ROBOT AVATAR —

A MEANS OF HUMAN
TELEPRESENCE
IN SPACE

РОБОТ-АВАТАР —

СРЕДСТВО ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ
ЧЕЛОВЕКА В КОСМОСЕ

Valery Y. KLYUSHNIKOV,
Dr. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Chief
Researcher, Central Research Institute of
Machine Building, Roscosmos,
Moscow, Russia,
wklj59@yandex.ru

Валерий Юрьевич КЛЮШНИКОВ,
доктор технических наук, старший научный
сотрудник, главный научный сотрудник
АО «Центральный научно-исследовательский
институт машиностроения», Роскосмос,
Москва, Россия,
wklj59@yandex.ru

Svetlana A. RODKINA,
Physiotherapist, Children's Medical Center,
Presidential Administration,
Moscow, Russia,
svetlanarod810@gmail.com

Светлана Александровна РОДЬКИНА,
врач лечебной физкультуры, физиотерапевт
ФГБУ «Детский медицинский центр»
Управления делами Президента РФ,
Москва, Россия,
svetlanarod810@gmail.com

ABSTRACT | The article analyzes the prospects for the creation and practical use of robot avatars technology intended for the exploration, development and use of space. The possible appearance of the avatar and the system for interfacing a robot avatar with a human operator is determined.

Keywords: *avatar, anthropomorphic robot, telepresence, neurointerface, human operator*

АННОТАЦИЯ | В статье проведен анализ перспектив создания и практического использования технологии роботов-аватаров, предназначенных для исследования, освоения и использования космоса. Определен возможный облик аватара и системы сопряжения робота-аватара с человеком-оператором.

Ключевые слова: *аватар, антропоморфный робот, телеприсутствие, нейроинтерфейс, человек-оператор*

ВВЕДЕНИЕ

Космос — исключительно враждебная среда, к обитанию в которой человеческая физиология не приспособлена. Отсутствие силы тяжести вызывает атрофию поперечно-полосатой мускулатуры (мышц туловища и конечностей, миокарда), деминерализацию костной ткани, сопровождаемую увеличением хрупкости костей, перераспределение жидкости и обезвоживание организма, сердечно-сосудистые нарушения, изменения сенсорного восприятия, нарушения проприоцепции, равновесия, искажение управления движениями тела.

Воздействие космической радиации, в частности тяжелых заряженных частиц, приводит к гибели живых клеток органов и тканей человека, вызывает мутации и реакции, следствием которых может быть отказ иммунной системы, системы костного мозга, развитие онкологических заболеваний, дегенерация мозговой ткани, сопровождаемая ухудшением памяти, когнитивных способностей, и многое другое.

Для нормального существования человека необходимо наличие магнитного поля с характеристиками, аналогичными характеристикам магнитного поля Земли. В противном случае гипوماгнитные условия будут оказывать отрицательное воздействие, изучение которого в настоящее время продолжается.

Чем больше мы получаем знаний о космосе, тем меньше у нас остается уверенности в том, что человек сможет беспрепятственно жить и работать там. А без присутствия человека исследование, освоение, а тем более использование космоса практически лишено смысла. В этой связи было бы целесообразно направить усилия на создание технологий телеприсутствия человека во враждебных средах, в том числе — и в первую очередь — в космосе и на планетах Солнечной системы.

Технология телеприсутствия позволяет оператору получать информацию о результатах «своих» действий и реализовать возможность практически полноценной, виртуально дополненной деятельности в открытом космосе или на поверхности другой планеты.

В общем случае под телеприсутствием (от англ. telepresence) понимают функциональность, позволяющую оператору устройства телеприсутствия получать сенсорную информацию (видео, звук, возможно, тактильную и др.) из удаленной точки при помощи различных датчиков, установленных на неподвижной или подвижной платформе [1]. В последнее время технологию телеприсутствия называют также технологией аватара¹.

Очевидно, технология телеприсутствия, предназначенная для космических применений, будет подразумевать не только получение информации, но и какие-то активные действия, дистанционно задаваемые подвижной платформе (роботу-аватару) человеком-оператором. Благодаря обратной связи между сенсорами робота и аналогичными сенсорными системами человека оператор получает информацию о результатах «своих» действий и таким образом реализует возможность практически полноценной, виртуально дополненной деятельности в открытом космосе или на поверхности другой планеты.

Целью данной статьи является анализ перспектив создания и практического использования технологии аватаров, предназначенных для исследования, освоения и использования космоса, а также определение облика аватаров и систем сопряжения робота-аватара с человеком-оператором.

1 ВОЗМОЖНЫЙ ОБЛИК РОБОТА-АВАТАРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В КОСМОСЕ И НА ПЛАНЕТАХ С АГРЕССИВНЫМИ СРЕДАМИ ОБИТАНИЯ

Для осмысленных и быстрых действий в такой враждебной среде, как космос, необходимо максимально возможное соответствие между сенсорными системами и исполнительными органами робота и человека: принятие решений и действия в экстремальных условиях больше основаны на рефлексх, спонтанных, интуитивных действиях, а не на действиях, четко осмысленных и осознанно спланированных.

В соответствии с учением Н. А. Бернштейна, успех в процессе эволюции в формировании двигательного контроля и управления у человека связан с полным представлением о структуре и составе осваиваемого движения. Поэтому наиболее эффективно человек может развить двигательное умение и маневренность применительно именно к антропоморфному телу [2, 3]. Следовательно, робот-аватар должен быть максимально антропоморфным. Режим копирующего управления, основанного на рефлексх и естественных манипуляциях своим телом, дает кратный выигрыш в скорости и точности по сравнению с управлением при помощи кнопок или джойстиков.

В [2] отмечается, что антропоморфного робота-аватара, управляемого дистанционно в копирующем режиме, можно было создать уже в конце прошлого века: уровень развития науки и техники вполне позволял это сделать. Проблема в постановке такой задачи и организации ее решения.

В табл. 1 представлены некоторые современные антропоморфные роботы, в том числе два робота космического применения — Robonaut 2 (США) и FEDOR (Россия), способные функционировать в режиме ограниченного телеприсутствия.

Современные роботы представляют собой композитные металлопластиковые конструкции с электромеханическими приводами высокой степени подвижности (до 50 приводов). Системы управления построены на основе распределенной вычислительной системы с программным обеспечением, основанным на различных алгоритмах, которые, как правило, представляют ноу-хау фирмы-разработчика.

Разработка космического робота Robonaut началась еще в 1997 году, однако первая серия роботов, выпущенная в начале 2000-х, так и не полетела в космос. В 2006 году проектом заинтересовалась компания General Motors. В феврале 2010 года был продемонстрирован первый экземпляр R2. 24 февраля 2011 года Robonaut был доставлен на МКС, где он и по сей день выполняет некоторые действия, требующиеся в ходе проведения плановых экспериментов.

До 2012 года операторы на Земле, управляя роботом R2 на борту МКС в режиме аватара, практиковались в пользовании различными переключателями, а также в очистке поручней на борту станции.

Антропоморфный робот FEDOR, оснащенный системой распознавания и синтеза речи, в августе 2019 года совершил полет на Международную космическую станцию на корабле «Союз МС-14» в центральном кресле пилота. Робот способен работать в режиме аватара под управлением оператора через систему спутниковой связи.

¹Аватар (санскр. अवतार, avatāra — «нисхожде́ние») — термин в философии индуизма, обычно используемый для обозначения нисхождения божества на землю, его воплощения в человеческом облике.

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ СОЗДАНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ

Робот, год разработки, разработчик	Назначение (функции)	Характеристики
Robonaut 2 (R2) , 2010 г., General Motors и NASA при содействии Oceaneering Space Systems, США [4]	<p>Антропоморфный робот, отправленный на Международную космическую станцию для помощи космонавтам в выполнении различных задач. Может захватывать объекты, переключать различные коммутирующие устройства, осуществлять манипуляции с человеческими инструментами. Оснащен автономным и телеоперационным режимами (с МКС или Земли). В условиях Земли способен поднять груз весом 9,07 кг, удерживая его как вблизи туловища, так и на вытянутой руке.</p>	<p>Рост – 101,6 см (от талии до головы). Ширина плеч – 78,74 см. Вес – 149,7 кг.</p>
Eccerobot (Embodied Cognition in a Compliantly Engineered Robot), 2011 г., Университет Сассекса, Великобритания [4]	<p>Антропоморфный робот с антропомиметическим дизайном (искусственные кости, мышцы и сухожилия). Может безопасно взаимодействовать с людьми, в частности обниматься. Может вести разговор по скайпу, с направлением головы и жестами, контролируруемыми удаленным оператором.</p>	<p>Рост – 105 см. Ширина плеч – 48 см. Вес – 26 кг.</p>
Atlas , 2016 г., Boston Dynamics (в рамках конкурса, объявленного DARPA), США [4]	<p>Самый ловкий из существующих антропоморфных роботов. Способен быстро двигаться по пересеченной местности и рыхлому снегу, динамически балансировать, поднимать и перемещать грузы, бегать, прыгать и делать сальто назад, забираться на преграды с помощью рук, сохранять равновесие после толчков и самостоятельно вставать после падения. Может чувствовать препятствия и вести переговоры во время движения по пересеченной местности.</p>	<p>Рост – 150 см. Вес – 80 кг. Скорость перемещения – 5,4 км/ч. Переносимая нагрузка – 11 кг. Зрение – на основе лидара и стереокамеры. Число сочленений – 28. Источник энергии – батарея. Высокое соотношение прочности и веса. Предусмотрены режимы автономного движения и движения в режиме телеуправления. Предназначен для эксплуатации на открытом воздухе и внутри зданий. Выполняется как с электрическим, так и с гидравлическим приводом.</p>
FEDOR (Final Experimental Demonstration Object Research), 2014-2019 гг., НПО «Андроидная техника» и Фонд перспективных исследований [4, 5]	<p>Способен открывать дверь, работать с дрелью и другими инструментами, садиться и водить автомобиль и квадроцикл в автономном режиме, проходить лабиринт «змейка», подниматься по ступеням.</p>	<p>Рост – 184 см. Ширина плеч – 52 см (48 см в космической версии). Вес – 160 кг (105 в космической версии). Мощность силовой установки – 13,5 кВт. Система электропитания – двойная: по кабелю и от встроенного аккумулятора. При подготовке к космической миссии были использованы две встроенные АКБ от скафандра «Орлан». Длительность работы в автономном режиме – 1 час. Количество сервоприводов – 48. Для защиты от быстрого охлаждения при низких температурах оснащен системой подогрева важных узлов.</p>

Рис. 1. Технологии антропоморфных роботов

Из приведенных в табл. 1 антропоморфных роботов максимально похож на человека в плане анатомии Eeserobot. Он имеет около сотни искусственных мышц, отвечающих за движение. Особенно развита у машины мимика лица.

В части скоординированности и скорости передвижения на двух ногах наиболее продвинул робот Atlas, способный передвигаться по пересеченной местности, а также карабкаться по вертикальным поверхностям с помощью рук и ног, делать сальто и т. д. Первая версия, выпущенная в 2013 году, была оснащена кабелем, через который подавалось электропитание и осуществлялся контроль над роботом. Новая модификация, получившая имя Atlas Unplugged (беспроводной Atlas), работает на аккумуляторе и использует беспроводное управление.

В отличие от существующих, перспективные роботы-аватары, предназначенные для космических применений, должны:

- в полной мере реализовывать принципы удаленного телеприсутствия человека-оператора;
- иметь сенсорную систему и систему исполнительных органов, максимально соответствующие анатомии человека;
- обладать ограниченной (частичной) автономностью, необходимой в ситуации большой задержки или даже прерывания обмена данными с человеком-оператором;

— обладать устойчивостью по отношению к действующим неблагоприятным факторам космического пространства или других планет.

В отличие от первого требования остальные могут быть реализованы на основе существующих технологий (рис. 1).

Однако ключевое отличие аватаров от обычных роботов телеприсутствия заключается в том, что аватар должен быть «синхронизирован» с человеком-оператором: передавать полный спектр сигналов — данных об окружающей обстановке — и повторять его движения, повинаясь управляющим командам, формируемым интерфейсом «робот-аватар — человек-оператор». При этом информационные сигналы могут передаваться через канал сотовой или спутниковой связи с соответствующей задержкой [6], возрастающей по мере роста расстояния между роботом и человеком.

В марте 2018 года фонд XPRIZE сообщил о запуске конкурса по созданию роботов-аватаров. Соревнование будет спонсироваться авиакомпанией All Nippon Airways (ANA), а призовой фонд составит 10 млн долларов [7]. Само соревнование будет проходить в 2021 году. Команду-победителя объявят в начале 2022 года.

2 ИНТЕРФЕЙС МЕЖДУ ЧЕЛОВЕКОМ-ОПЕРАТОРОМ И РОБОТОМ-АВАТАРОМ

В настоящее время рассматриваются два возможных направления реализации интерфейса между роботом-аватаром и человеком:

- на основе повторения роботом реальных физических движений человека (человек находится в специальном костюме телеприсутствия)

- на основе нейроинтерфейса (человек неподвижно лежит или сидит).

Костюм телеприсутствия — это устройство, обеспечивающее двустороннюю связь «человек — аватар» и «аватар — человек». Система воссоздания реальности должна быть максимально точной. Очевидно, что при этом реальные условия, в которых будет находиться робот, для человека, находящегося в режиме оператора аватара, будут являться виртуальными. Сложнейшая задача кроется в передаче информации о реальном взаимодействии со средой от робота к человеку и адекватном восприятии ее человеком.

Костюм телеприсутствия представляет собой экзоскелет или мягкую экзоболочку со встроенными сенсорами и VR-шлем или VR-очки (рис. 2).

Прототипом костюма телеприсутствия может являться костюм-экзоскелет («внешний» скелет), представляющий собой автоматическую конструкцию, предназначенную для восстановления утраченных или усиления имеющихся функций опорно-двигательного аппарата человека.

Экзоскелет в режиме костюма телеприсутствия выполняет обратную (по отношению к упомянутой выше) функцию: передачи сигналов от опорно-двигательного аппарата человека-оператора роботу-аватару. При этом робот-аватар передает человеку информацию от своих сенсорных датчиков, по сути, усиливая сенсорные способности оператора.

VR-шлем или VR-очки предназначены для приема человеком-оператором аудиовизуальной информации от робота-аватара.

В целях более адекватного управления роботом-аватаром оператор может быть помещен в специальный подвес типа карданова (рис. 3) [12].

При этом карданов подвес обеспечивает согласованность ощущений вестибулярного аппарата оператора, сигналов от сенсоров конечностей робота-аватара и передаваемого им видеоряда. Оператор, свободно меняющий свое угловое положение в пространстве, сможет иметь тот же наклон относительно горизонта, что и корпус

Рис. 2. Экзоскелет – костюм телеприсутствия – и его элементы

Рис. 3. Оператор робота-аватара в кардановом подвесе

робота-аватара в космосе или на поверхности другого небесного тела.

Для передачи движения кисти руки и пальцев руки от оператора к роботу в настоящее время предлагается использовать технологию Intel RealSense, позволяющую отслеживать не только ладони, но и пальцы, и даже фаланги пальцев — до 22 точек на каждой кисти [13].

Экзоскелет (экзооболочка) оснащается различными видами сенсоров и устройств передачи информации в обоих направлениях: от человека к роботу-аватару и от аватара к человеку. При регистрации движения оцениваются углы, скорости и моменты сил сгибания конечностей в различных суставах, сила воздействия, скорость перемещения и величина давления на поверхность, а также электрические потенциалы мышц (ЭМГ), что позволяет оптимизировать связь между оператором и экзоскелетом и учитывать физиологические особенности оператора [14].

Нейроинтерфейс (или интерфейс «мозг — компьютер») — устройство для обмена информацией между мозгом и внешним устройством. Мысленные команды человека расшифровываются по записи электрической активности его головного мозга и передаются на объект управления, в роли которого может выступать любое электронное устройство, в том числе и космический робот [15].

Еще в конце 1960-х годов выяснилось, что произвольное управление активностью ответственных за движения нейронов возможно и без совершения синхронных движений [16]. Этот

Рис. 4. Интерфейс «мозг – компьютер» типа «нейронная пыль» («нейронное кружево»)

результат лежит в основе принципа управления роботом-аватаром при помощи мысли человека-оператора.

В начале 2000-х годов несколько лабораторий в различных странах мира начали конкурировать друг с другом в области разработки интерфейса «мозг — компьютер». В частности, исследователи имплантировали мультиэлектродные матрицы в моторную кору мозга человека, что позволяло операторам управлять роботизированным манипулятором [17]. К настоящему времени удалось добиться максимального контроля в управлении антропоморфной роботизированной рукой [18].

Считывание сигналов электрической активности мозга может производиться с помощью инвазивных или неинвазивных датчиков. Инвазивные датчики вживляются в кору головного мозга оперативным путем. Такие сенсоры считывают информацию с окружающих нейронов и отличаются более точным и чистым (без помех) сигналом.

Примером инвазивного нейроинтерфейса является стартап Neuralink (рис. 4), презентованный И. Маском в июле 2019 года [19], — новая технология беспроводного нейроинтерфейса с использованием так называемой нейронной пыли. Частицы нейронной пыли представляют собой кремниевые сенсоры размером 100 мкм, которые должны впрыскиваться прямо в кору головного мозга. Рядом, над твердой мозговой оболочкой, будет располагаться 3-миллиметровое устройство, которое сможет взаимодействовать с нейронной пылью при помощи ультразвука.

Неинвазивный интерфейс значительно безопасней с медицинской точки зрения. В частном случае он может представлять собой шлем или шапочку с электродами для снятия электроэнцефалограммы (ЭЭГ-электроды) и надевается на голову. Точность такого прибора несколько ниже [20, 21].

По способу активации мозга метод может быть независимым (эндогенная активация — воображение движения) и зависимым (экзогенная активация — демонстрация движения на экране). В первом случае для управления используются медленные корковые потенциалы, мю- (8–12 Гц), бета- (18–30 Гц) и гамма-ритмы (30–70 Гц) [22]. Во втором случае фокусировка внимания на внешнем зрительном стимуле приводит к хорошо выраженной реакции зрительной коры в сравнении с реакцией на стимул, оставленный без внимания, и намерения оператора расшифровываются на основе предварительно записанной разности реакций на замеченные и проигнорированные стимулы.

Помимо ЭЭГ для создания неинвазивного нейроинтерфейса может быть использована магнитоэнцефалография (МЭГ) [23] с использованием сверхпроводящих квантовых магнитометров. МЭГ обеспечивает лучшее временное и пространственное разрешение, чем ЭЭГ.

Другие неинвазивные методы регистрации активности мозга (отслеживание концентрации оксигемоглобина и дезоксигемоглобина в мозговом кровотоке посредством ближней инфракрасной спектроскопии — БИКС, функциональная магнитно-резонансная томография и др.) имеют худшие характеристики по временной задержке сигнала, более сложную аппаратную реализацию и т. д.

3 ЗАЩИТА ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА ОТ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ РОБОТА-АВАТАРА

В случае максимально реалистичной передачи информации оператору, при попадании робота-аватара в экстремальную ситуацию — столкновение с предметом, падение с высоты, сильное механическое воздействие, высокое давление, яркие вспышки, непереносимые звуки и так далее — существует опасность нанесения вреда здоровью человека, сопряженного с устройством. Поэтому все системы сопряжения должны быть настроены с учетом определенного диапазона действия и моментальным отключением синхронизации в случае возникновения подобной опасности и превышения допустимых порогов.

Также существуют и другие опасности, связанные с управлением роботом-аватаром, обу-

Экзоскелет в режиме костюма телеприсутствия передает сигналы от опорно-двигательного аппарата человека-оператора роботу-аватару. При этом робот-аватар передает человеку информацию от своих сенсорных датчиков, по сути, усиливая сенсорные способности оператора.

словленные в основном негативным побочным воздействием виртуальной реальности на организм человека. Среди таких эффектов: общий дискомфорт, головная боль, головокружение, нарушение работы сердечно-сосудистой и центральной нервной систем и др. [24].

В этой связи необходимо будет разработать систему медицинской и психологической профилактики для операторов аватаров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере увеличения объема знаний о последствиях воздействия факторов космического пространства на организм человека все в большей степени будет осознаваться необходимость развития технологии роботов-аватаров.

Несмотря на громкие заявления о скорых регулярных полетах к Луне, о будущей колонизации Марса и других планет, реальность представляет совершенно иную картину.

По нашему убеждению, уверенное движение вперед на данном историческом этапе освоения и использования космоса возможно лишь с использованием роботов-аватаров как средства телеприсутствия человека в космосе.

На аватаров могли бы быть возложены следующие функции:

- внекорабельная деятельность в открытом космосе;
- визуальные и напланетные (с помощью приборов) исследования небесных тел Солнечной системы, в том числе в экстремальных условиях (повышенная гравитация, агрессивная среда, высокие температура и давление и др.);
- строительно-монтажные работы в космосе, включая сборку больших конструкций;
- обслуживание производственных модулей;
- спасательные операции в космосе и на поверхности небесных тел и др.

Управление роботом-аватаром могло бы осуществляться с орбитальной (космической) станции или с напланетной базы, хорошо защищенной от неблагоприятных факторов космического пространства, или даже с Земли.

Литература

1. **Бойко А.** Телеприсутствие. Роботы телеприсутствия [Электронный ресурс] // RoboTrends. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/teleprisutstvie.-roboty-teleprisutstviya> (Дата обращения: 25.02.2020).
2. Подводный антропоморфный робот – аватар, или Зачем подводному роботу ноги [Электронный ресурс]. URL: <http://streltsovaleks.narod.ru/> (Дата обращения: 02.02.2020).
3. **Бернштейн Н.А.** Физиология движений и активность / под ред. академика О. Г. Газенко. М.: Наука, 1990. 494 с.
4. **Robots.** Your Guide to the World of Robotics [Электронный ресурс] // Robots. URL: <https://robots.ieee.org/robots/> (Дата обращения: 01.03.2020).
5. Робот Федор: особенности, характеристики и назначение [Электронный ресурс] // Robo Sapiens. Портал о робототехнике. 08.11.2017. URL: <https://robo-sapiens.ru/stati/robot-fedor/> (Дата обращения: 01.03.2020).
6. **Бойко А.** Аватары [Электронный ресурс] // RoboTrends. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/avatary> (Дата обращения: 01.02.2020).
7. Создание робота-аватара: что уже известно о конкурсе XPRIZE [Электронный ресурс] // Robo Hunter. Новости. 14.09.2018. URL: <https://robo-hunter.com/news/sozдание-robot-avatara-cto-uje-izvestno-o-konkurse-xprize13243> (Дата обращения: 02.02.2020).
8. HP Reverb – обзор нового VR сета [Электронный ресурс] // Хабр. 18.05.2019. URL: <https://habr.com/ru/post/452414/> (Дата обращения: 08.02.2020).
9. Toyota представила нового гуманоидного робота T-HR3 сета [Электронный ресурс] // Хабр. 26.11.2017. URL: <https://habr.com/ru/post/408413/> (Дата обращения: 08.02.2020).
10. **ExoHand.** New areas for action for man and machine [Электронный ресурс] // Festo. URL: <https://www.festo.com/group/en/cms/10233.htm> (Дата обращения: 08.02.2020).
11. Очки виртуальной реальности VR Shinecon [Электронный ресурс] // Интернет-магазин Ozon. URL: https://www.ozon.ru/context/detail/id/167297611/?utm_source=yandex_direct&utm_medium=cpc&utm_campaign=product_15500_mspt_dsa_all_tech_Igroviepristavki_normal_46099723&utm_term=_cbrx_2121356 (Дата обращения: 08.02.2020).
12. Способ Стрельцова принудительной угловой ориентации головы и таза человека-оператора в механизме подвеса, применяемого для дистанционного управления антропоморфным роботом-аватаром [Электронный ресурс] // URL: <http://streltsovaleks.narod.ru/HeadAndPelvis.html> (Дата обращения: 09.02.2020).
13. Технология Intel® RealSense™ [Электронный ресурс] // Корпорация Интел. URL: <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/architecture-and-technology/realsense-overview.html> (Дата обращения: 01.03.2020).
14. **Patton J., Mussa-Ivaldi F.** Robot-assisted adaptive training: custom force fields for teaching movement patterns // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2004. Vol. 51. No. 4. Pp. 636 – 646.
15. **Левицкая О. С., Лебедев М. А.** Интерфейс мозг – компьютер: будущее в настоящем // Вестник РГМУ. 2016. № 2. С. 4 – 16.
16. **Fetz E.E.** Operant conditioning of cortical unit activity // Science. 1969. Feb 28. Vol. 163. Iss. 3870. Pp. 955 – 958.
17. **Hochberg L.R., Bacher D., Jarosiewicz B., Masse N.Y., Simeral J.D., Vogel J. et al.** Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm // Nature. 2012. May 16. No. 485. Pp. 372 – 375. <https://doi.org/10.1038/nature11076>
18. **Collinger J.L., Wodlinger B., Downey J.E., Wang W., Tyler-Kabara E.C., Weber D.J. et al.** High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia // Lancet. 2013. Feb 16. Vol. 381. Iss. 9886. Pp. 557 – 564. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)61816-9
19. An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels. URL: <https://www.documentcloud.org/documents/6204648-Neuralink-White-Paper.html> (Дата обращения: 01.03.2020).
20. **Клопот С.** Нейроинтерфейс «Ростеха» поступит в продажу в 2019 году [Электронный ресурс] // Инвестиционный портал 365-invest. URL: <https://365-invest.com/neurointerfeys-rosteha-postupit-v-prodazhu-v-2019-godu/> (Дата обращения: 01.03.2020).
21. **Голованов Г.** Создан первый эффективный неинвазивный интерфейс [Электронный ресурс] // Хайтек+. 20.06.2019. URL: <https://hightech.plus/2019/06/20/sozdan-pervii-effektivnii-neinvazivnii-neirointerfeis> (Дата обращения: 15.12.2019).
22. **McFarland D.J., Krusienski D.J., Wolpaw J.R.** Brain-computer interface signal processing at the Wadsworth Center: mu and sensorimotor beta rhythms // Progress in Brain Research. 2006. Vol. 159. Pp. 411 – 419. DOI: 10.1016/S0079-6123(06)59026-0
23. **Mellinger J., Schalk G., Braun Ch., Preissl H., Rosenstiel W., Birbaumer N., Kübler A.** An MEG-based brain-computer interface (BCI) // Neuroimage. 2007. Jul 1. Vol. 36. No. 3. Pp. 581 – 593. DOI: 10.1201/b11821-21
24. **Kim H.K., Park J., Choi Y., Choe M.** Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment // Applied Ergonomics. 2018. Vol. 69. Pp. 66 – 73.

References

1. **Boyko A.** Teleprisutstvie. Roboty teleprisutstviya. RoboTrends. Available at: <http://robotrends.ru/robopedia/teleprisutstvie.-roboty-teleprisutstviya> (Retrieval date: 25.02.2020).
2. Podvodnyy antropomorfnyy robot – avatar, ili Zachem podvodnomu robotu nogi. Available at: <http://streltsovaleks.narod.ru/> (Retrieval date: 02.02.2020).
3. **Bernshteyn N.A.** Fiziologiya dvizheniy i aktivnost'. Ed. O. G. Gazenko. Moscow, Nauka, 1990. 494 p.
4. Robots. Your Guide to the World of Robotics. Robots. Available at: <https://robots.ieee.org/robots/> (Retrieval date: 25.01.2020).
5. Robot Fedor: osobennosti, kharakteristiki i naznachenie. Robo Sapiens. Portal o robototekhnike. 2017. Nov 08. Available at: <https://robo-sapiens.ru/stati/robot-fedor/> (Retrieval date: 25.01.2020).
6. **Boyko A.** Avatar. RoboTrends. Available at: <http://robotrends.ru/robopedia/avatar> (Retrieval date: 01.02.2020).
7. Sozdanie robota-avatora: chto uzhe izvestno o konkurse XPRIZE. Robo Hunter. Novosti. 2018. Sept 14. Available at: <https://robo-hunter.com/news/sozdanie-robota-avatora-chto-uje-izvestno-o-konkurse-xprize13243> (Retrieval date: 02.02.2020).
8. HP Reverb – obzor novogo VR seta. Khabr. 2019. May 18. Available at: <https://habr.com/ru/post/452414/> (Retrieval date: 08.02.2020).
9. Toyota predstavila novogo gumanoidnogo robota T-HR3 seta. Khabr. 2017. Nov 26. Available at: <https://habr.com/ru/post/408413/> (Retrieval date: 08.02.2020).
10. ExoHand. New areas for action for man and machine. Festo. Available at: <https://www.festo.com/group/en/cms/10233.htm> (Retrieval date: 08.02.2020).
11. Ochki virtual'noy real'nosti VR Shi-necon. Internet-magazin Ozon. Available at: https://www.ozon.ru/context/detail/id/167297611/?utm_source=yan-dex_direct&utm_medium=cpc&utm_campaign=product_15500_mspt_dsa_all_tech_Igroviepristavki_normal_46099723&utm_term=_cbrx_2121356 (Retrieval date: 08.02.2020).
12. Sposob Strel'tsova prinuditel'noy uglovoy orientatsii golovy i taza cheloveka-operatora v mekhanizme podvesa, primenyaemogo dlya distantsionnogo upravleniya antropomorfnyy robotom-avatarom. Available at: <http://streltsovaleks.narod.ru/HeadAndPelvis.html> (Retrieval date: 09.02.2020).
13. Tekhnologiya Intel® RealSense™. Intel. Available at: <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/architecture-and-technology/realsense-overview.html> (Retrieval date: 01.03.2020).
14. **Patton J., Mussa-Ivaldi F.** Robot-assisted adaptive training: custom force fields for teaching movement patterns. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2004, vol. 51, no. 4, pp. 636 – 646.
15. **Levitskaya O. S., Lebedev M. A.** Interfeys mozg – komp'yuter: budushchee v nastoyashchem. Vestnik RGMU, 2016, no. 2, pp. 4 – 16.
16. **Fetz E. E.** Operant conditioning of cortical unit activity. Science, 1969, Feb 28, vol. 163, iss. 3870, pp. 955 – 958.
17. **Hochberg L.R., Bacher D., Jarosiewicz B., Masse N.Y., Simeral J.D., Vogel J. et al.** Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm. Nature, 2012, May 16, no. 485, pp. 372 – 375. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature11076>
18. **Collinger J.L., Wodlinger B., Downey J.E., Wang W., Tyler-Kabara E.C., Weber D.J. et al.** High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia. Lancet, 2013, Feb 16, vol. 381, iss. 9886, pp. 557 – 564. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)61816-9
19. An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels. Available at: <https://www.documentcloud.org/documents/6204648-Neuralink-White-Paper.html> (Retrieval date: 01.03.2020).
20. **Klopov S.** Neyrointerfeys «Rostekha» postupit v prodazhu v 2019 godu. 365-invest. Available at: <https://365-invest.com/neyrointerfeys-rosteha-postupit-v-prodazhu-v-2019-godu/> (Retrieval date: 01.03.2020).
21. **Golovanov G.** Sozdan pervyy effektivnyy neinvazivnyy interfeys. Khaytek+. 2019. Jun 20. Available at: <https://hightech.plus/2019/06/20/sozdan-pervii-effektivnii-neinvazivny-neiointerfeis> (Retrieval date: 01.03.2020).
22. **McFarland D.J., Krusienski D.J., Wolpaw J.R.** Brain-computer interface signal processing at the Wadsworth Center: mu and sensorimotor beta rhythms. Progress in Brain Research, 2006, vol. 159, pp. 411 – 419. DOI: 10.1016/S0079-6123(06)59026-0
23. **Mellinger J., Schalk G., Braun Ch., Preissl H., Rosenstiel W., Birbaumer N., Kübler A.** An MEG-based brain-computer interface (BCI). Neuroimage, 2007, Jul 1, vol. 36, no. 3, pp. 581 – 593. DOI: 10.1201/b11821-21
24. **Kim H.K., Park J., Choi Y., Choe M.** Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. Applied Ergonomics, 2018, vol. 69, pp. 66 – 73.

© Ключников В.Ю., Родькина С.А., 2020

История статьи:

Поступила в редакцию: 03.02.2020

Принята к публикации: 24.02.2020

Модератор: Дмитрий С.В.

Конфликт интересов: отсутствует

Для цитирования:

Ключников В.Ю., Родькина С.А. Робот-аватар – средство телеприсутствия человека в космосе // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 2. С. 60-69.