

## ПРИМЕНЕНИЕ VR ДЛЯ КОНТРОЛЯ И КОРРЕКЦИИ ФОБИЧЕСКИХ ТРЕВОЖНЫХ РАССТРОЙСТВ

А. Ю. Тычков<sup>1</sup>, Д. С. Чернышов<sup>2</sup>, Н. С. Бофанова<sup>3</sup>,  
А. К. Алимуратов<sup>4</sup>, Д. Л. Овчинников<sup>5</sup>, А. М. Сотников<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
<sup>1</sup>tychkov-a@mail.ru, <sup>2</sup>deniska\_1980\_13@mail.ru, <sup>3</sup>box5887@mail.ru,  
<sup>4</sup>alansapfir@yandex.ru, <sup>5</sup>dmitry\_ovch@mail.ru, <sup>6</sup>sanchess2015@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Виртуальная реальность (VR) находит широкое применение в средствах медицинского назначения, в том числе для оценки и коррекции фобических тревожных расстройств. В работе предложена оригинальная методика контроля и коррекции фобических тревожных расстройств с применением виртуальной реальности. *Материалы и методы.* В работе проведен обзор и критический анализ способов и средств оценки тревожно-фобических расстройств посредством регистрации и цифровой обработки физиологических сигналов, а также приспособления различных сцен виртуальной реальности к текущему состоянию пользователя. *Результаты и выводы.* Представлена методика исследования фобических тревожных расстройств в среде VR, позволяющая адаптировать сцены VR под конкретного пользователя с учетом его индивидуальных особенностей и параметров поведения. Адаптация сцен VR осуществляется за счет подбора оптимального набора скрытых сигнальных паттернов, зарегистрированных на ЭКГ и ЭЭГ сигналах.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, фобические расстройства, цифровое пространство

**Для цитирования:** Тычков А. Ю., Чернышов Д. С., Бофанова Н. С., Алимуратов А. К., Овчинников Д. Л., Сотников А. М. Применение VR для контроля и коррекции фобических тревожных расстройств // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 4. С. 84–92. doi:10.21685/2307-5538-2021-4-10

## VR IMPLEMENTATION FOR CONTROL AND CORRECT PHOBIC ANXIETY DISORDERS

A.Yu. Tychkov<sup>1</sup>, D.S. Chernyshov<sup>2</sup>, N.S. Bofanova<sup>3</sup>,  
A.K. Alimuradov<sup>4</sup>, D.L. Ovchinnikov<sup>5</sup>, A.M. Sotnikov<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Penza State University, Penza, Russia  
<sup>1</sup>tychkov-a@mail.ru, <sup>2</sup>deniska\_1980\_13@mail.ru, <sup>3</sup>box5887@mail.ru,  
<sup>4</sup>alansapfir@yandex.ru, <sup>5</sup>dmitry\_ovch@mail.ru, <sup>6</sup>sanchess2015@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* Virtual reality (VR) is widely used in medical devices, including the assessment and correction of phobic anxiety disorders. The paper proposes an original technique for controlling and correcting phobic disorders from practical reality. *Materials and methods.* The paper provides a review and critical analysis of the methods and means for assessing anxiety-phobic disorders through the registration and digital processing of physiological signals, as well as the adaptation of various scenes of virtual reality to the current state of the user. *Results and Conclusions.* The article presents a methodology for studying phobic anxiety disorders in the VR environment, which makes it possible to adapt VR scenes for a specific user, taking into account his individual characteristics and behavior parameters. Adaptation of VR scenes is carried out by selecting the optimal set of hidden signal patterns recorded on the ECG and EEG signals.

**Keywords:** virtual reality, phobic disorders, digital space

**For citation:** Tychkov A.Yu., Chernyshov D.S., Bofanova N.S., Alimuradov A.K., Ovchinnikov D.L., Sotnikov A.M. VR implementation for control and correct phobic anxiety disorders. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;(4):84–92. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-4-10

### *Введение*

На современном этапе развития общества наблюдается тенденция к развитию и всестороннему применению информационных технологий в различных сферах жизнедеятельности человека. В условиях пандемии COVID-19 у населения возник наибольший запрос на программные продукты и системные решения в области удаленной коммуникации, видеотрансляции, хранения и передачи данных. Данное явление стало особенно актуально для развития «Цифровой медицины». Современные информационные технологии позволили врачу и пациенту оперативно взаимодействовать совместно на расстоянии друг от друга в режиме реального времени. Электронная почта, мессенджеры и программно-аппаратные средства для медицинских приложений стали значительно лидировать на рынке востребованных услуг.

Виртуальная реальность как инструмент развития информационных технологий находит все большее применение в сферах медицины при разработке анатомических и диагностических симуляторов, для тренировки первичных навыков в хирургии и стоматологии.

Особое внимание заслуживает вопрос лечения с помощью технологии VR тревожно-фобических расстройств, частота встречаемости которых в популяции значительно выросла в связи с негативными последствиями коронавирусной инфекции. Это необходимо для улучшения качества жизни трудоспособного населения, обеспечения восстановления их работоспособности, что является важным для восстановления экономики всех стран мира [1].

### *Виртуальная реальность*

Виртуальная реальность (VR) – это искусственно созданное представление реального мира в цифровом виде. VR создает эффекты, проецируемые на сознание человека и позволяют испытывать ощущения, максимально приближенные к реальным. Пользователями VR являются более 40 млн человек в мире (2019 – 35 млн чел., 2020 – 42 млн чел.) [2].

Технология VR прошла длинный путь от первых экспериментов в 50-х гг. XX в. до современных беспроводных шлемов в 20-х гг. XXI в. В настоящее время рынок виртуальных устройств формируется следующими компаниями-производителями: Epson BT-200, Google Glass, Oculus Rift, HTC Vive, Microsoft HoloLens, Lumus dk-32, Samsung GearVR, Facebook, Sony, Nokia и др. Публикационная и патентная активность данных организаций позволяет выделить четыре группы производителей, характеризующиеся как центры прироста нового знания в сфере VR, научно-образовательные центры мирового уровня, динамично развивающиеся подразделения R&D. В качестве стран публикации лидирующие позиции в 2020 г. в данной области занимают исследователи США (37 % рынка интеллектуальной собственности), Китай (31 % рынка интеллектуальной собственности), Япония (16 % рынка интеллектуальной собственности) и Южная Корея (11 % рынка интеллектуальной собственности). Россия в сегменте VR пока занимает не более 5 % мирового рынка интеллектуальной собственности [3].

Решением вопросов проектирования различных методик и систем медицинского назначения с использованием VR занимаются следующие научные школы: Московский государственный университет (Ю. Зинченко), Самарский государственный медицинский университет (В. Пятин); Университет Дьюка, США (С. Strabmann); INRIA, Франция (А. Rizzo); Университет Токио, Япония (S. Badia); Университет Фрайбурга, Германия (D. Freeman) и многие другие.

С. Strabmann, S. Eimler и другие ученые исследовали влияние VR при алкогольной зависимости и пищевых отравлениях [4]. S. Jerdan, M. Grindle и другие исследователи оценивали психометрические показатели человека при наличии фобических расстройств (страха выступлений, пауков, высоты, замкнутого пространства и др.) [5]. S. Badia, V. Quintero и иные разработчики проводили исследования VR для диагностики и терапии посттравматического стрессового расстройства и депрессии [6]. Однако информация о представленных решениях ограничена элементарными сценами, без адаптации к человеку. Отмечая высокую значимость трудов известных специалистов и наличие разработанных подходов к рассмотрению отдельных вопросов в области применения VR для оценки и коррекции тревожно-фобических расстройств, до настоящего времени существует огромный пробел в решении задач адаптации моделируемых сцен VR к индивидуальным особенностям поведения человека.

VR должна стать уникальным инструментом для создания новых методик и систем, обеспечивающих приспособление сцен VR к текущему состоянию пользователя.

### *Оценка состояния человека с фобическими тревожными расстройствами*

Согласно Международной классификации болезней 10 пересмотра (МКБ-10) фобии относятся к разделу F4 (невротические, связанные со стрессом и соматоформные расстройства). Рубрику «фобические тревожные расстройства» (F40 по МКБ-10) составили агорафобия (F40.0), социальные фобии (F40.1), специфические (изолированные) фобии (F40.2), другие фобические тревожные расстройства (F40.8), фобическое тревожное расстройство неуточненное (F40.9).

Согласно литературным данным [7], около 12 % населения земного шара (почти миллиард человек) имеют различные фобии, распространенные среди населения любого возраста. Терапией клинических форм фобических тревожных расстройств занимаются психиатры, но многие пациенты изначально обращаются к неврологам, терапевтам, врачам общей практики. Сложная задача для врача общемедицинского профиля – диагностика начальных проявлений тревожно-фобических расстройств, так как жалобы пациентов носят неспецифический характер и у врачей-специалистов недостаточно объективных инструментальных методов диагностики.

Фобия – иррациональный страх, неконтролируемый человеком, или устойчивое чувство тревоги в ситуациях или в ожидании определенного объекта, характерной особенностью является предметность, т.е. направленность страха на тот или иной объект. Известны различные фобические расстройства: страх, связанный с животными или насекомыми (кинофобия, страх собак), естественными природными силами (лилапсофобия, боязнь ураганов), боязнь определенных ситуаций или обстановки, например, клаустрофобия (страх замкнутых пространств) или другие фобии, например связанные со здоровьем, нозофобия (страх заболеть каким-либо заболеванием), лиссофобия (страх иметь психическое расстройство), танатофобия (навязчивый страх смерти) и др. [1, 8, 9].

В ходе взаимодействия с психотравмирующей ситуацией человек испытывает страх определенных ситуаций или внешних объектов, которые реальной опасности для него не представляют, поэтому человек избегает таких ситуаций или, преодолевая чувство страха, переносит их [8].

Страх – одна из древних и сильных эмоций, которые присущи всем людям, помогая проявлять активность в сложной критической ситуации. При страхе у человека происходит активация симпатической нервной системы, которая оказывает воздействие на все системы внутренних органов: учащается частота сердечных сокращений, расширяются зрачки, тормозится активность пищеварительных желез, активизируется работа эндокринной системы [1].

Пациенты, имеющие тревожно-фобические расстройства, согласно клиническим рекомендациям, поддаются комплексной оценке, включающей физикальное обследование (наружный осмотр, определение роста и массы тела, уровня физического развития, состояния кожных покровов, измерение пульса, артериального давления, лабораторную диагностику, общий анализ крови с исследованием лейкоцитарной формулы, биохимический анализ крови, общий анализ мочи, анализ крови на гормоны щитовидной железы) [10]. Также проводится инструментальная диагностика, включающая проведение электроэнцефалографии, электрокардиографии, проведение магнитно-резонансной томографии головного мозга.

Результатом оценки деятельности сердечно-сосудистой системы является вывод значений частоты сердечных сокращений и вариабельности сердечного ритма. Как правило, наличие страхов и переживаний вызывают у человека увеличение частоты сердечных сокращений более чем на 40 ударов в минуту в сравнении с нормальным значением, достигая при этом 120 и более ударов в минуту [11]. В свою очередь, вариабельность сердечного ритма представляет собой физиологическое изменение временных интервалов между последовательными сокращениями сердца [12].

В качестве источника информации об активизации нейронов головного мозга на внешний раздражитель выступает электроэнцефалографический сигнал, который регистрируется с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ) [13]. ЭЭГ преимущественно отражает медленные колебания мембранного потенциала нервных и глиальных клеток коры головного мозга, вызываемые воздействием нейромедиаторов. Каждое эмоциональное состояние сопровождается периодичностью появления на ЭЭГ определенных сигнальных паттернов и ритмов: дельта, тета, альфа, бета. Исследование частотных ритмов ЭЭГ показало [14], что амплитудное значение

отношения альфа/бета уменьшается в период фобических расстройств. Меньшее значение отношения альфа/бета волн означает больший процент эмоциональной активности. Также в доступной литературе отмечается [8], что негативные эмоции способствуют усилению тета-ритмов преимущественно в правом полушарии головного мозга, а сила эмоций показывает отрицательную связь между диапазонами дельта- и альфа-ритмов, более выраженную в центральных и передних отделах обоих полушарий головного мозга.

В работе [15] утверждается, что понимание физиологических сигналов становится важным аспектом в повседневной жизнедеятельности, влияющим на вербальное и невербальное поведение человека. С развитием технологий интерфейса мозг-компьютер [16] и нейровизуализации [17] стало возможным беспроводным путем и удаленно фиксировать сигналы головного мозга, что позволяет делать выводы об психологических и психических изменениях поведения человека.

Согласно клиническим рекомендациям Российского общества психиатров для пациентов с тревожно-фобическими расстройствами, необходимо проведение экспериментально-психологической диагностики, включающей использование различных шкал и опросников: шкала тревоги Гамильтона, шкала тревоги Бека, интегративный тест тревожности, шкала Бека, стандартизированный клинический личностный опросник ММРІ, опросник для исследования личностных убеждений «Personal Beliefs Test», многомерная шкала перфекционизма, а также рекомендуется использование методик для психологической диагностики факторов риска психической дезадаптации и методик для психологической диагностики системы значимых отношений [8, 9].

Важное значение в лечении пациентов с тревожно-фобическими расстройствами имеют психотерапевтические методы: релаксационные методы психотерапии, использование методик на основе принципа биологической обратной связи, когнитивно-поведенческая терапия, использование лично-ориентированной психотерапии [8].

Внедрение методик психотерапии в виртуальную среду позволит создать методику и систему адаптивной оценки и коррекции тревожно-фобических расстройств человека. Технология VR позволит оказывать более эффективное воздействие на человека, потому что погружение в мир виртуальной реальности станет возможным не только за счет воображения пациента, но и благодаря дополнительным зрительным, слуховым, тактильным стимулам, генерируемым с помощью оборудования VR.

### *Программно-аппаратные средства VR в лечении фобических тревожных расстройств*

В условиях бурного развития информационных технологий и цифровизации населения создаются различные программно-аппаратные комплексы, системы и базы данных для VR в медицинском секторе.

Известны базы данных VR с моделями различных эмоциональных страхов и переживаний, таких как большая высота, полет на самолете и т.д. Примером таких баз служит C2Phobia, которая разработана специалистами в области психического здоровья, психиатрами, психологами и психотерапевтами. Используя гарнитуру VR, пациент постепенно попадает в анксиогенные ситуации. C2Phobia признана медицинским устройством, полноценным терапевтическим программным обеспечением. Следующая база данных PSIOUS предоставляет анимированные и живые среды VR и дополненной реальности (AR), а также 360-градусные видеоролики для лечения фобических расстройств. PSIOUS содержит 70 сцен VR. Следующая, Stim Response Virtual Reality предоставляет широкий спектр виртуальных миров для лечения акрофобии, аэрофобии и социальных фобий, а также для синхронизации физиологических данных пациента.

Известны также готовые системы, позволяющие проводить коррекцию фобических расстройств. Virtually Better – это система, доступная для кабинета терапевта, которая предназначена для предоставления терапевтических приложений, лечения фобий, беспокойства при общении, связанных с болевыми посттравматическими стрессовыми расстройствами, а также наркомании или алкогольной зависимости. Bravemind использовалась для лечения солдат, служивших в Ираке и Афганистане с тревожными расстройствами. Limbix содержит интерактивные сцены, состоящие из панорамных изображений и видео, которые терапевт может изменять в режиме реального времени.

Одними из самых популярных настольных приложений, доступных для гарнитур Oculus Rift и HTC Vive, являются The Climb, Ritchie's Plank Experience, Arachnophobia и Limelight, которые позволяют преодолеть страх высоты, арахнофобии, выступления с лекциями и презентациями.

Несмотря на значительное количество готовых программно-аппаратных решений, присутствующих на рынке VR для медицины, в том числе оценки и коррекции фобических расстройств, существует явный пробел в области приспособления известных и вновь разрабатываемых сцен VR к каждому конкретному пациенту. Человек индивидуален и обладает своим внутренним набором кодовых комбинаций, обеспечивающих бесперебойную работу биологических сигнальных систем организма. Однако когда человек попадает в экстремальную ситуацию, он не всегда способен контролировать свои чувства, страхи, переживания. Кроме того, каждый человек имеет свой порог восприимчивости. Следовательно, врач и пациент должны иметь объективный инструмент оценки уровня фобических расстройств конкретного человека, без нанесения ему дополнительного дискомфорта. В качестве такого инструмента может выступить оригинальная методика и система беспроводной регистрации и эффективной обработки физиологических сигналов, носителями которых являются центральная нервная и сердечно-сосудистая системы.

### *Методика исследования фобических тревожных расстройств в среде виртуальной реальности*

На основании проведенного обзора и анализа известных источников авторами сделаны вывод о необходимости формирования нового подхода к оценке и коррекции фобических тревожных расстройств в период погружения в среду VR. В работе предложена методика исследования фобических расстройств в среде виртуальной реальности (рис. 1), которая позволит повысить достоверность контроля поведения человека в период проявления фобических расстройств за счет разработки новых способов поиска скрытых паттернов на физиологических сигналах, а также за счет адаптации сцен VR под конкретного пользователя, с учетом его индивидуальных особенностей и параметров поведения.

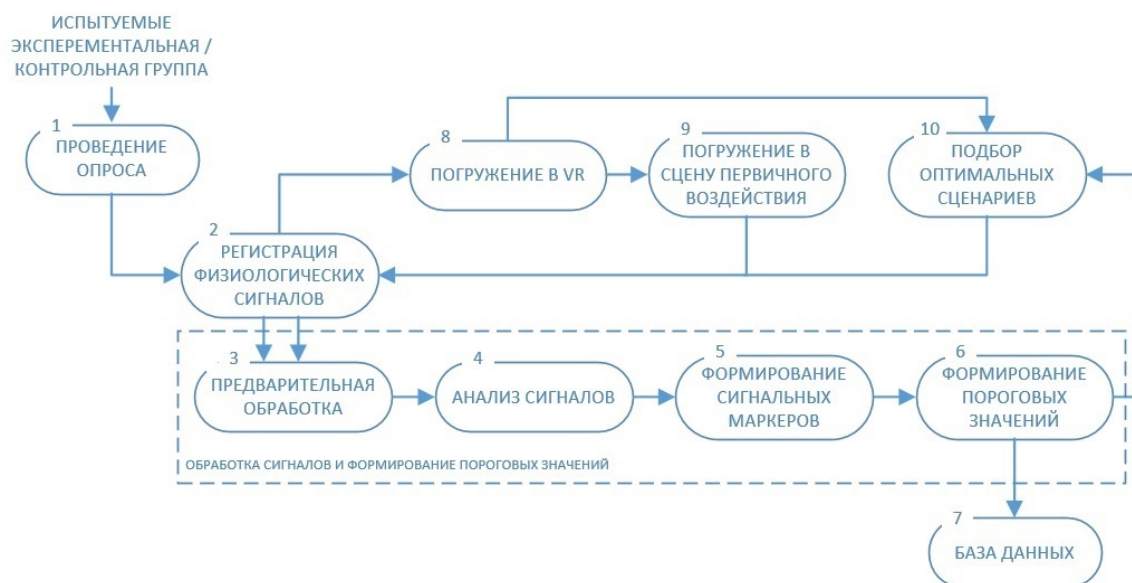


Рис. 1. Методика исследования фобических тревожных расстройств в среде виртуальной реальности

С целью проведения адекватного эксперимента и подтверждения работоспособности представленной методики исследования фобических тревожных расстройств в среде виртуальной реальности на первом этапе ее работы формируется выборка пациентов (испытуемых), представляющих собой контрольную и экспериментальную группы. Регистрация данных пациентов может быть осуществлена на базе лечебно-профилактических учреждений или в специализированной лаборатории. Коллектив авторов обладает необходимыми ресурсами для

подготовки выборки испытуемых для проведения исследования. Проведение методологического исследования будет осуществляться на базе научно-технологической лаборатории «Биомедицинские и когнитивные технологии» Пензенского государственного университета.

По результатам формирования репрезентативной выборки испытуемых каждому предоставляется возможность проведения опроса (тестирования) на предмет наличия конкретных фобий (блок 1), описание которых было приведено в разделе выше. В ходе каждого опроса, испытуемому будет предоставлено не менее 15 вопросов. При положительном ответе на вопрос испытуемый оценивает интенсивность переживаний по 10-балльной шкале.

На следующем этапе осуществляется регистрация физиологических сигналов (блок 2), в качестве источника информации выступают ЭКГ и ЭЭГ сигналы, отражающие изменения в сердечно-сосудистой и центральной нервной системах. Регистрация осуществляется посредством 12-канального для ЭКГ и 24-канального для ЭЭГ устройства компании Нейрософт. Таким образом, в результате исследования с каждого испытуемого будет регистрироваться не менее 26 физиологических сигналов. Регистрация ЭКГ и ЭЭГ сигналов осуществляется для контрольной и экспериментальной групп в период фоновой и активной фаз. Результаты регистрации заносятся в хранилище данных для последующего анализа и обработки результатов измерений врачом или специалистом.

Далее осуществляется предварительная обработка зарегистрированных данных на предмет анализа и подавления помех и артефактов в сигналах (блок 3), сегментации на составные части с целью выделения информативно значимых параметров, а также выделение информативных участков исследуемых сигналов (блок 4), поиск и распознавание скрытых паттернов (блок 5) с целью формирования пороговых значений для различных состояний пациента в период фобических расстройств (блок 6). Далее все данные заносятся в базу данных (блок 7).

На следующем этапе осуществляется погружение испытуемого в один из сценариев воздействия в системе виртуальной реальности (блок 8) с дополнительной параллельной регистрацией тех же физиологических данных, что были описаны ранее. В результате погружения в среду виртуальной реальности испытуемому предоставляется сцена первичного воздействия (блок 9). В данной сцене испытуемый будет испытывать определенный дискомфорт и страхи, провоцируемые средой VR и контролируемые врачом или специалистом. Как было отмечено ранее, на каждом этапе погружения в среду VR осуществляется параллельная регистрация физиологических сигналов, обработка которых позволит врачу или специалисту сделать вывод об изменении пороговых значений скрытых паттернов фобических тревожных расстройств и подбора оптимальных сценариев воздействия VR для осуществления оценки и коррекции фобических расстройств.

Таким образом, представленная методика исследования фобических тревожных расстройств в среде VR позволит создать предпосылки для разработки беспроводной и бесконтактной регистрации в условиях свободной двигательной активности пациента биотехнической системы оперативной оценки и коррекции фобических расстройств в условиях VR.

### *Заключение*

Виртуальная реальность (VR) является оригинальным инструментом для создания новых методик и систем, обеспечивающих приспособление сцен VR к текущему состоянию пользователя в условиях наличия фобических тревожных расстройств. Человек индивидуален и обладает своим внутренним набором кодовых комбинаций, регистрация которых возможна посредством физиологических сигналов, носителями которых являются центральная нервная и сердечно-сосудистая системы. В работе проведен обзор и критический анализ способов и средств оценки фобических тревожных расстройств посредством физиологических сигналов и сцен виртуальной реальности. Повысить достоверность контроля поведения человека в период проявления фобических расстройств возможно за счет разработки новых способов поиска скрытых паттернов на физиологических сигналах, а также за счет адаптации сцен VR под конкретного пользователя, с учетом его индивидуальных особенностей и параметров поведения. В работе представлена методика исследования фобических тревожных расстройств в среде VR, позволяющая создать предпосылки для разработки беспроводной и бесконтактной регистрации в условиях свободной двигательной активности пациента биотехнической системы оперативной оценки и коррекции фобических расстройств в условиях VR.

## Список литературы

1. Корабельникова Е. А. Тревожные расстройства в условиях пандемии COVID-19 // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2021. № 16. С. 79–85.
2. Скворцов К. А. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения // Моя профессиональная карьера. 2019. Т. 3, № 5. С. 183–187
3. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «технологии виртуальной и дополненной реальности». М., 2019. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf>
4. Straßmann C., Arntz A., Eimler S. C. Under The (Plastic) Sea-Sensitizing People Toward Ecological Behavior Using Virtual Reality Controlled by Users' Physical Activity // 2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR). Utrecht, Netherlands, 2020. P. 166–173.
5. Jerdan S. W., Grindle M., Woerden van H. C., Kamel Boulos M. N. Head-mounted virtual reality and mental health: Critical review of current research // Med. Internet Res. 2018. Vol. 3, № 6. P. 14–22.
6. Badia S. B., Quintero L. V., Cameirao M. S. [et al.]. Toward emotionally adaptive virtual reality for mental health applications // IEEE J. Biomed. Health Inform. 2019. Vol. 23, № 5. P. 1877–1887.
7. Тычков А. Ю., Алимуратов А. К., Чураков П. П. [и др.]. Влияние виртуальной реальности на психическое здоровье при проектировании автоматизированных систем управления // 4-я научная школа по динамике сложных сетей и их применению в интеллектуальной робототехнике (DCNAIR) (7–9 сентября 2020 г.). Иннополис, Россия. 2020. С. 248–250.
8. Тычков А. Ю., Алимуратов А. К., Агейкин А. В., Светлов А. В. Определение психогенных маркеров в речевых сигналах с использованием теории ННТ // Инженерия и телекоммуникации (ЕнТ-МФТИ) (15–16 ноября 2018 г.). М., 2018. С. 184–187. doi: 10.1109/ЕнТ-МФТИ.2018.00048
9. Бофанова Н. С., Буланов А. А., Яворский А. С., Алехина Е. В. Виртуальная реальность как современное направление в реабилитации пациентов с фантомной болью в конечностях // Российский журнал боли. 2021. Т. 19, № 2. С. 33–37.
10. Харитонов С. В. Основы когнитивно-поведенческой психотерапии: Руководство по когнитивно-поведенческой психотерапии. М.: Психотерапия, 2017.
11. Kometer H., Luedtke S., Stanuch K. [et al.]. The effects virtual reality has on physiological responses as compared to two-dimensional video // Adv. Stud. Sci. 2010. № 1. P. 1–21.
12. Павлов К. И., Мухин В. Н., Сырцев А. В. [и др.]. Метод variability сердечного ритма в исследовании когнитивных функций и профессиональной адаптации военнослужащих // Медицинский академический журнал. 2017. Т. 17, № 4. С. 7–17.
13. Wang T.-C., Sit C. H.-P., Tang T.-W., Tsai C.-L. Psychological and physiological responses in patients with generalized anxiety disorder: The use of acute exercise and virtual reality environment // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17, № 13. P. 4855.
14. Wen T. Y., Mohd Aris S. A. Electroencephalogram (EEG) stress analysis on alpha/beta ratio and theta/beta ratio // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2020. Vol. 17, № 1. P. 175–182.
15. Suhaimi N. S., Mountstephens J., Teo J. EEG-based emotion recognition: A state-of-the-art review of current trends and opportunities // Computational Intelligence and Neuroscience. 2020. doi: 10.1155/2020/8875426
16. Rashid M., Sulaiman N., Majeed A. P. P. [et al.]. Current status, challenges, and possible solutions of EEG-based brain-computer interface: A comprehensive review // Front. Neurobot. 2020. Vol. 14. doi: 10.3389/fnbot.2020.00025.eCollection 2020
17. Piradov M. A., Tanashyan M. M., Krotenkova M. V. [et al.]. State-of-the-art neuroimaging techniques // Clinical Neurology. 2015. Vol. 9, № 4. P. 11–18.

## References

1. Korabel'nikova E.A. Anxiety disorders in the context of the COVID-19 pandemic. *Meditsinskiy vestnik Severnogo Kavkaza = Medical Bulletin of the North Caucasus*. 2021;(16):79–85. (In Russ.)
2. Skvortsov K.A. Virtual and augmented reality technologies: opportunities and obstacles of application. *Moya professional'naya kar'era = My professional career*. 2019;3(5):183–187. (In Russ.)
3. *Dorozhnaya karta razvitiya «skvoznoy» tsifrovoy tekhnologii «tekhnologii virtual'noy i dopolnennoy real'nosti» = Roadmap for the development of "end-to-end" digital technology "technologies of virtual and augmented reality"*. Moscow, 2019. (In Russ.). Available at: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf>
4. Straßmann C., Arntz A., Eimler S.C. Under The (Plastic) Sea-Sensitizing People Toward Ecological Behavior Using Virtual Reality Controlled by Users' Physical Activity. *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*. Utrecht, Netherlands, 2020:166–173.
5. Jerdan S.W., Grindle M., Woerden van H. C., Kamel Boulos M. N. Head-mounted virtual reality and mental health: Critical review of current research. *Med. Internet Res.* 2018;3(6):14–22.

6. Badia S.B., Quintero L.V., Cameirao M.S. [et al.]. Toward emotionally adaptive virtual reality for mental health applications. *IEEE J. Biomed. Health Inform.* 2019;23(5):1877–1887.
7. Tychkov A.Yu., Alimuradov A.K., Churakov P.P. [et al.]. The influence of virtual reality on mental health in the design of automated control systems. *4-ya nauchnaya shkola po dinamike slozhnykh setey i ikh primeneniyu v intellektual'noy robototekhnike (DCNAIR) (7–9 sentyabrya 2020 g.) = 4th Scientific School on the dynamics of complex networks and their application in intelligent robotics (DCNAIR) (September 7–9, 2020)*. Innopolis, Rossiya. 2020:248–250. (In Russ.)
8. Tychkov A.Yu., Alimuradov A.K., Ageykin A.V., Svetlov A.V. Determination of psychogenic markers in speech signals using HHT theory. *Inzheneriya i telekommunikatsii (EnT-MFTI) (15–16 noyabrya 2018 g.) = Engineering and Telecommunications (EnT-MIPT) (November 15-16, 2018)*. Moscow, 2018:184–187. (In Russ.). doi: 10.1109/EnT-MFTI.2018.00048
9. Bofanova N.S., Bulanov A.A., Yavorskiy A.S., Alekhina E.V. Virtual reality as a modern direction in the rehabilitation of patients with phantom limb pain. *Rossiyskiy zhurnal boli = Russian Journal of Pain*. 2021;19(2):33–37. (In Russ.)
10. Kharitonov S.V. *Osnovy kognitivno-povedencheskoy psikhoterapii: Rukovodstvo po kognitivno-povedencheskoy psikhoterapii = Fundamentals of cognitive behavioral psychotherapy: A guide to cognitive behavioral psychotherapy*. Moscow: Psikhoterapiya, 2017. (In Russ.)
11. Kometer H., Luedtke S., Stanuch K. [et al.]. The effects virtual reality has on physiological responses as compared to two-dimensional video. *Adv. Stud. Sci.* 2010;(1):1–21.
12. Pavlov K.I., Mukhin V.N., Syrtsev A.V. [et al.]. Method of heart rate variability in the study of cognitive functions and professional adaptation of military personnel. *Meditsinskiy akademicheskiy zhurnal = Medical Academic Journal*. 2017;17(4):7–17. (In Russ.)
13. Wang T.-C., Sit C. H.-P., Tang T.-W., Tsai C.-L. Psychological and physiological responses in patients with generalized anxiety disorder: The use of acute exercise and virtual reality environment. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17(13):4855.
14. Wen T.Y., Mohd Aris S.A. Electroencephalogram (EEG) stress analysis on alpha/beta ratio and theta/beta ratio. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2020;17(1):175–182.
15. Suhaimi N.S., Mountstephens J., Teo J. EEG-based emotion recognition: A state-of-the-art review of current trends and opportunities. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2020. doi: 10.1155/2020/8875426
16. Rashid M., Sulaiman N., Majeed A.P.P. [et al.]. Current status, challenges, and possible solutions of EEG-based brain-computer interface: A comprehensive review. *Front. Neurobot.* 2020;14. doi: 10.3389/fnbot.2020.00025.eCollection 2020
17. Piradov M.A., Tanashyan M.M., Krotenkova M.V. [et al.]. State-of-the-art neuroimaging techniques. *Clinical Neurology*. 2015;9(4):11–18.

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

##### **Александр Юрьевич Тычков**

доктор технических наук,  
профессор кафедры радиотехники  
и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: tychkov-a@mail.ru

##### **Alexander Yu. Tychkov**

Doctor of technical sciences,  
professor of the sub-department  
of radioengineering and radioelectronic systems,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

##### **Денис Сергеевич Чернышов**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: deniska\_1980\_13@mail.ru

##### **Denis S. Chernyshov**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia )

##### **Наталья Сергеевна Бофанова**

кандидат медицинских наук,  
доцент кафедры неврологии,  
нейрохирургии и психиатрии,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: box5887@mail.ru

##### **Natalia S. Bofanova**

Candidate of medical sciences,  
associate professor of the sub-department  
of neurology, neurosurgery and psychiatry,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia )



**Алан Казанферович Алимуратов**

кандидат технических наук,  
директор бизнес-инкубатора  
Научно-исследовательский институт  
фундаментальных и прикладных исследований,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: alansapfir@yandex.ru

**Дмитрий Леонидович Овчинников**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: dmitry\_ovch@mail.ru

**Александр Михайлович Сотников**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: sanchess2015@yandex.ru

**Alan K. Alimuradov**

Candidate of technical sciences,  
director of the business incubator  
of research institute for fundamental  
and applied research,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia )

**Dmitry L. Ovchinnikov**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia )

**Alexander M. Sotnikov**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia )

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 16.08.2021**

**Поступила после рецензирования/Revised 24.08.2021**

**Принята к публикации/Accepted 29.09.2021**