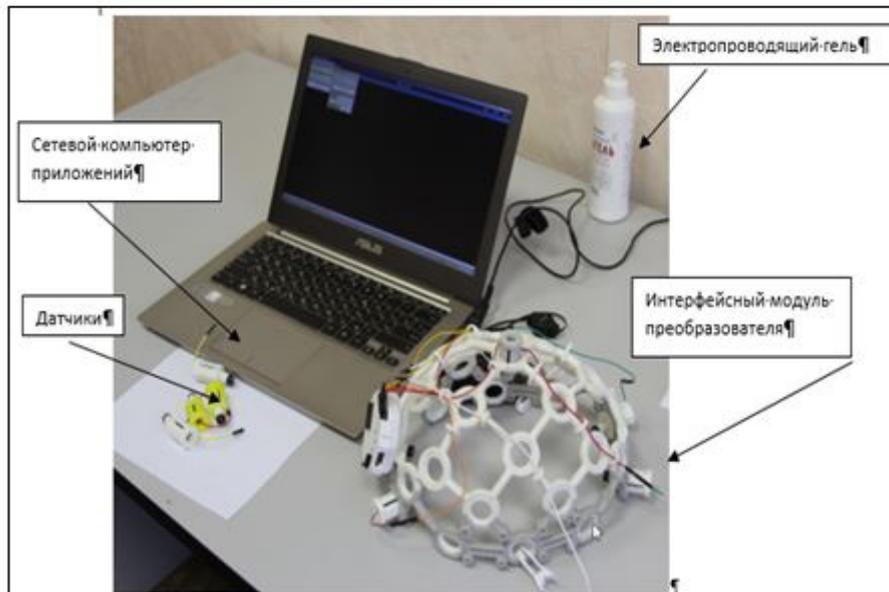


Рис. 2. Носимый программно-аппаратный комплекс «БОС-ЭЭГ»

Интерфейсный модуль преобразователя (рис. 3) оснащен специальным процессорным модулем (SoC — System-on-a-Chip) со встроенным высокопроизводительным приемопередатчиком Bluetooth® Smart и Wi-Fi, встроенным микроконтроллером, который, как правило, можно запрограммировать с помощью простой в использовании среды разработчика. Скорость передачи данных Bluetooth 4.0 (BLE) не превышает 9600 Бит/с. Для решения этой проблемы используется программное сжатие данных перед передачей и последующее (после приема) восстановление сигнала. Решить проблему передачи данных возможно только после перехода на интерфейс Wi-Fi. С этой целью можно использовать, например, специальный Wi-Fi-модуль ESP8266 фирмы «Espressif Systems». Скорость передачи данных достигает 150 Мбит/с, что полностью решает проблемы передачи данных биосигналов практически с любого количества каналов измерения.

<sup>1</sup> URL: <https://www.biosvyaz.com/kompleksy?id=3#collapseOne1> (дата обращения: 18.06.2022).

Однако мощности микропроцессора хватает только на предварительную обработку сырого сигнала и подготовку передачи данных. Непосредственно на интерфейсном модуле преобразователя происходит контроль качества соединения датчика с кожей головы, непосредственное управление аналого-цифровым преобразователем (АЦП), сжатие оцифрованного сигнала и пересылка полученных данных на сетевой компьютер приложений. Дальнейшая обработка, в частности быстрое преобразование Фурье, построение спектральной характеристики и выделение отдельных составляющих ритма головного мозга происходит с использованием вычислительных средств стационарного, либо мобильного компьютера (ноутбука). Управляющее воздействие на какой-либо объект может быть сформировано как с использованием обработанного сигнала ЭЭГ, так и с помощью сигналов датчиков положения и движения, например, МЭМС-датчиков виброускорения.

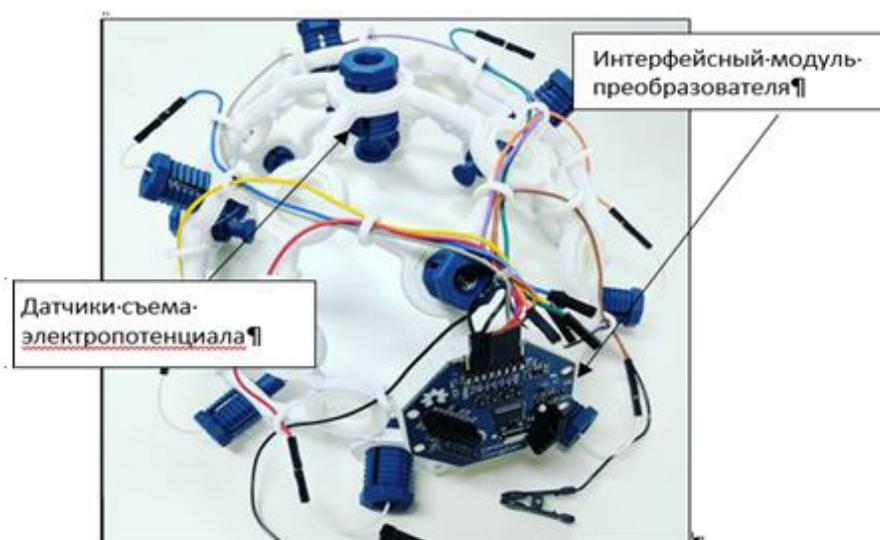


Рис. 3. Устройство связи компьютера и головного мозга

Одной из проблем при исследовании биосигналов является вредное влияние электрических наводок. Как правило, это потенциал с частотой 50 Гц. Для устранения влияния частоты 50 Гц применяем специальные режекторные фильтры. На базе полученной спектральной характеристики (рис. 4), суммируя спектральные составляющие по используемым датчикам, получаем полосы частот для соответствующих ритмов мозга (рис. 5). Ритмы в реальном времени, при изменении спектральных составляющих меняются амплитуды соответствующих альфа, бета, гамма и т. д. ритмов.

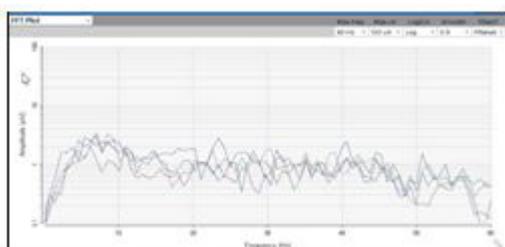


Рис. 4 Спектральная характеристика потенциалов ЭЭГ

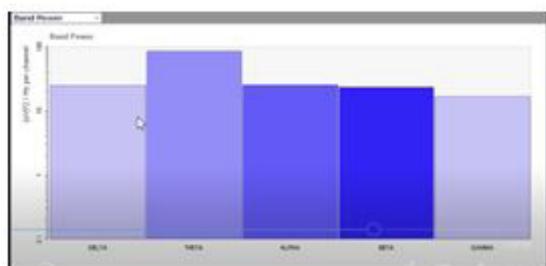


Рис. 5 Ритмы мозга, полученные из потенциалов ЭЭГ

Поскольку каждый ритм отвечает за определенную деятельность мозга, выделяя отдельные составляющие, можно создавать управляющие воздействия в виде обратной связи. Следует отметить, что кроме потенциалов ЭЭГ, можно использовать для этих целей и другие сигналы, например, сигналы датчиков положения.

Идея мобильной БОС предполагает удаленный контроль и удаленное управление. в этом случае Bluetooth и Wi-Fi имеют существенные ограничения. Использование 4G LTE стандарта беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных телефонов и других терминалов практически снимает зависимость от географии и можно контролировать процесс биологической обратной связи, даже находясь в другой стране. Использование стандарта LTE предполагает также и использование облачных сервисов баз данных, работающих с большими объемами информации, на больших скоростях и привязанных ко времени. Для этой цели в настоящее время можно использовать специальные базы данных временных рядов (TSDB — time series database). Такие базы данных, в отличие от традиционных реляционных баз данных (SQL), позволяют внедрить мониторинг в реальном времени сбора хранения и представления информации. База данных временных рядов, например «InfluxDB», оптимизирована для быстрого приёма данных. Такие системы используют индексацию данных, объединённых со временем. Как следствие, скорость загрузки не уменьшается со временем и остается достаточно стабильной (от 50 до 500 тыс. строк в секунду на одном узле). Графическое представление данных может быть осуществлено специальными

программными инструментами мониторинга «Grafana» или «Chronograf». Они имеют встроенные решения для визуализации данных и создания пользовательских интерфейсов.

### Выводы

Итак, полученные ранее результаты свидетельствуют об эффективности применения биологической обратной связи в комплексной реабилитационной программе. В ходе биоуправления наблюдается снижение исходно повышенной активации структур лимбико-ретикулярного комплекса, что проявляется в увеличении мощности альфа составляющей ЭЭГ, значительном снижении тревожности и улучшении общего самочувствия испытуемых. Технология БОС может быть использована для обучения навыкам саморегуляции и повышения уровня психофизической активности как здоровых лиц с целью профилактики, так и клиентов, страдающих нервно-психи-

ческими расстройствами и психосоматическими заболеваниями.

Созданное мобильное ЭЭГ-устройство удобно встраивается в коррекционный процесс, позволяет непрерывно отслеживать электрическую активность мозга испытуемого в естественных для него условиях. Это значит, что электроэнцефалография как адекватный, а иногда и наиболее оптимальный метод исследования спонтанной активности мозга, может помогать человеку успешно управлять своими функциональными состояниями в текущей деятельности.

Использование при создании опытного образца носимого программно-аппаратного комплекса «ЭЭГ-БОС» современных технологических достижений и простота модели позволяют рассчитывать на возможности его доработки и внедрения в практику работы специалистов при решении ряда сложностей, в том числе методологического характера.

### Список источников

1. Горбачевская Н. Л. Возрастные особенности электроэнцефалограммы здоровых детей и подростков // Детская и подростковая психиатрия: Клинические лекции для специалистов. Москва : ООО «Мед. информ. агентство», 2011. С. 643—658.
2. Жирмунская Е. А. Электроэнцефалографические характеристики дисциркуляторной энцефалопатии // Журнал невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 1991. Т. 91, № 1. С. 35—41.
3. Лютин Д. В. Тренинг самоконтроля и саморегуляции методом биологической обратной связи (БОС) детей и подростков с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью : методические рекомендации. Санкт-Петербург : ОАО «БИОСВЯЗЬ», 2008. 29 с.

### References

1. Gorbachevskaya NL. Age features of the electroencephalogram of healthy children and adolescents. In: Child and adolescent psychiatry: Clinical lectures for professionals. Moscow: Medical Information Agency; 2011. Pp. 643—658. (In Russ.).
2. Zhirmunskaya EA. Electroencephalographic characteristics of discirculatory encephalopathy. *Neuropathology and Psychiatry S. S. Korsakov*. 1991;91(1):35-41. (In Russ.)
3. Lyutin DV. Training of self-control and self-regulation using the method of biofeedback (BFB) for children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder: Methodical recommendations. St. Petersburg : JSC “BIOSVYAZ”; 2008. 29 p. (In Russ.).

### Сведения об авторах

**С. А. Белоусова** — доктор психологических наук, кандидат педагогических наук, профессор, профессор кафедры психологии ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет».

**Е. А. Шумилова** — доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой дефектологии и специальной психологии.

**В. А. Васильев** — кандидат технических наук.

### Information about the authors

**Svetlana A. Belousova** — Doctor of Psychology Sciences, Candidate of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Psychology.

**Elena A. Shumilova** — Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Defectology and Special Psychology.

**Vitaly A. Vasilyev** — Candidate of Technical Sciences .

---

---

*Статья поступила в редакцию 14.11.2022;  
принята к публикации 20.11.2022.*

*The article was submitted 14.11.2022;  
accepted for publication 20.11.2022.*

---

---

Вклад авторов: авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.