

На правах рукописи



ПЕТРЕНКО АННА АЛЕКСАНДРОВНА

**БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ И КОРРЕКЦИИ
ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА С
ПОМОЩЬЮ ПОЛИФАКТОРНОЙ НЕЙРОЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ**

Специальность 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского
назначения

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург — 2023

Работа выполнена в Институте радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Научный руководитель: **Кубланов Владимир Семенович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор Института радиоэлектроники и информационных технологий.

Оппоненты:

Обухов Юрий Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией “Биомедицинская информатика” Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (г. Москва);

Самородов Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой биомедицинские технические системы (БМТ1) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», (г. Москва).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск).

Защита состоится «07» июня 2023 года в 14-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.387.05, созданного на базе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» по адресу: 197022, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, д. 5, литера Ф.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» и на сайте университета www.etu.ru в разделе «Подготовки кадров высшей квалификации» – «Объявление о защитах».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 197022, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, д. 5, литера Ф.

Автореферат разослан «06» апреля 2023 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.387.05,
кандидат технических наук



Семенова Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Увеличение интенсивности деятельности человека и объема тревожной информации, длительное воздействие стресс-факторов являются причиной возникновения хронической усталости, головных болей, напряжения и как следствие развития психосоматических заболеваний. Так, например, по данным различных исследований доля психосоматических расстройств в общесоматической сети достигает 25–30% (Сторожаков Г.И., Шамрей В.К., 2014).

Снижение физических нагрузок и ограничение двигательной активности также могут стать провоцирующим фактором психофизиологических изменений состояния человека, отражающихся в регуляции системы кровообращения, дыхания, обмена веществ, нервных и гуморальных регуляторных механизмах.

В этой связи решение задачи выявления психосоматических нарушений и коррекции **психофизиологического состояния (ПФС)** пациентов с целью их медицинской реабилитации становится актуальной проблемой. При решении данной проблемы рассматриваются две основные задачи: одна связана с **оценкой ПФС организма** человека, а другая – с возможностью **коррекции** этого состояния.

Сегодня существуют различные методы и технические средства, которые в некоторой степени позволяют решить одну из задач. При оценке ПФС человека большинство существующих методов и систем реализованы для анализа физиологических параметров организма человека, но понятие ПФС формируется на основе психологических, физиологических и психометрических оценок. Поэтому при разработке биотехнических систем (БТС) для исследования ПФС человека необходимо реализовывать комплексный подход в оценке и совокупном анализе всех параметров: физиологических, психометрических и психологических.

При решении проблемы коррекции ПФС в последнее время востребованными являются немедикаментозные неинвазивные технологии, среди которых и различные методы нейростимуляции. Сложность внедрения таких технологий определяется **недостаточной изученностью механизмов действия и возникающих эффектов психофизиологических изменений при воздействии нейростимуляции**. Кроме того, остается ряд проблем, связанных с разработкой программ и методик применения БТС с использованием нейростимуляции в функциональных исследованиях, а также возможностью проведения совокупного анализа биомедицинской информации.

Таким образом, на сегодня разработка неинвазивных БТС для организации психофизиологической адаптации человека, реализующих комплексный подход в оценке, анализе и коррекции ПФС человека, несомненно, является актуальной задачей.

Цель исследования: разработка биотехнической системы (БТС), реализующей комплексный подход в оценке, совокупном анализе и коррекции психофизиологических параметров человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции.

Объект исследования: БТС для оценки и коррекции ПФС добровольцев – испытуемых (далее по тексту - испытуемых).

Предмет исследования: методическое, структурное, программно-алгоритмическое и информационное обеспечение БТС для оценки и коррекции ПФС человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции.

Задачи исследования:

1. Разработка концепции метода оценки и коррекции ПФС человека на основе совокупного анализа значимых психологических, психометрических и физиологических параметров человека.

2. Разработка структуры БТС для оценки и коррекции ПФС человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции.

3. Разработка методики применения БТС для оценки и коррекции ПФС человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции.

4. Экспериментальная апробация разработанной БТС для оценки эффективности ее применения.

Решение задач диссертационного исследования позволило получить следующие **новые научные результаты:**

1. Концепция метода оценки и коррекции ПФС, основанная на совокупном анализе психологических, психометрических и физиологических параметров человека.

Отличительной особенностью данного метода является реализация комплексного подхода в оценке ПФС человека с включением наиболее информативных и диагностически значимых параметров, отражающих физиологические изменения состояния вегетативной нервной системы по данным вариабельности сердечного ритма (ВСР), личностных особенностей человека, определяемых с помощью методики Big Five, и параметров психометрических характеристик (рабочей памяти и времени реакции), определяемых с помощью теста N-back. Разработанный метод оценки и коррекции ПФС человека позволяет проводить отбор испытуемых с низкими параметрами рабочей памяти и времени реакции на основе личностного опросника Big Five и оценивать эффективность процесса коррекции состояния этих испытуемых по изменениям параметров ВСР и теста N-back.

2. Структура БТС для оценки и коррекции ПФС человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции.

Отличительной особенностью БТС является включение в ее структуру блока, реализующего технологию полифакторной нейроэлектростимуляции нервных образований шеи, измерительного блока психологических и психометрических оценок, измерительного блока физиологических параметров, блока хранения данных, обеспечивающего сбор, поиск и вывод

необходимых параметров для дальнейших оценок и анализа, а также систему управления и вывода данных, позволяющую управлять основными измерительными блоками, блоком нейроэлектростимуляции, а также проводить совокупную обработку полученных данных

3. Методика применения разработанной БТС для оценки и коррекции ПФС человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции.

Уникальностью данной методики является возможность ее применения для улучшения параметров рабочей памяти и времени реакции, а также регулирования состояния вегетативной нервной системы.

В экспериментальных исследованиях приняли участие 79 испытуемых, рандомным образом разделенных на три группы: основную, плацебо и контрольную. Показано, что наибольшие улучшения рабочей памяти и времени реакции происходят в основной группе испытуемых. Полученные результаты сохраняются спустя 2 месяца.

При этом динамика показателей ВСП в основной группе, определяемая изменениями среднего значения (R-R)-интервалов (M), моды (M0), квадратного корня из средней суммы квадратов разностей между соседними интервалами (RMSSD), амплитуды моды (AM0), мощности спектра высокочастотного компонента ВСП по Фурье-преобразованию (HFf), свидетельствует об увеличении парасимпатической и подавлении симпатической активности вегетативной нервной системы. Также отмечается активация процессов стрессовой адаптации в соответствии с изменениями коэффициента вариации полного массива кардиоинтервалов (CV), вариационного размаха (VR), мощности спектра низкочастотного компонента ВСП по Фурье-преобразованию (LFf), мощности спектра очень низкочастотного компонента по Фурье-преобразованию (VLFf), и увеличение энергетических ресурсов вегетативной и центральной нервной системы, определяемых по индексу централизации (IC), показателю адекватности процессов регуляции (IARP), индексу активации подкорковых нервных центров (IAS).

Теоретическая и практическая значимость защищаемых результатов и положений диссертации заключается в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении эффективности новой методики оценки ПФС человека и его коррекции с помощью БТС, обеспечивающей полифакторную нейроэлектростимуляцию нервных образований шеи, и реализующей оценку ПФС с помощью алгоритмов и программных реализаций совокупного анализа физиологических и психометрических данных ПФС. Предложенные решения могут быть адаптированы в образовательный процесс, ориентированный на здоровьесбережение.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. При разработке концепции методики оценки и коррекции ПФС человека необходимо применять комплексный подход, заключающийся в

совокупном анализе физиологических, психометрических и психологических показателей человека.

2. Структура БТС для оценки и коррекции ПФС человека, отличающаяся от известных решений признаками персонифицированной медицины, должна включать в себя блок полифакторной нейроэлектростимуляции; измерительный блок психологических и психометрических данных, измерительный блок физиологических данных; блок хранения данных, обеспечивающий сбор, поиск и вывод необходимых психологических, психометрических и физиологических параметров для дальнейших оценок, и анализа, а также систему управления и вывода данных, включающую в себя блок управления регистрацией физиологических параметров, блок управления регистрацией психологических и психометрических параметров, блок совокупной обработки и представления данных

3. Разработанная методика применения БТС позволяет проводить оценку диагностически значимых параметров ПФС человека, а также корректировать параметры его рабочей памяти и времени реакции за счет управления состоянием вегетативной нервной системы.

Методы исследования

В работе использованы статистические, вариационные, спектральные методы анализа биомедицинских сигналов; линейный дискриминантный анализ, кластерный анализ, дисперсионный анализ, метод логистической регрессии. Анализ полученных результатов выполнен с применением численных методов и пакетов программ в среде Python и Statistica 12.

Достоверность защищаемых результатов и положений исследований обеспечивается использованием известных научных методов. Полученные в работе результаты не противоречат известным теоретическим результатам. Достоверность и обоснованность полученных результатов обуславливается корректным выбором и применением методов исследования, представлением и обсуждением основных научных результатов работы на научно-технических конференциях, опубликованием статей, содержащих основные результаты работы, в научных реферируемых журналах, в том числе международных.

Внедрение результатов работы

Материалы диссертационной работы внедрены:

1. В учебный процесс Уральского федерального университета при реализации магистерской программы «Интеллектуальные информационные системы и технологии функциональной диагностики и нейрореабилитации» по направлению 09.04.02 «Информационные системы и технологии».

2. В научно-исследовательский проект № 451 развития САЕ ИРИТ-РТФ «Развитие теории нейропластичности и разработка аппаратов для адекватной полифакторной нейроэлектростимуляции с ориентацией на персонифицированную медицину», который выполнялся в Уральском федеральном университете по Программе повышения конкурентоспособности в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 16 марта 2013 г. № 211

«О мерах государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации в целях повышения их конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров».

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты научно-исследовательской работы докладывались на следующих научных конференциях: Russian-American Research Symposium, (15 декабря 2014 г., г. Москва, Россия), Russian-German Conference on Biomedical Engineering RGC'2016 (4-7 июля 2016, г. Суздаль, Россия), International Symposium on Cognitive Sciences, genomics and Bioinformatics (29-31 Aug. 2016, Novosibirsk, Russia), International Brain Stimulation Conference (5-8 March, 2017, Barcelona, Spain), I международная научно-практическая конференция «Методы контроля и коррекции функционального и ресурсного состояния организма спортсмена» (26-27 мая 2017, г. Екатеринбург, Россия), International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences - SIBIRCON (18-22 сентября, 2017, г. Новосибирск, Россия), Telecommunication Forum - TELFOR (21- 22 November 2017, Belgrade, Serbia), Biomedical Engineering Systems and Technologies – BIOSTEC (19-21 January 2018, Madeira, Portugal), Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology - USBEREIT (7-8 May, Yekaterinburg, Russia), Международная научно-практическая on-line конференция «Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук»(20-21 ноября 2020 года, г. Ташкент, Узбекистан), Biomedical Engineering Systems and Technologies - BIOSTEC (11-13 February 2021, on-line streaming).

Основные положения работы опубликованы в 15 научных статьях, из них 9 статей входят в наукометрические базы данных Web of Science и Scopus, 2 статьи – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованный ВАК при Минобрнауки, 4 – в материалах международных и российских научно-технических конференций и других изданиях.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы из 113 наименований. Работа изложена на 121 странице машинописного текста и включает в себя 43 рисунка, 14 таблиц, 22 формулы.

Личный вклад диссертанта

Задачи исследования были сформулированы научным руководителем работы, который оказывал консультативное содействие и принимал участие в обсуждении результатов в процессе выполнения работы. Автору диссертации принадлежит обоснование концепции метода оценки и коррекции ПФС человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции нервных образований шеи; разработка структурной схемы БТС для оценки и коррекции ПФС человека; разработка специализированной локальной базы данных; проведение экспериментальных исследований; обработка и совокупный анализ параметров физиологических и психометрических данных ПФС;

формулирование предложений для адаптации результатов исследований в образовательный процесс, ориентированный на здоровьесбережение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, применяемые методы исследования, достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена анализу состояния предметной области, в том числе рассмотрению вопроса об оценке ПФС состояния человека физиологическими и психологическими методами.

Применяемые в медицине физиологические и психологические методики могут быть трансформированы в задачу совокупного и комплексного анализа данных.

Также в этой главе рассмотрены существующие методы коррекции ПФС, недостатки и ограниченность традиционных подходов для коррекции ПФС.

На основе проведенного анализа были сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе проведено обоснование комплекса значимых показателей при оценке ПФС человека, разработана концепция методики оценки и коррекции ПФС человека, а также построен алгоритм оценки и коррекции ПФС человека, включающий в себя анализ психологических, психометрических и физиологических параметров.

Рассматривая человека как динамическую систему, внутреннее состояние этой системы и процессы, происходящие в ней, непосредственно не наблюдаемы и не могут быть измерены, оценка и анализ ПФС может быть проведены с помощью измерения входных и выходных величин. Система связана с окружающей средой и может реагировать на внешнее воздействие, что непосредственно отражается на выходных параметрах.

Влияние окружающей среды представляется вектором значений входных параметров: $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ (1)

Оценка ПФС человека осуществляется с помощью измерения выходных переменных $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ (2)

Выходные данные могут быть получены с помощью регистрации и оценки психометрических, психологических и физиологических параметров.

Вектор психометрических параметров представляет собой набор из 15 переменных, полученных на основе теста N-back: $\{a_i\}$, где $i:=1$ to 15.

Вектор психологических данных описывается набором 25 параметров, сформированных на основе психологического опросника Big Five $\{b_i\}$, где $i:=1$ to 25.

Вектор физиологических параметров представляет собой набор из 23 переменных, полученных из данных ВСР: $\{c_j\}$, где $j:=1$ to 23.

Таким образом, вектор ПФС представляет собой общий набор психологических, психометрических и физиологических данных: $\{y_d\}$, где $d:=1$ to 63.

Корректирующее воздействие может быть описано вектором параметров, состоящего из данных об амплитуде, длительности «пачки» импульсов и частоты воздействия: $\{u_p\}$, где $p:=1$ to 3.

Модель оценки и коррекции ПФС испытуемого можно представить в виде, изображенном на рисунке 1.

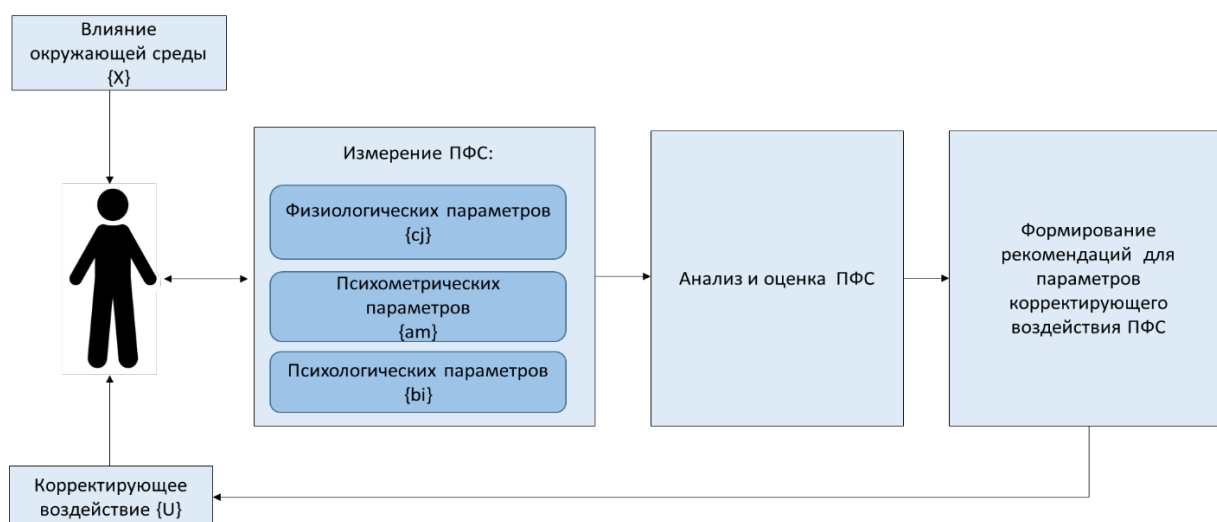


Рисунок 1 – Модель оценки и коррекции ПФС человека

Для отбора испытуемых, которым необходима коррекция параметров рабочей памяти и скорости реакции, был разработан классификационный алгоритм на основе параметров личностного опросника Big Five.

Проведение дискриминантного анализа позволило построить линейное уравнение с целью отнесения испытуемого к одному из двух кластеров. К первому кластеру относятся испытуемые с низкой общей оценкой выполнения психометрической задачи dual 2-back, ко второму кластеру относятся испытуемые с высокой оценкой.

В итоге были получены линейные классификационные функции, позволяющие отнести испытуемого по его качеству выполнения нагрузочной пробы в одну из групп. В основу этих функций вошли следующие 11 первичных факторов теста Big Five с весовыми коэффициентами (таблица 1): отсутствие настойчивости/ настойчивость (x_1), избегание впечатлений/поиск впечатлений (x_2), импульсивность/самоконтроль поведения (x_3), реалистичность / любознательность (x_4), отсутствие артистичности / артистичность (x_5), безответственность / ответственность (x_6), нечувствительность / сензитивность (x_7), беспечность / предусмотрительность (x_8), непонимание/понимание (x_9), подозрительность / доверчивость (x_{10}), равнодушие / теплота (x_{11}). Точность предложенного метода классификации составила 87%.

Таблица 1. Весовые коэффициенты переменных в классификационных функциях

Группа	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	constant
I	-2,25	2,41	1,68	2,27	-0,98	2,51	2,75	0,01	0,04	0,85	0,06	-48,49
II	-3,03	3,16	2,21	2,87	-1,61	3,11	3,24	-0,33	-0,23	1,14	-0,21	-57,45

Описанная концепция метода оценки и коррекции ПФС человека была формализована в алгоритме оценки и коррекции ПФС, позволяющем проводить отбор испытуемых с низкими психометрическими данными и оценивать эффективность процесса коррекции ПФС этих испытуемых на основе совокупного анализа психометрических и физиологических данных (рисунок 2).

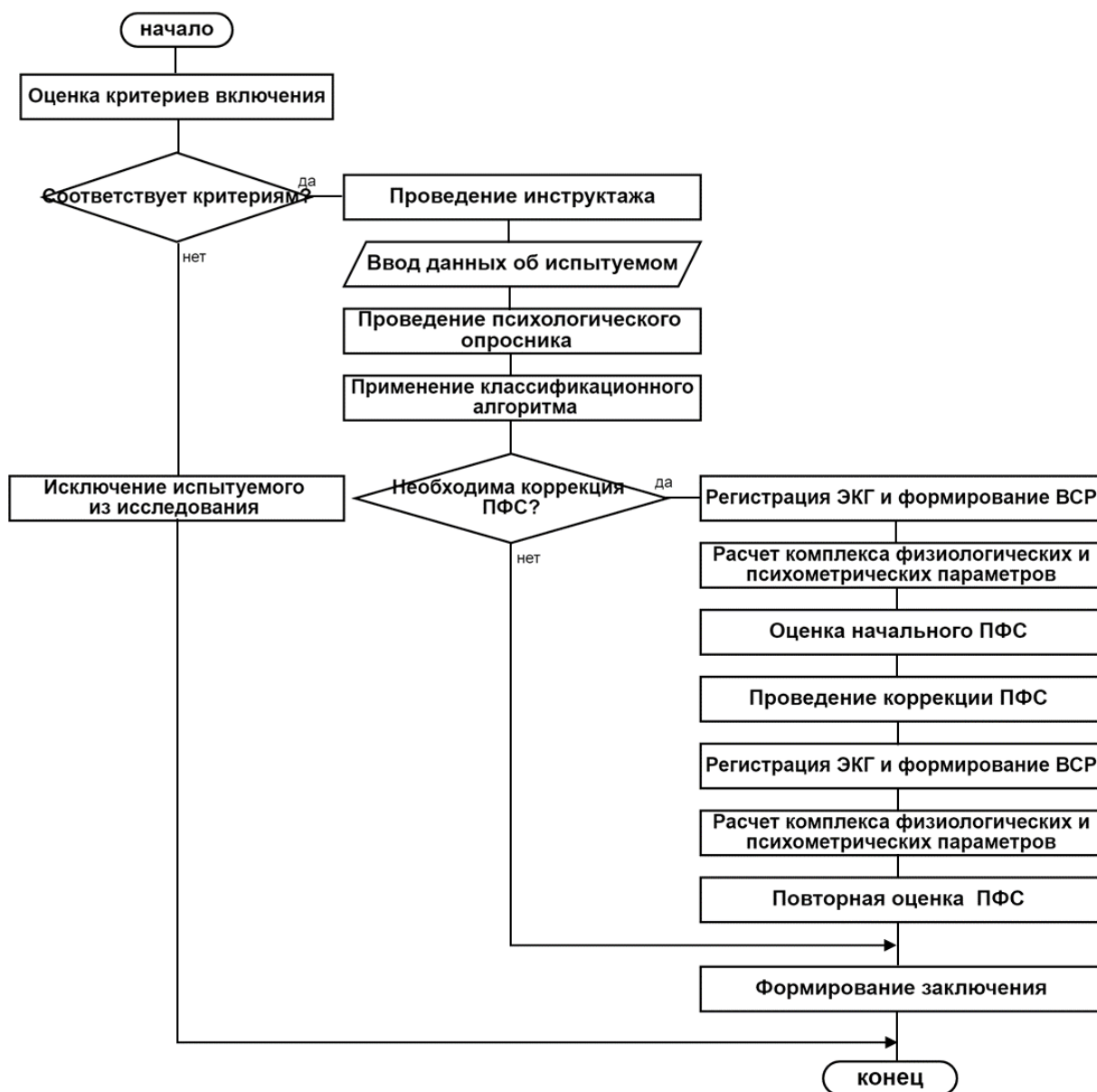


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма оценки и коррекции ПФС человека
В третьей главе сформулированы задачи по разработке структуры БТС для оценки и коррекции ПФС человека.

БТС представляет собой совокупность технических и биологических элементов системы. Биологическими элементами являются испытуемый, исследователь (врач). Все элементы системы функционируют совместно для достижения общей цели – оценки и коррекции ПФС испытуемого.

Предлагается в структуру БТС включить 5 технических блоков: блок нейроэлектростимуляции, измерительный блок физиологических параметров, измерительный блок психологических и психометрических оценок, блок хранения данных и систему управления и вывода данных.

Структурная схема БТС представлена на рисунке 3.

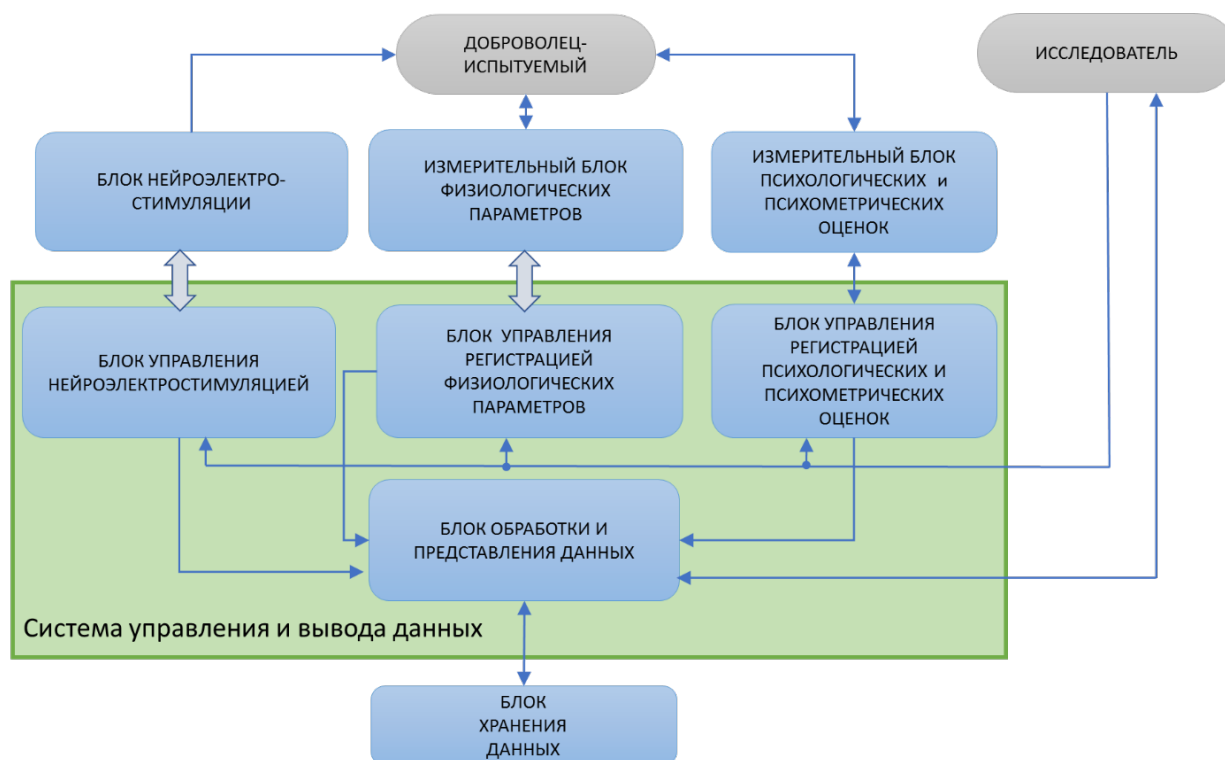


Рисунок 3 – Структурная схема биотехнической системы для оценки и коррекции психофизиологического состояния человека

Для реализации метода полифакторной нейроэлектростимуляции нервных образований шеи в БТС для оценки и коррекции ПФС человека выбрано медицинское изделие «Нейроэлектростимулятор НЕЙРОПОЛИКОР» по техническим условиям 26.60.13-001-44648802-2020, представляющий собой современную модификацию аппарата «СИМПАТОКОР-01».

Выбор данного аппарата для реализации метода полифакторной нейроэлектростимуляции обусловлены следующими факторами:

1. портативностью и компактностью устройства;
2. функционалом устройства для возможной его адаптации в персонализированной медицине;
3. возможностью управления параметрам нейроэлектростимуляции в режиме реального времени;

4. возможностью выбора нескольких мишеней нейроэлектростимуляции для создания разных режимов нейроэлектростимуляции.

5. использованием в аппарате современных материалов и технологий.

Блок нейроэлектростимуляции, реализованный с помощью первого модуля аппарата «НЕЙРОПОЛИКОР» – современной модификацией аппарата «СИМПАТОКОР-01», обеспечивает формирование поля монополярных прямоугольных импульсов напряжения, изменение значений амплитуды, частоты и длительности импульсов этого поля.

По сравнению с задачами, решаемыми вторым модулем аппарата «НЕЙРОПОЛИКОР», система управления и вывода данных БТС для оценки и коррекции ПФС человека должна дополнительно обеспечивать:

- установку программных средств для оценки психологических и психометрических данных и управление регистрацией этих данных;
- установку программного обеспечения для ввода данных при регистрации биомедицинских сигналов для оценки физиологических процессов и управление процессом регистрации;
- представление и обработку данных для оценок и анализа, в том числе совокупную обработку данных с помощью набора прикладных программ;
- связь с блоком хранения данных для поиска, выбора и вывода необходимой информации.

Для выполнения перечисленных задач системы управления и вывода данных в БТС требуются достаточно большие вычислительные возможности по сравнению с теми, которые могут быть реализованы во втором модуле аппарата «НЕЙРОПОЛИКОР». Реализация всех необходимых функций в системе управления и вывода данных БТС для оценки и коррекции ПФС человека возможна при создании специализированного комплекса программных средств, установленных в персональном компьютере.

Измерительный блок физиологических параметров (ИБФП)

Обеспечивает регистрацию биомедицинских сигналов, которые отражают физические проявления физиологических процессов живого организма и могут быть измерены и представлены в виде удобном для обработки с помощью электронных средств. Наибольшую диагностическую ценность при нейроэлектростимуляции нервных образований шеи имеет анализ ВСР.

Для реализации функций измерительного блока физиологических параметров в БТС используется автономный блок портативного электроэнцефалографа - анализатора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26», который позволяет регистрировать сигнал электрокардиограммы (ЭКГ) и анализировать ВСР. Измерительный блок физиологических параметров и блок регистрации и оценки физиологических параметров соединены и синхронизированы между собой в единую беспроводную сеть с помощью технологии Bluetooth.

Измерительный блок психологических и психометрических оценок (ИБПО)

Измерительный блок психологических и психометрических оценок представлен в виде электронного ресурса с открытым доступом для прохождения личностного опросника Big five и программного приложения Brain Workshop на персональном компьютере, которое реализует задачу теста N-back для оценки рабочей памяти и скорости реакции.

Система управления и вывода данных (СУ)

Система управления и вывода данных реализуется с помощью специализированного комплекса программного обеспечения персонального компьютера и включает в себя 4 элемента: блок управления нейроэлектростимуляцией, блок управления регистрацией физиологических параметров, блок управления регистрацией психологических и психометрических оценок, блок обработки и представления данных. Управление параметрами нейроэлектростимуляции реализовано с помощью программного приложения для персонального компьютера.

Управление параметрами регистрации физиологических параметров реализовано с помощью программного приложения комплекса «Энцефалан-ЭЭГР-19/26», а блоком психологических и психометрических оценок реализовано через программное приложение Brain Workshop.

Блок обработки и представления данных представлен в виде программных средств, необходимых для анализа, обработки и представления полученных данных, реализованных на языке программирования PYTHON, а для статистического анализа применялся пакет прикладных программ «STATISTICA 12.0».

Полученные при проведении исследования данные отправляются в блок хранения данных.

Блок хранения данных

Блок хранения данных представляет собой облачное хранилище базы данных. База данных позволяет: сохранять необходимый для работы БТС набор данных; отображает их в оптимизированном виде; позволяет избежать дублирование данных; позволяет формировать запросы и обеспечивает быстрый поиск необходимой информации.

Разработанная схема хранения данных включает в себя набор текстовых, числовых и визуальных данных, которые позволяют хранить общую информацию о данных испытуемого и исследователя, протокола исследования, результаты тестирования испытуемых, данные функциональных параметров, а также результаты статистической обработки данных:

Основными элементами базы данных являются таблицы (сущности):

- «Картотека исследователей» имеет колонки ID исследователя, ФИО исследователя, должность, телефон;
- «Картотека испытуемых» имеет колонки ID испытуемого ФИО, пол, дата начала исследований, возраст на момент исследования, пол, ФИО

исследователя, группа, информированное согласие

- «Исходные данные и стат. обработка данных» имеет колонки ФИО испытуемого, группа, дата исследования, этап исследования, ЭКГ, ВСП, n-back first trial, n-back second trial, протокол исследований, статистическая обработка данных

Данные ЭКГ сигналов хранятся в формате *.eeg. Результаты данных ВСП экспортированы в стандартные форматы данных ASCII (текстовый). Данные n-back first trial и n-back second trial представлены в формате .xsl, данные протокола исследования - в формате .doc.

На данные ЭКГ, ВСП, n-back first trial, n-back second trial, протокол исследований сформированы гиперссылки, обеспечивающие быстрый доступ к необходимым документам.

- «Big five» имеет колонки ФИО испытуемого, и 25 параметров теста BIG FIVE;

- «N-back» имеет колонки ФИО испытуемого, группа, этап исследования и 9 параметров теста n-back;

- «ВСП» имеет колонки ФИО испытуемого, группа, этап исследования, стадия и 23 параметра, извлекаемых из данных ВСП;

- «Статистическая обработка данных» представляет собой таблицу, содержащую гиперссылки на электронные таблицы с исходными данными в системе STATISTICA, сохраненные в формате *.sta; совокупность численной, текстовой и графической информации, полученная при статистическом анализе в рабочей книге в формате *.stw; а также проекты, для обработки данных, написанные в Python 2.7 в формате *.ipyb.

Данные «ФИО испытуемого» подгружаются из исходной таблицы «Картотека испытуемых», «ФИО исследователя» подгружаются из исходной таблицы «Картотека исследователя», что позволяет исключить повторное заполнение данных и их дублирование.

Для атрибутов «пол», «группа», «этап исследования», «стадии исследования» создан мастер подстановки, для заполнения форм готовыми вариантами. В этом случае сокращается время внесения данных в базу, что облегчает работу пользователю системы.

Также в третьей главе описана методика применения разработанной БТС для оценки и коррекции ПФС человека для проведения дальнейшей экспериментальной апробации, которая была формализована в UML-диаграмму (рисунок 4).

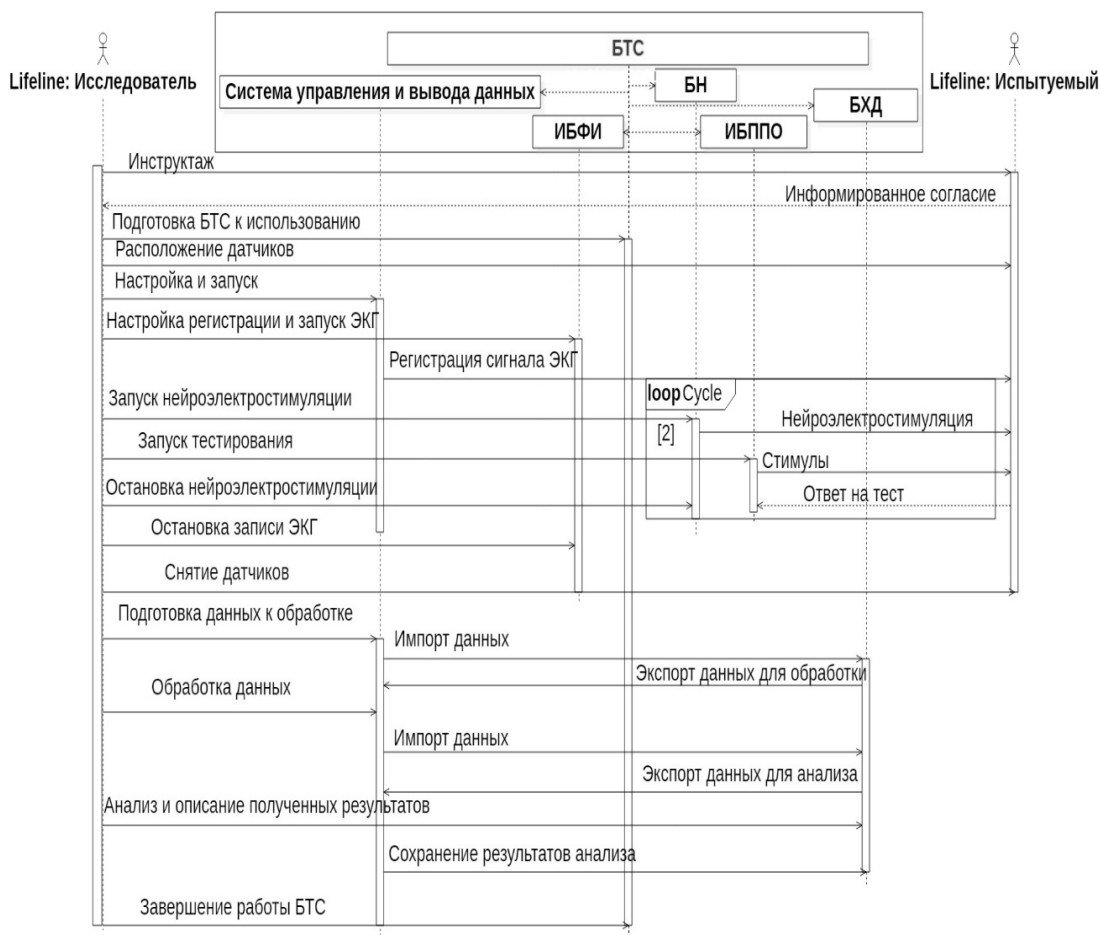


Рисунок 4 – UML диаграмма методики проведения исследования применения БТС для оценки и коррекции ПФС

В четвертой главе приведены результаты экспериментальной апробации применения разработанной БТС для оценки и коррекции ПФС человека с участием 79 испытуемых, randomным образом разделенных на три группы: основную, плацебо и контрольную.

На основании проведенного анализа данных было получено, что применение в БТС пространственно распределенного поля импульсов напряжения, формируемого в блоке нейроэлектростимуляции, обеспечивает коррекцию параметров рабочей памяти и скорости реакции по результатам теста dual 2-back.

При проведении анализа полученных результатов исследования у испытуемых основной группы отмечаются значимые различия некоторых параметров ВСР «до» и «после», и незначимые в плацебо группе. Основная динамика показателей ВСР в основной группе свидетельствует об увеличении парасимпатической активности и подавлении симпатической активности вегетативной нервной системы (параметры M, M0, RMSSD, AM0, HFf); отмечается активация процессов стрессовой адаптации (CV, VR, LFf, VLFf); увеличение энергетических ресурсов вегетативной и центральной нервной системы (параметры VLFnf, IC, IARP, IAS). Таким образом результаты исследования ВСР у испытуемых основной группы свидетельствуют об

улучшении энергетического обеспечения деятельности ВНС и ЦНС, активации механизмов стрессоустойчивости.

При сравнении групп между собой отмечается значимое различие некоторых параметров ВСР «после», а именно SDNN, LFf, VLFf, TPf. Значимое увеличение данных параметров в основной группе по сравнению с плацебо свидетельствует о росте суммарной активности регуляторных процессов вегетативной регуляции, преимущественно за счет парасимпатической части ВНС. В физиологическом разрезе эти результаты могут быть интерпретированы как привлечение большего количества энергетических и метаболических ресурсов силами вегетативной регуляции для обеспечения реакций положительной адаптации.

Направленность общего вектора изменений ВСР в сторону повышения объема вовлекаемых ресурсов и стимуляции реакций адаптации у испытуемых основной группы способствует коррекции ПФС и улучшению процессов рабочей памяти и скорости реакции.

Полученные данные были использованы для разработки классификационной функции, включающей в себя набор психометрических и физиологических данных. В классификационную функцию вошли 14 переменных ПФС человека (рисунок 5). Количественные параметры классификационной функции представлены в таблице 2.

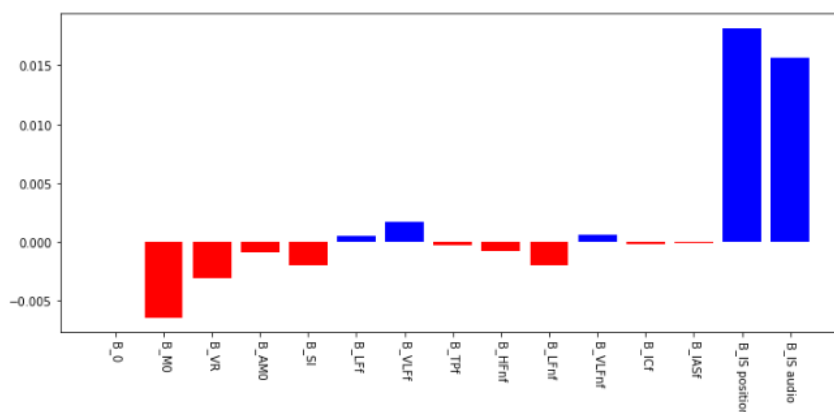


Рисунок 5 – Модель классификации основной группы на «до» и «после»

Таблица 2. Количественные параметры классификационной функции

Accuracy	Precision	Recall	F-мера
93%	86%	100%	0,93

Полученная классификационная функция позволяет оценить эффективность проведения коррекционной методики на основе анализа 14-мерного вектора ПФС.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложена концепция метода оценки и коррекции ПФС человека на основе совокупного анализа значимых психологических, психометрических и физиологических параметров человека.

2. Разработана структура БТС, которая обеспечивает согласование системы управления, технических и биологических элементов БТС. Отличительной особенностью БТС является наличие в ней блока нейроэлектростимуляции аппарата «НЕЙРОПОЛИКОР», реализующего метод полифакторной нейроэлектростимуляции нервных образований шеи, эффективность которой имеет достаточно доказательную базу.

3. Разработана методика применения БТС для оценки и коррекции ПФС человека с помощью полифакторной нейроэлектростимуляции и проведена ее экспериментальная апробация. Получено, что применение разработанной БТС позволяет улучшать параметры рабочей памяти и времени реакции по тесту dual 2-back, а также регулировать состояние вегетативной нервной системы. На основе полученных данных построена классификационная функция, включающая в себя 14 параметров ПФС, значение которой позволяет оценить эффективность процесса коррекции с помощью применения разработанной БТС.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. **Петренко А.А.** Разработка биотехнической системы для оценки и коррекции психофизиологического состояния человека / А.А. Петренко, В.С. Кубланов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2022. – Т. 12. – № 3. – С. 28–45.

2. **Петренко А.А.** Применение нейроэлектростимуляции для улучшения параметров рабочей памяти и внимания / А.А. Петренко, В.С. Кубланов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – №6. – С. 96–105.

Публикации, входящие в перечень изданий баз данных SCOPUS и Web of Science

3. **Petrenko A.** The application of multichannel neuro-electrostimulation for working memory and attention improvement of young subjects / A. Petrenko, V. Kublanov // Proceedings of the 14th international joint conference on biomedical engineering systems and technologies. – 2021. – Vol. 1. – P. 255-260.

4. **Petrenko A.A.** Development of the learning ability classification method based on personality qualities / A.P. Tashkinova, A.A. Petrenko, A.A. Pomosova, A.Yu. Dolganov, // AIP Conference Proceedings 2174. – 2019. – 020096. – P.1-6.

5. **Petrenko A.A.** On the possibilities of neuro-electrostimulation for increasing learning parameters / A.A. Petrenko, V.S. Kublanov // Proceedings of the 11th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies. – 2018. – Vol. 4. – P. 338–344.

6. **Petrenko A.A.** The influence of neuroelectrostimulation on the functional and psychometric parameters in the problem of learning ability / A.P. Kozhevnikova, Petrenko A.A. // 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). – 2018. – P. 57–60.

7. **Petrenko A.A.** Biotechnical multichannel neuro-electrostimulation system for improving cognitive skills in the learning process / V.S. Kublanov, A.A. Petrenko, A.P. Kozhevnikova // Proceeding of the Telecommunication Forum (TELFOR). – 2017. – P. 1–4.

8. **Petrenko A.A.** Correction of attention in a learning ability task with using non-invasive neurostimulation of peripheral nervous system / V.S. Kublanov, A.A. Petrenko, A.S. Nabiullina // Proceedings of the 10th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC). – 2017. – Vol. 4. – P. 269–275.

9. **Petrenko A.A.** Enhancement of working memory using neuro-electrostimulation for accelerated learning, International Multi-Conference on Engineering / A.A. Petrenko, V.S. Kublanov // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – 2017. – P. 566–570.

10. **Petrenko A.A.** Application neuroelectrostimulation of a peripheral nervous system for correction of cognitive characteristics in a problem of learning ability / A.A. Petrenko, V.S. Kublanov // International Symposium on Cognitive Sciences, genomics and Bioinformanics, Symposium on Cognitive Sciences, genomics and Bioinformanics (CSGB). – 2016. – P. 21–26.

11. **Petrenko A.A.** Application of the non-invasive adaptive neuro-electrostimulation device for treatment of cognitive impairment in the model of attention deficit hyperactivity disorder / T.S. Petrenko, K.Yu. Retyunskiy, V.S. Kublanov, A.A. Petrenko // International Symposium on Cognitive Sciences, genomics and Bioinformanics (CSGB). – 2016. – P. 12–16.

Другие публикации

12. **Petrenko A.** Information measuring system for correction of working memory parameters in the learning processes / A.A. Petrenko, V.S. Kublanov // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Том 21. – № 2. – С. 36–46.

13. **Петренко А.А.** Применение метода нейроэлектростимуляции для повышения параметров памяти и внимания / А.А. Петренко, В.С. Кубланов // Труды международной научно-практической конференции на тему «Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук. – 2020. – Том 2. – С. 432–437.

14. **Петренко А.А.,** Кожевникова А.П. Улучшение рабочей памяти и внимания с помощью неинвазивной нейроэлектростимуляции периферической нервной системы в задаче обучаемости // Методы контроля и коррекции состояния организма спортсмена: монография / отв. ред. к.т.н., доц. В.П. Стрешков. – Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2017. – С. 119–127.

15. **Petrenko A.A.** Analysis of psychophysiological indicators of the functional state of a human operator during monotonous activity / A.A. Petrenko, V.S. Kublanov // Proceedings of the 12th Russian-German Conference on Biomedical Engineering. – 2016. – P.135–139.