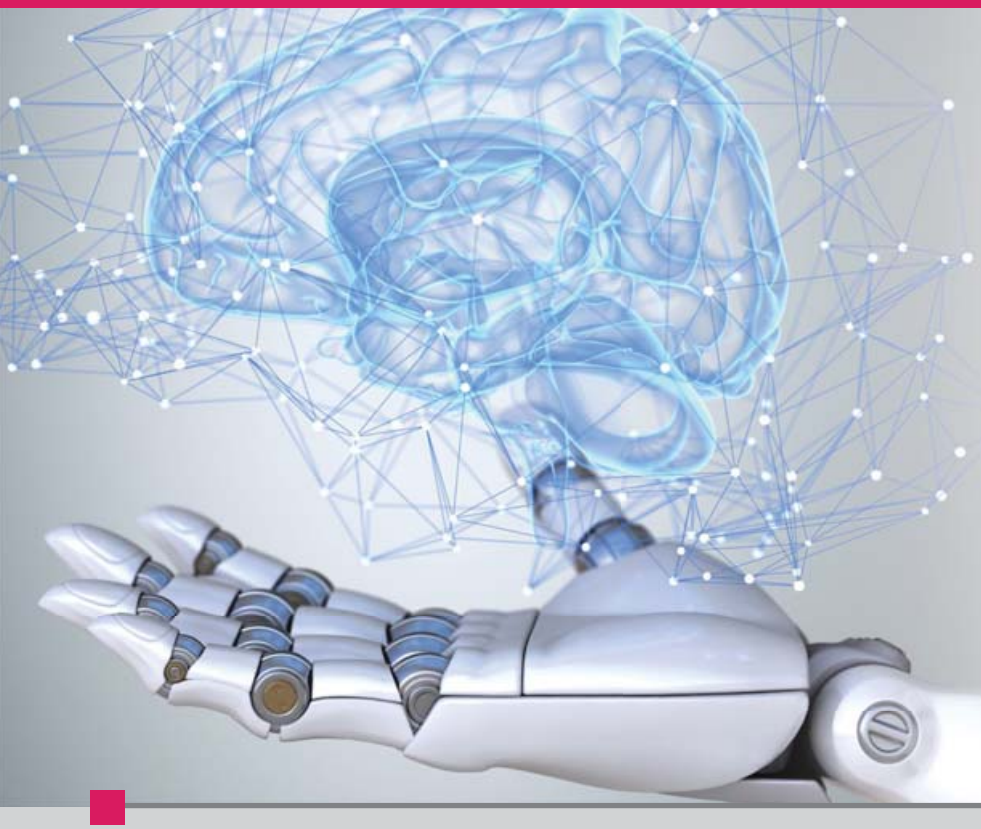
Александр Агеев, Евгений Логинов, Александр Шкута

Нейроуправление: конвергентная интеграция человеческого мозга и искусственного интеллекта



«Технологии „взлома мозга“ можно воспринимать как часть нового цифрового мира, в котором наше личное пространство постепенно сужается. Однако ментальная приватность всегда была незыблемым правом человека. Новые технологии могут привести к переосмыслению базовых прав человека и даже появлению отдельных прав в области неврологии. О понятии когнитивной свободы уже говорят юристы. Люди должны обладать правом на ментальную приватность, которое защитит человека от вторжения третьей стороны в мыслительные процессы и от несанкционированного сбора данных...»

Марчелло Йенка [1]

УДК 004.8
DOI: 10.33917/es-6.172.2020.46-57

Мировые достижения в области нейронаук открыли ранее недоступные возможности для создания принципиально новых систем управления на основе нейроинтерфейсов (мозг — компьютер — мозг). Происходит гибридизация сред — постепенное размывание границ между физической, когнитивной и цифровой реальностью. Описания социальных и когнитивных практик реальных людей трансформируются в формирование искусственного электронного субъекта, который становится более реальным, подменяя в социуме биологический объект (человек есть то, как он представлен в электронной информационной среде). При этом развитие нейроинтерфейса в перспективе ведет к перекодировке нервной ткани и меняет биологический субстрат человеческого мозга и тела в векторе конвергентной коллаборации живых и искусственных нервных систем.
Наши американские партнеры-конкуренты (Минобороны США в лице DARPA) ведут мультидисциплинарные комплексные исследования в этой сфере, лидируя по реальным результатам, руководство США наращивает госфинансирование.
Происходит качественное изменение технологий управления человеком, социумом и государством. Задача России в этих условиях — формирование собственного сегмента Нейронет с опорой на отечественные нейротехнологии по аналогии с программным импортозамещением в российской атомной энергетике.

Ключевые слова
Нейроуправление, нейроинтерфейс, человеческий мозг, искусственный интеллект, конвергенция, информационная система, нейрочип, нейротехнологии, Нейронет, нейроморфные робосистемы.

Агеев Александр Иванович — директор Института экономических стратегий, генеральный директор Международного научно-исследовательского института проблем управления, заведующий кафедрой НИЯУ МИФИ, доктор экономических наук, профессор МГИМО(у) МИД России, НИЯУ МИФИ, МГУ имени М.В. Ломоносова.

Логинов Евгений Леонидович — начальник экспертно-аналитической службы Ситуационно-аналитического центра Минэнерго России, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, доктор экономических наук, профессор РАН, эксперт РАН.

Шкута Александр Анатольевич — доктор экономических наук, профессор департамента мировой экономики и мировых финансов Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

Aleksandr I. Ageev — Institute for Economic Strategies; International Research Institute for Advanced Systems.

Evgenii L. Loginov — Ministry of Energy of the Russian Federation.

Aleksandr A. Shkuta — Financial University under the Government of the Russian Federation.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-07-01066).

Введение: нейроуправление как стратегический тренд

Суть ряда российских и зарубежных проектов заключается в том, чтобы создать систему, в которой можно было бы осуществлять прикладное нейроуправление различными устройствами (роботизированными протезами, дронами, предметами из интернета вещей и т.д.) [2]. Формируемая приборная и программная база позволит в обозримом будущем (в период до 2050 г.) использовать искусственный интеллект для нейроуправления глобальными процессами на стыке информационных, социальных, когнитивных и биотехнологий [3, 4].

Нейроуправлением по бездорожью и разгильдяйству

Размер новых сегментов рынка нейротехнологий после 2025 г.: ожидается экспоненциальный рост до 1,8 трлн долл. в 2035 г. [5].

Neuromanagement: Convergent Integration of the Human Brain and Artificial Intelligence

World achievements in the field of neuroscience have provided previously inaccessible opportunities for creating fundamentally new control systems based on neurointerfaces (brain — computer — brain). Hybridization of environments — gradual blurring of the boundaries between physical, cognitive and digital realities — is taking place. Descriptions of social and cognitive practices of real people are transformed into forming an artificial electronic subject, which becomes more real, replacing a biological object in society (a person is how he is represented in the electronic information environment). At the same time, development of the neurointerface perspectively leads to conversion of nervous tissue and changes biological substrate of the human brain and body in the vector of convergent collaboration of living and artificial nervous systems. Our American competing partners (the US Department of Defence represented by DARPA) carry out multidisciplinary comprehensive research in this area, leading in real results, the US leadership is increasing government funding. A qualitative change in technologies for managing people, society and the state is taking place. Russia's objective in these conditions is to form its own segment of Neuronet, relying on domestic neurotechnologies, by analogy with the policy of import substitution in Russian nuclear energy.

Keywords
Neuromanagement, neurointerface, human brain, artificial intelligence, convergence, information system, neurochip, neurotechnology, Neuronet, neuromorphic robosystems.

>> DARPA приступило к работе над чипом для имплантации в головной мозг солдат, который превратит солдат в киборгов, более эффективно действующих в бою.

Методы, используемые когнитивными нейротехнологиями, включают в себя экспериментальные парадигмы экспериментальной психологии, неврологии, нейроимиджинговые исследования нервной системы, а также подходы поведенческой генетики и математическое моделирование на стыке теоретической нейробиологии и инженерии. Научный прорыв в области сканирования мозга позволил исследователям в области когнитивных нейронаук исследовать работу мозга в режиме реального времени при использовании таких методов, как функциональная магнитно-резонансная томография (ФМРТ), магнитная и электроэнцефалография (МЭГ, ЭЭГ) и инфракрасная спектроскопия. Понимание механизмов переработки информации нервной системой открывает широкие возможности для создания принципиально новых систем управления информационной средой (интерфейс «мозг — компьютер») [6].

Технологии нейроуправления можно разделить на несколько групп.

Инвазивные. Электроды должны быть вживлены в человеческое тело, чаще всего в головной мозг. Главный недостаток данного типа технологий, несмотря на существенные достигнутые результаты, — вмешательство во внутреннюю среду организма. Как следствие, высокая цена ошибки и снижение чувствительности со временем (организм перестраивается и «защищается» от вмешательства).

Миосенсоры. Электроды располагаются на коже человека и считывают импульсы, проходящие через мышечные волокна. Пожалуй, самый известный пример благодаря Стивену Хокингу. Однако данный тип имеет существенный недостаток: сигнал от мозга через ЦНС должен дойти до мышц и только потом он будет считан и интерпретирован, а следовательно, задержка составляет несколько секунд.

Неинвазивные. Основаны на различных техниках записи электрической активности мозга с помощью внешних устройств. Основной недостаток — неспецифичность получаемой информации и крайне сложная ее интерпретация, которая требует скрупулезного подхода, наработки больших массивов данных и вычленения из них нужной и статистически подтвержденной информации [7].

Нейротехнологии позволяют снимать и идентифицировать сигналы мозга для дальнейшей их обработки, в том числе в привязке к когнитивным, нервным или иным физиологическим реакциям организма, а также предоставляют возможности для улучшения и исправления функций мозга, включая восстановление или замещение памяти, стирание негативных воспоминаний и пр. [8–10].

Однако человеческий мозг образован сетью из 220 трлн синапсов, объединяющих 22 млрд нейронов. Поэтому создание полноценного устройства нейроинтерфейса требует решения целого ряда сложных задач в области нейробиологии, электроники, фотоники, синтетической биологии, маломощной электроники и медицинской техники [11–13]. Необходимо также создание математических методов перевода сенсорной информации из формы, в которой она представлена в нейронах мозга, в форму, пригодную для обработки на компьютерах [14–15].

Лидер в нейротехнологиях — Минобороны США (DARPA)

11 февраля 2019 г. президент США Дональд Трамп подписал указ «Американская инициатива по искусственному интеллекту», согласно которому федеральные агентства, занимающиеся вопросами технологий, должны вдвое ускорить реализацию проектов в области искусственного интеллекта. Указ содержит пять ключевых пунктов.

1. Инвестиции в исследования.

2. Запуск ресурсов, работающих на искусственном интеллекте.

3. Утверждение правительственных стандартов по искусственному интеллекту.

4. Подготовка кадров для работы с искусственным интеллектом.

5. Продвижение американских технологий на международный рынок с сохранением преимуществ США.

Вскоре после подписания указа Министерство обороны США опубликовало собственную

стратегию искусственного интеллекта, акцентировав внимание на созданном недавно Объединенном центре искусственного интеллекта (JAIC) [16].

«DARPA готовится к будущему, в котором комбинация беспилотных систем, искусственного интеллекта и кибероперацией может привести к таким быстропротекающим конфликтам, при которых человеческой реакции окажется недостаточно при существующих технологиях. Создавая доступный интерфейс «мозг — компьютер», который не требует хирургической операции, DARPA предоставляет командующим возможность по-прежнему активно участвовать в динамических операциях, разворачивающихся на высоких скоростях», — считает глава биотехнологического департамента DARPA Ал Эмонди [17].

DARPA приступило к работе над чипом для имплантации в головной мозг солдат, который обеспечит прямую связь с компьютерами, передающими данные о вражеских позициях, географические карты и боевые приказы. По сути, чип превратит солдат в киборгов, более эффективно действующих в бою [14].

Также DARPA недавно презентовало проект, над которым работает в течение трех последних лет. Новая технология позволит одному пилоту-оператору одновременно управлять тремя беспилотными аппаратами или самолетами. Два года назад волонтера оснастили интерфейсом «компьютер — мозг». С его помощью он силой мысли управлял своим и двумя дополнительными самолетами. Затем алгоритм управления усложнили, добавив элементы обратной связи. Например, когда ведомый самолет отправлялся в определенном направлении, от нейронного импланта в руки шло ощущение вибрации. Для избавления данной технологии от хирургического элемента в DARPA запустили программу N3 (*Nonsurgical Neurotechnology Next Generation*). В ее основе лежит идея создания устройства, подобного шлему для электроэнцефалографии [18].

После четырех лет исследований DARPA создало систему, которая успешно соединила в себе солдата, мозговой сканер ЭЭГ, 120-мегапиксельные камеры и несколько компьютеров под управлением когнитивных визуальных алгоритмов обработки системой кибернетического коллективного разума. Под названием «Когнитивная система предупреждения об угрозе» (CT2WS) эта система будет использоваться в ведении боев для значительного увеличения возможностей по обнаружению угроз для американской армии. В системе есть две отдельные части: 120-мегапиксельная камера, которая установлена на треножнике и направлена на поле боя, а также компьютерная система — тут солдат сидит перед монитором компьютера со сканером ЭЭГ, прикрепленным к голове. Изображения с камер поступают в компьютер, который при помощи когнитивных визуальных алгоритмов выявляет возможные угрозы (вражеские бойцы, снайперские гнезда, самодельные взрывные устройства). Эти возможные угрозы показываются солдату, который потом сам выбирает, является угроза реальной или ложной (ветка дерева, тень, отброшенная пролетающей птицей). Солдат связан с компьютерной системой через сканер ЭЭГ (электроэнцефалограмма), соединяющий мозг и компьютер, который постоянно сканирует его мозг на наличие ответной реакции P300 [19].

В 2019 г. DARPA объявило о начале программы *Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology* (N3), чьей задачей является разработка неинвазивных методов управления различными системами силой мысли, разработка двунаправленных интерфейсов «мозг — машина» для использования квалифицированным персоналом. Эти интерфейсы позволят «руководить активными системами киберзащиты, роем беспилотных дронов или связываться с компьютерной системой» [20].

В рамках программы:

• команда из института Баттелла под руководством доктора Гаурава Шармы стремится разработать минимально инвазивную систему; она включает в себя внешний приемопередатчик и электромагнитные нанотрансдукторы, которые нехирургически доставляются к интересующим нейронам. Нанотрансдукторы будут преобразовывать электрические сигналы от нейро-

нов в магнитные сигналы, которые могут быть записаны и обработаны внешним трансивером, и, наоборот, чтобы обеспечить двунаправленную связь;

• исследователи из Университета Карнеги — Меллона, возглавляемые доктором Пулкитом Гровером, стремятся разработать полностью неинвазивное устройство, которое использует акустооптический подход для получения сигналов из мозга и электрические поля для их отправки обратно в конкретные нейроны. Команда будет использовать ультразвуковые волны, чтобы направлять свет внутрь мозга для обнаружения нейронной активности. Для передачи информации в мозг ученые планируют использовать нелинейный ответ нейронов на электрические поля, чтобы обеспечить локальную стимуляцию целевых клеток;

• коллектив лаборатории прикладной физики Университета Джона Хопкинса под руководством доктора Дэвида Блоджетта разрабатывает неинвазивную, когерентную оптическую систему для считывания информации из мозга. Система будет измерять изменения длины оптического сигнала в нервной ткани, которая прямо коррелирует с нейронной активностью;

• команда PARC, руководимая доктором Кришнаном Тьягараджаном, стремится разработать неинвазивное акустико-магнитное устройство для передачи информации в мозг. Их подход объединяет ультразвуковые волны с магнитными полями, чтобы генерировать локализованные электрические токи для нейромодуляции. Гибридный подход дает возможность для модуляции в более глубоких областях мозга;

• команда из Университета Райса под руководством доктора Джейкоба Робинсона стремится разработать минимально инвазивный двунаправленный нейроинтерфейс. Для получения информации из мозга будет использоваться диффузная оптическая томография для определения нейронной активности путем измерения рассеивания света в нервной ткани, а для передачи сигналов в мозг команда планирует применять магнитно-генетический подход, чтобы сделать нейроны чувствительными к магнитным полям;

• команда *Teledyne* во главе с доктором Патриком Коннолли стремится разработать полностью неинвазивное интегрированное устройство. Оно использует магнитометры с оптической накачкой для обнаружения небольших локализованных магнитных полей, которые коррелируют с нейронной активностью, а для передачи информации будет использован сфокусированный ультразвук [17].

Специалисты DARPA в рамках программы SUBNETS разрабатывают адаптируемую и персонализированную терапию с замкнутой обратной связью. Эта терапия включает в себя запись и анализ активности мозга с одновременной нейростимуляцией в режиме, близком к реальному времени, для коррекции или смягчения дисфункции мозга. Технология позволяет обнаружить постоянные динамические изменения активности мозга, связанные с колебаниями настроения, и использует эти данные для обеспечения точно рассчитанной по времени терапевтической стимуляции. Ученые при разработке исходили из предположения, что функции и дисфункции мозга — вместо того, чтобы быть отнесенными к отдельным анатомическим областям мозга, — проявляются через распределенные нейронные системы. Понимая, как выглядит здоровая мозговая активность в этих подсетях по сравнению с нездоровой мозговой активностью, определяя прогностические биомаркеры, указывающие на изменение состояния, ученые DARPA разрабатывают технологию вмешательства, которая поддерживает здоровое состояние мозга в пределах нормального диапазона эмоций. Последние исследования доказывают, что технология декодирования может предсказать изменения настроения, анализируя записанные нейронные сигналы. Как выяснилось, нейронная подсеть мозга участвует в возникновении депрессии, особенно у людей, страдающих от тревожности. Поэтому симптомы депрессии средней или сильной тяжести могут быть смягчены с помощью нейростимулятора, работающего с использованием принципа обратной связи, воздействующего на орбитальную кору мозга для модуляции подсетей, которые способствуют депрессии. Эти результаты позволили разработать технологию для системы, использующей замкнутую обратную связь, которая может обнаруживать текущие динами-

Происходит очень быстрая гибридизация сред — размывание границ между физической и цифровой реальностью.

ческие изменения активности мозга, связанные с колебаниями настроения, и использовать эти данные для точной по времени терапевтической стимуляции [21].

Другой проект DARPA — «восстановление активной памяти» — призван помочь отдельным людям восстановить эпизодические воспоминания и навыки. Исследования на животных показали, что накопленная память бессознательно активируется во время сна и бодрствования в процессе нейронного воспроизведения, который в терминах активности мозга близко воспроизводит паттерны, соответствующие кодированию памяти. DARPA изучает, как активировать процесс этого воспроизведения, частоту активации и время между проявлением каждого воспроизведения после определенной работы памяти с задачами, требующими навыка. Ученые показали, что сенсорные сигналы (например, конкретные запахи) и электрическая стимуляция кожи головы могут повлиять на то, как хорошо человек осваивает определенный навык. Понимание этих процессов выявит физиологические или окружающие факторы, которые влияют на качество приобретения воспоминаний или навыков. Результаты исследований показали, что надвигающиеся эмоциональные угрозы приводят к сокращению пространственной и концептуальной осведомленности об окружающем мире. Конечная цель этого проекта заключается в создании устройства, которое может тайно обнаружить влияние определенного нарратива на психику человека. DARPA ориентирует исследователей: «настоятельно рекомендуются усилия, которые полагаются на отдельные неинвазивные и необнаруживаемые датчики» [22].

Современные тенденции интеграции человеческого мозга и искусственного интеллекта

Одно из центральных направлений современных исследований и разработок связано с созданием так называемых интерфейсов «мозг — компьютер» (*brain — computer — interface* — BCI), позволяющих человеку управлять внешними устройствами с помощью произвольно генерируемых паттернов активности мозга. Это дает возможность управлять устройствами как осознанно, формируя те или иные мысленные команды, так и бессознательно, когда устройства и гаджеты адаптируют свою работу на основании считывания эмоций, состояния и настроения пользователя [5, 23].

При этом создается возможность обратной связи, в том числе управления сигналами мозга извне [24].

Основная цель развития интерфейсов «мозг — компьютер» — разработать нейросетевую систему для выделения паттернов из многомерного сигнала «электроэнцефалограммы». Устройство на голове человека регистрирует активность ключевых отделов мозга, получая график кривой, на которой записаны биотоки, после чего происходит классификация полученных паттернов, значимых для работы человеко-машинного интерфейса [5, 25].

Современный рынок нейроинтерфейсов представлен несколькими компаниями, серийно выпускающими устройства, но качество распознавания сигнала все еще ограничено. Это позволяет не только однозначно правильно исполнять мысленные команды пользователей, но и создавать мультифункциональные нейроинтерфейсы, заточенные более чем на один конкретный продукт с несколькими фиксированными командами. Реализация такого подхода является достаточно наукоемким процессом, требующим специализированного оборудования, компетенций и опыта [5].

Создаются новые методы интерпретации «константности» сигналов мозга и метода автоматизированного детектирования мысленных команд благодаря алгоритмам самообучения, реализованным при помощи нейросетевых методов по типу самоорганизующихся инкрементных искусственных нейронных сетей, что обеспечивает адаптивное формирование в интерфейсе индивидуального набора мысленных команд пользователя. Метод основан на построении авторегрессионной нейросетевой модели для прогнозирования сигнала ЭЭГ на короткий временной интервал [5].

Очень интересны проекты, увязывающие работу мозга и зрения с интеграцией природных и искусственных биологических механизмов.

Так, итальянский биотехнологический стартап MHOX поставил перед собой амбициозную цель: улучшить человеческий глаз, разработав его синтетическую замену. Биотехнологический стар-

тап намерен заменить глазные яблоки синтетическими киберимплантами, которые дадут зрению новые возможности и не будут подвержены болезням и проблемам обычных глаз. Концепт получил название *Enhance Your Eye* (EYE). Он разрабатывается с помощью 3D-биопринтера, который использует специальную иглу, чтобы создавать сложные клеточные конструкции. Чтобы использовать систему EYE, людям будет необходимо хирургически удалять природные глаза и заменять их искусственной сетчаткой *Deck*, которая соединяется с мозгом. Биопринтеры уже умеют печатать такие органы, как уши, кровеносные сосуды и почки, но синтетические глаза пока не созданы в силу их сложности. Люди смогут выбирать между тремя типами искусственных глаз: *Heal*, *Enhance* и *Advance*. Первый является простой заменой живых глаз у людей с заболеваниями или травмами, которым грозит слепота. *EYE Enhance* улучшает возможности глаза, давая зрение 15/20 и позволяя фильтровать воспринимаемое изображение. Для смены такого фильтра человеку будет достаточно принять обычную пилюлю. Третий тип, *Advance*, имеет дополнительные компоненты, которые позволяют записывать все, что человек видит, а также передавать полученное изображение через *Wi-Fi* [26].

Нейронет — электронное пространство, формирующее жизнепроявления человека (и подменяющее его) в отношениях с самим собой, с другими людьми, с социумом и со средой

Организационно Нейронет — это практика совместной деятельности и синтеза уникального коллективного понимания, возникающего в ходе совместной деятельности искусственных и естественных субъектов, занятых решением проблем и ведением сверхсложных проектов. Это глобальная сеть коммуникации, где в каждый момент времени каждое высказывание или действие сопровождается контекстом данных о субъекте и объекте высказывания (действия). Иначе говоря, по каналу связи помимо сообщения передаются данные о субъективных позициях, пакетах норм, ценностях передающего и принимающего.

Нейронет — это технический пакет, обеспечивающий связность человеческих разумов и искусственных агентов при помощи протоколов передачи, обмена и синтеза знаний. Причем знания могут задаваться субъективным контекстом деятельности или быть вовсе неявными.

Очаги Нейронета возникают, с одной стороны, в сетях биометрического веба, насыщаемого новыми протоколами связи, новыми типами устройств, а также новыми приложениями. С другой — запрос к Нейронету исходит из областей с наибольшими требованиями к коллективной деятельности при решении сложных задач (научные и инженерные проекты). Развиваются стандарты управления коллективной деятельностью. Важную роль в возникновении таких коллективов будет играть технология «экзокортекса» — искусственных частей психики, поддерживаемых машинами и синхронизируемых с естественной психикой [27].

Длительное пользование Интернетом приводит к изменениям в функционировании головного мозга.

Одним из двух ключевых проектов Нейронета является соединение мозга с компьютером, реализуемое в рамках межгосударственной программы Евросоюза *Horizon 2020* под названием *Human Brain Project* (HBP). Она объединила на 10 лет 120 команд со всего мира из 90 институтов, а также трех индустриальных партнеров и восемь главных европейских исследовательских центров с целью создания к 2023 г. искусственного мозга человека. Стоимость проекта HBP — около 1,2 млрд евро. Главный фокус внимания — это проекты на стыках линий развития «нейрокогнитивные науки», «информационно-коммуникационные технологии», «социальная инженерия», рынков теле- и нейромедицины и интерфейсов «мозг — компьютер».

Задача *Human Brain Project* (HBP) состоит в том, чтобы понять, как работает мозг человека, получить многоуровневый набор данных о человеческом мозге для предсказания протекающих в нем процессов и управления ими [28–30]. Требуется создать нейроморфные платформы и чипы для моделирования работы мозга и его частей; создать платформу, позволяющую ученым совмещать модель мозга (или его участков) с роботами для создания нейроморфных робосистем [31–33].

На основе полученных знаний планируется создать новые инструменты, которые позволят проводить симуляцию, моделирование всего мозга, а в перспективе и его отдельных частей [34]. Разрабатываются этические нормы, оцениваются социальные последствия и потенциальные риски от реализации проекта HBP. Этот проект заме-

нил собой первую координационную программу Еврокомиссии «*Future BNCI*» (2010–2011), посвященную развитию данного направления [35].

Одной из главных целей проекта является поиск методов лечения нейродегенеративных заболеваний (таких как болезнь Альцгеймера, Паркинсона и др.), на борьбу с которыми только в Евросоюзе сегодня тратится порядка 600 млрд евро в год. Мировые расходы на компенсацию возрастной деменции составляют более 600 млрд долл. От 4 млн до 5 млн американцев страдают от слабоумия в той или иной форме (RAND). Расходы США на лечение деменции — 109 млрд долл. Для сравнения: расходы США, связанные с лечением сердечно-сосудистых болезней, составляют 102 млрд долл., с онкологическими заболеваниями — 77 млрд долл. [27].

В России основной задачей на первом этапе введения Нейронета является запуск российского проекта *CoBrain* (*Connected Brain*) для создания научно-внедренческой инфраструктуры и преодоления технологических барьеров. В отличие от других международных проектов по изучению мозга в российском проекте основной упор предполагается сделать на исследования, связанные с расширением ресурсов мозга человека (в первую очередь за счет интеграции его в техносферу): создание интерфейсов «мозг — компьютер» нового поколения; усовершенствование моделей человеко-машинных языков; завершение структурного и функционального картирования мозга; создание нейроморфного компьютера; сохранение жизнедеятельности мозга при отказе основных органов тела. В рамках проекта *CoBrain* созданы 10 центров развития нейротехнологий на базе ведущих университетских кластеров, которые объединяют более 40 различных лабораторий, что обеспечивает междисциплинарность исследований и дает возможность собрать информацию в единую базу знаний [36].

Перспективы: будут семантизированы состояния сознания и психики, а нечеткие смыслы, эмоциональные реакции и когнитивные функции и даже перестройка нервной системы и человеческого тела будут интегрированы в рамках сервисов Нейронет

Происходит очень быстрая гибридизация сред — размывание границ между физической и цифровой реальностью. Устройства гибридных сред объединяются в единую систему с новыми коммуникационными интерфейсами, нейро- и биоинтерфейсами.

Системы человеческой коллаборации уже сегодня постепенно переходят к стандартизации API (программный интерфейс приложения, интерфейс прикладного программирования), аналогичный процесс происходит и в сфере развития коллаборации живых и искусственных нервных систем [37].

Тенденция: симуляция сначала отдельных психических процессов, потом стабильных состояний — психических расстройств — и затем неравновесных, «нормальных» состояний психики, то есть коррекция моделей мозга и психической деятельности [27]. В недалекой перспективе будут электронно семантизированы состояния сознания и психики, а нечеткие смыслы, эмоциональные реакции и когнитивные функции и даже перестройка нервной системы и человеческого тела будут интегрированы в рамках сервисов Нейронет. Иначе говоря, система электронного управления со стороны глобальных управляющих акторов квазииндивидуальными траекториями поведения и хода жизни людей уже быстро распространяется в госуправлении, бизнесе, науке и социальных коммуникациях [38].

Этому способствует оперирование неосознанным контентом в электронных коммуникациях, использование отдельных режимов измененного состояния сознания, манипуляции невербальной и эмоциональной информацией — все это примеры того, что модель субъекта коммуникации меняется и он становится все более искусственным. Отдельные миры порождают друг друга. Описания социальных практик превращаются в искусственного субъекта: он выполняет функцию в коммуникации с человеком, являясь частью семантического переводчика его нейроинтерфейса, он кодирует нервную ткань и меняет субстрат [27].

При этом длительное пользование Интернетом приводит к изменениям в функционировании

Александр Агеев, Евгений Логинов, Александр Шкута

>> Те зоны мозга, которые заведуют детальным анализом, глубоким продумыванием проблемы, остаются без нагрузки и постепенно утрачивают навык интенсивной работы.

головного мозга. «Навык быстрого и постоянного просматривания сайтов ведет к тому, что человеческий мозг теряет способность системного и углубленного мышления», — сделал вывод ведущий американский специалист в области кибернетической информации Николас Карр. Исследования медиков убедительно доказали, что у тех, кто проводит в Интернете много времени, быстро развиваются две области головного мозга — часть, отвечающая за кратковременную память, и центр, ответственный за принятие быстрых решений. В то же время те зоны мозга, которые заведуют детальным анализом, глубоким продумыванием проблемы, остаются без нагрузки и постепенно утрачивают навык интенсивной работы [39].

Переход системной инженерии к следующему типу объектов: человек есть то, как он представлен в электронной информационной среде

В соответствии с прогнозами в 2020–2030 гг. в мире социальных структур произойдет синдикация основных социальных платформ и переописание стандартов человеческого взаимодействия. Налаживается взаимная трансляция нейроописаний, социальных описаний и описаний семантики человеческого интернета и интернета вещей. «Коды» нервных систем и мозга во многом будут описаны и станут использоваться не только в медицине, но и для моделирования аналогичных процессов в других субстратах — экономических и социальных системах, в самоорганизации умных вещей и искусственных систем. К 2030 г. семантики разных типов будут способны переводиться друг в друга, и это будет использоваться в экспериментальных сеттингах. Режимы работы психики будут описаны достаточно полно, включая состояния сознания в привязке к различным типам деятельности. Структура сознаваемого у человека может быть легко перестроена в зависимости от стоящих перед ним задач. Интерфейсы Нейронет абсолютно незаметны, прозрачны. Человек не работает за клавиатурой и экраном — он работает непосредственно с данными, со смыслами, с людьми. Предмет управления на данном этапе — человеческий организм, представленный большим количеством данных от датчиков разного типа. Это и коллективы, частью которых человек в настоящий момент является. Также взаимодействие идет с распределенными системами умных вещей, которые постоянно себя перепроектируют. Одним из таких предметов управления является жизнь человека, образование на всем жизненном цикле, а также жизненные циклы сообществ [27].

Заключение: задача России — формирование собственного сегмента Нейронет с опорой на отечественные нейротехнологии по аналогии с программным импортозамещением в атомной энергетике

Стратегия России в сфере нейротехнологий и формирования Нейронет может быть построена на основе успешного опыта российских атомщиков. В последние годы «Росатом» создает и внедряет собственные ОС, СУБД и пр., чтобы стать независимым от иностранных поставщиков программного обеспечения. Типовая программная инфраструктура отечественной разработки тиражируется на предприятиях атомной энергетики. Именно так — *с опорой на отечественные нейротехнологии* — надо строить российскую стратегию развития технологий и инфраструктуры нейроуправления. ЭС

ПЭС 20025 / 12.03.2020

Источники

1. Красильникова Ю. Нейроинтерфейсы лишат людей когнитивной свободы [Электронный ресурс] // Хайтек. 2017. 15 августа. URL: https://hightech.fm/2017/08/15/cognitive_liberty.

2. Агеев А.И., Логинов Е.Л. Россия в новой экономической реальности. М.: ИНЭС, Ассоциация «Аналитика», 2016. 460 с.

3. Агеев А.И., Логинов Е.Л. Битва за будущее: кто первым в мире освоит ноомониторинг и когнитивное программирование субъективной реальности? // Экономические стратегии. 2017. № 2. С. 124–139.

4. Логинов Е.Л., Эриашвили Н.Д., Борталевич С.И., Логинова В.Е. Технология конструирования качеств личности на основе импринтируемых рефлексивных матриц // Вестник Московского университета МВД России. 2016. № 7. С. 252–256.

5. Нейроинтерфейсы для сервисов и продуктов нового поколения [Электронный ресурс] // Basisneuro. 2017. Ноябрь. URL: https://basisneuro.com/BasisNeuroWhitePaper.pdf.

6. Публичный аналитический доклад по направлению «Нейротехнологии» [Электронный ресурс]. URL: https://www.extech.ru/files/reports/neuroscience.pdf.

7. Neurogress: платформа систем нейроуправления от участников проекта BlueBrain [Электронный ресурс] // ITnan. URL: https://itnan.ru/post.php?c=1&p=348498.

8. Логинов Е.Л., Логинова В.Е., Шкута А.А. «Дизайн мышления» элементов искусственного интеллекта для преодоления барьеров получения нового знания в электронной среде коллаборационной научной суперсистемы // Искусственные общества. 2018. № 3. 5 с.

9. Овод И.В., Осадчий А.Е., Пупышев А.А., Фрадков А.Л. Формирование нейрообратной связи на основе адаптивной модели активности головного мозга // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2012. № 2. С. 36–41.

10. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Адаменко А.А. Моделирование обучения нейрочипов, внедренных в нервную ткань // Цифровая обработка сигналов. 2016. № 1. С. 50–56.

11. Галушкин А.И. Нейрочипы и нейроморфные ЭВМ: проблемы моделирования // Информационные технологии. 2015. № 12. С. 942–949.

12. Калинин П.В., Воюцкая Ю.Ю., Тарасов М.Е. О применении нейроинтерфейса для бесконтактного управления мобильным устройством // Информационные системы и технологии. 2016. № 3. С. 53–56.

13. Тычков А.Ю., Горячев Н.В., Кочегаров И.И. Протоколы связи для беспроводного нейроинтерфейса // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза: Изд-во Пензенского государственного университета, 2018. Т. 2. С. 366–368.

14. DARPA профинансирует создание скоростного интерфейса между компьютером и человеческим мозгом [Электронный ресурс] // Open Systems Publications. URL: https://www.osp.ru/news/2016/0126/13031430.

15. Райков А.Н. Конвергентный синтез когнитивной модели на основе глубокого обучения и квантовых семантик [Электронный ресурс] // International Journal of Open Information Technologies. 2018. Т. 6. № 12. С. 43–50.

16. Трамп подписал указ о развитии ИИ в США [Электронный ресурс] // Хайтек. 12 февраля. URL: https://hightech.plus/2019/02/12/tramp-podpisal-ukaz-o-razvitii-ii-v-ssha.

17. DARPA финансирует шесть проектов по созданию интерфейса человек — компьютер [Электронный ресурс] // AI-news. 2019. 24 мая. URL: http://ai-news.ru/2019/05/darpa_finansiruet_shest_proektov_po_sozdaniu_interfejsa_chelovek_komputer.html.

18. Пилот может управлять 3 самолетами одновременно с нейроимплантом [Электронный ресурс] // 24GADGET. URL: https://24gadget.ru/1161067418-pilot-mozhet-upravlyat-3-samoletami-odnovremenno-s-neyroimplantom.html.

19. DARPA объединило человеческий мозг и 120-мегапиксельные камеры, чтобы создать уникальную военную систему обнаружения угрозы [Электронный ресурс] // PC Magazine. URL: https://blogs.pcmag.ru/node/1734.

20. Хижняк Н. DARPA разрабатывает технологию управления военными дронами силой мысли [Электронный ресурс] // Hi-News. 2019. 22 мая. URL: https://hi-news.ru/technology/darpa-razrabatyvaet-texnologiyu-upravleniya-voennymi-dronami-siloj-mysli.html.

21. DARPA разработало систему для лечения нейропсихиатрических заболеваний [Электронный ресурс] // EverCare. 2018. 14 декабря. URL: https://evercare.ru/darpa-razrabotala-sistemu-dlya-lecheniya-neiropsik.

22. Хель И. 10 проектов DARPA, о которых нужно знать всем [Электронный ресурс] // Hi-News. 2015. 16 сентября. URL: https://hi-news.ru/technology/10-proektov-darpa-o-kotoryx-nuzhno-znat-vsem.html.

23. Гусач Ю.И., Бондарь Г.Г. Селекция меток в файлах EDF для последующего анализа и сопоставления биоэлектрической активности на разных этапах когнитивной деятельности // Роспатент РФ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2014610865 от 17 января 2014 г.

24. Логинов Е.Л., Райков А.Н., Шкута А.А. Использование нейротехнологий при программировании когнитивно-поведенческих стереотипов действий личностей для устойчивого функционирования систем управления социумом // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2018. № 9. С. 34–45.

25. Шурхай В.А., Александрова Е.В., Потапов А.А., Горяйнов С.А. Современное состояние проблемы «интерфейс мозг — компьютер» // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2015. Т. 79. № 1. С. 97–104.

26. Эсперазус Е. Биоинженеры предлагают заменять глаза на синтетические киберимпланты [Электронный ресурс] // Id.tech.biz. URL: http://idtech.biz/news/item.php?134758.

27. Подходы к формированию и запуску новых отраслей промышленности в контексте Национальной технологической инициативы на примере сферы «Технологии и системы цифровой реальности и перспективные „человеко-компьютерные“ интерфейсы (в части нейроэлектроники)»: Аналитический доклад [Электронный ресурс]. URL: http://rusneuro.net/cambiodocs/media/files/analitijeskii-doklad-podhody-k-formirovaniu-i-zapusku-novyh-otraslei-promyhlennosti.pdf.

28. Кондур А.А. Предикторы эффективности нейрореабилитации пациентов с двигательными нарушениями с использованием нейроинтерфейса мозг — компьютер // Фарматека. 2017. № 19. С. 72–77.

29. Фролов А.А., Азиатская Г.А., Бобров П.Д. и др. Электрофизиологическая активность мозга при управлении интерфейсом мозг — компьютер, основанным на воображении движений // Физиология человека. 2017. № 5. С. 17–28.

30. Фролов А.А., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д. и др. Интерфейс мозг — компьютер: физиологические предпосыл-

ки и клиническое применение // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. № 4. С. 44–56.

31. Амитонова Л.В., Анохин К.В., Желтиков А.М. и др. Волоконно-оптический нейроинтерфейс и способ для долговременной оптической регистрации процессов в мозге живых свободно движущихся животных // Патент на изобретение RUS 2637823 21.12.2015.

32. Сметанин Н.М., Минков В.А., Маркина А.М., Осадчий Е.А. Программное обеспечение для создания, проведения и обработки экспериментов в парадигме нейрообратной связи: Сб. материалов III Международной конференции «Нейрокомпьютерный интерфейс: наука и практика. Самара, 2017. Самара: Самарский государственный медицинский университет, 2017. С. 53–54.

33. Шепелев И.Е., Лазуренко Д.М., Кирой В.Н. и др. Новый нейросетевой подход к созданию ИМК на основе ЭЭГ-паттернов произвольных мысленных движений // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2017. № 4. С. 527–545.

34. Шепелев И.Е. Программа реализации нейрообратной связи на основе частотных характеристик ЭЭГ-сигнала // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013617088 от 4 октября 2013 г.

References

1. Krasil'nikova Yu. *Neirointerfeisy lishat lyudei kognitivnoi svobody* [Neurointerfaces will Deprive People of Cognitive Freedom]. Khaitek, 2017, August, 15, available at: https://hightech.fm/2017/08/15/cognitive_liberty.

2. Ageev A.I., Loginov E.L. *Rossiya v novoi ekonomicheskoi real'nosti* [Russia in the New Economic Reality]. Moscow, INES, Assotsiatsiya "Analitika", 2016, 460 p.

3. Ageev A.I., Loginov E.L. Bitva za budushchee: kto pervym v mire osvoit noomonitoring i kognitivnoe programmirovanie sub"ektivnoi real'nosti? [Battle for the Future: Who Will Be the First in the World to Master the Noomonitoring and Cognitive Programming of Subjective Reality?]. *Ekonomicheskie strategii*, 2017, no 2, pp. 124–139.

4. Loginov E.L., Eriashvili N.D., Bortalevich S.I., Loginova V.E. Tekhnologiya konstruirovaniya kachestv lichnosti na osnove imprintiruemykh refleksivnykh matrits [Technology for Designing Personality Qualities Based on Imprintable Reflective Matrices]. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*, 2016, no 7, pp. 252–256.

5. *Neirointerfeisy dlya servisov i produktov novogo pokoleniya* [Neurointerfaces for Next-generation Services and Products]. Basisneuro, 2017, November, available at: https://basisneuro.com/BasisNeuroWhitePaper.pdf.

6. *Publichnyi analiticheskii doklad po napravleniyu "Neirotekhnologii"* [Public Analytical Report on Neurotechnology], available at: https://www.extech.ru/files/reports/neuroscience.pdf.

7. *Neurogress: platforma sistem neiroupravleniya ot uchastnikov proekta BlueBrain* [Neurogress: Platform of Neuromanagement Systems from the Project Participants]. ITnan, available at: https://itnan.ru/post.php?c=1&p=348498.

8. Loginov E.L., Loginova V.E., Shkuta A.A. "Dizain myshleniya" elementov iskusstvennogo intellekta dlya preodoleniya bar'erov polucheniya novogo znaniya v elektronnoi srede kollaboratsionnoi nauchnoi supersistemy ["Thinking Design" of Artificial Intelligence Elements for Overcoming Barriers to Obtaining New Knowledge in the Electronic Environment of Collaborative Scientific Super-System]. *Iskusstvennye obshchestva*, 2018, no 3, 5 p.

9. Ovod I.V., Osadchii A.E., Pupyshev A.A., Fradkov A.L. Formirovanie neiroobratnoi svyazi na osnove adaptivnoi modeli aktivnosti golovnogo mozga [Forming Neurofeedback Based on Adaptive Model of Brain Activity]. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primenenie*, 2012, no 2, pp. 36–41.

10. Turovskii Ya.A., Kurgalin S.D., Adamenko A.A. Modelirovanie obucheniya neirochipov, vnedrennykh v nervnuyu tkan [Simulation of Training Neurochips Implanted in Nervous Tissue]. *Tsifrovaya obrabotka signalov*, 2016, no 1, pp. 50–56.

11. Galushkin A.I. Neirochipy i neiromorfnye EVM: problemy modelirovaniya [Neurochips and Neuromorphic Computers: Modeling Problems]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2015, no 12, pp. 942–949.

12. Kalinin P.V., Voyutskaya Yu.Yu., Tarasov M.E. O primenenii neirointerfeisa dlya beskontaktnogo upravleniya mobil'nym ustroistvom [On Application of Neural Interface for Contactless Control of a Mobile Device]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2016, no 3, pp. 53–56.

13. Tychkov A.Yu., Goryachev N.V., Kochegarov I.I. *Protokoly svyazi dlya besprovodnogo neirointerfeisa* [Communication Protocols for Wireless Neurointerface]. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo" [Proceedings of the International Conference on Reliability and Quality]. Penza, Izd-vo Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2018, vol. 2, pp. 366–368.

14. *DARPA profinansiruet sozdanie skorostnogo interfeisa mezhdu komp'yuterom i chelovecheskim mozgom* [DARPA will Provide Funding for Creation of a High-speed Interface Between a Computer and the Human Brain]. Open Systems Publications, available at: https://www.osp.ru/news/2016/0126/13031430.

15. Raikov A.N. Konvergentnyi sintez kognitivnoi modeli na osnove glubokogo obucheniya i kvantovykh semantik [Convergent Synthesis of Cognitive Model Based on Deep Learning and Quantum Semantics]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2018, vol. 6, no 12, pp. 43–50.

16. *Tramp podpisal ukaz o razvitii II v SShA* [Trump Signed a Decree on AI Development in the USA]. Khaitek, February, 12, available at: https://hightech.plus/2019/02/12/tramp-podpisal-ukaz-o-razvitii-ii-v-ssha.

17. *DARPA finansiruet shest' proektov po sozdaniyu interfeisa chelovek-komp'yuter* [DARPA is Funding Six Projects for Creating Human-computer Interface]. AI-news, 2019, May, 24 maya, available at: http://ai-news.ru/2019/05/darpa_finansiruet_shest_proektov_po_sozdaniu_interfejsa_chelovek_komputer.html.

18. *Pilot mozhet upravlyat' 3 samoletami odnovremenno s neiroimplantom* [A Pilot can Control 3 Aircraft Simultaneously with a Neuroimplant]. 24GADGET, available at: https://24gadget.ru/1161067418-pilot-mozhet-upravlyat-3-samoletami-odnovremenno-s-neyroimplantom.html.

19. *DARPA ob"edinilo chelovecheskii mozg i 120-megapiksel'nye kamery, chtoby sozdat' unikal'nuyu voennuyu sistemu obnaruzheniya ugrozy* [DARPA has Combined a Human Brain and 120-megapixel Cameras to Create a Unique Military Threat Detection System]. PC Magazine, available at: https://blogs.pcmag.ru/node/1734.

20. Khizhnyak N. *DARPA razrabatyvaet tekhnologiyu upravleniya voennymi dronami siloi mysli* [DARPA is Developing Technology for Controlling Military Drones with the Power of Thought]. Hi-News, 2019, May, 22, available at: https://hi-news.ru/technology/darpa-razrabatyvaet-texnologiyu-upravleniya-voennymi-dronami-siloj-mysli.html.

21. *DARPA razrabotalo sistemu dlya lecheniya neiropsikhiatricheskikh zabolevanii* [DARPA has Developed a System for Treating Neuropsychiatric Diseases]. EverCare, 2018, December, 14, available at: https://evercare.ru/darpa-razrabotala-sistemu-dlya-lecheniya-neiropsik.

35. Царева Г. Нейронет [Электронный ресурс] // Мономах. 2018. 29 августа. URL: http://monomah.org/archives/12047.

36. Аннотация к плану мероприятий («дорожной карте») по развитию рынка НейроНэт Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс] // DocPlayer. URL: https://docplayer.ru/32735454-Annotaciya-k-planu-meropriyatiy-dorozhnoy-karte-po-razvitiyu-rynka-neyronet-nacionalnoy-tehnologicheskoy-iniciativy.html.

37. Чайванов Д.Б., Чудина Ю.А. Применение технологии нейромодуляции для управления психофункциональным состоянием и когнитивными стратегиями человека // Вестник Российского университета дружбы народов. 2011. № 2. С. 32–38. (Серия: Психология и педагогика.)

38. Агеев А.И., Логинов Е.Л., Шкута А.А. Конвергентный мониторинг и программирование личности как инструмент оперирования интеллектуальной динамикой поведения больших групп людей // Экономические стратегии. 2018. № 2. С. 70–87.

39. Интернет-серфинг меняет мозг пользователя [Электронный ресурс] // SecurityLab. 2010. 30 августа. URL: https://www.securitylab.ru/news/397247.php.

22. Khel' I. *10 proektov DARPA, o kotorykh nuzhno znat' vsem* [10 DARPA Projects Everybody have to Know About]. Hi-News, 2015, September, 16, available at: https://hi-news.ru/technology/10-proektov-darpa-o-kotoryx-nuzhno-znat-vsem.html.

23. Gusach Yu.I., Bondar' G.G. *Selektsiya metok v failakh EDF dlya posleduyushchego analiza i sopostavleniya bioelektricheskoi aktivnosti na raznykh etapakh kognitivnoi deyatel'nosti* [Marks Selection in EDF Files for Subsequent Analysis and Comparison of Bioelectric Activity at Different Stages of Cognitive Activity]. Rospatent RF. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM. N 2014610865 ot yanvarya 2014 g.

24. Loginov E.L., Raikov A.N., Shkuta A.A. Ispol'zovanie neirotekhnologii pri programmirovanii kognitivno-povedencheskikh stereotipov deistvii lichnostei dlya ustoichivogo funktsionirovaniya sistem upravleniya sotsiumom [Applying Neurotechnologies in Programming Cognitive-behavioral Stereotypes of Personality Actions for Stable Functioning of Social Management Systems]. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primenenie*, 2018, no 9, pp. 34–45.

25. Shurkhai V.A., Aleksandrova E.V., Potapov A.A., Goryainov S.A. Sovremennoe sostoyanie problemy "interfeis mozg-komp'yuter" [Current State of the "Brain-computer Interface" Problem]. *Voprosy neirokhirurgii im.* N.N. *Burdenko*, 2015, vol. 79, no 1, pp. 97–104.

26. Esperazus E. *Bioinzhenery predlagayut zamenyat' glaza na sinteticheskie kiberimplanty* [Bioengineers Suggest to Replace Eyes with Synthetic Cyber Implants]. Id.tech.biz, available at: http://idtech.biz/news/item.php?134758.

27. *Podkhody k formirovaniyu i zapusku novykh otraslei promyshlennosti v kontekste Natsional'noi tekhnologicheskoi initsiativy na primere sfery "Tekhnologii i sistemy tsifrovoi real'nosti i perspektivnye "cheloveko-komp'yuternye" interfeisy (v chasti neiroelektroniki)"* [Approaches to Development and Launch of New Industries in the Context of the National Technological Initiative on the Example of the Sphere "Technologies and Systems of Digital Reality and Promising "Human-computer" Interfaces (in Terms of Neuroelectronics)"]. Analiticheskii doklad, available at: http://rusneuro.net/cambiodocs/media/files/analitijeskii-doklad-podhody-k-formirovaniu-i-zapusku-novyh-otraslei-promyhlennosti.pdf.

28. Kondur A.A. Prediktory effektivnosti neiroreabilitatsii patsientov s dvigatel'nymi narusheniyami s ispol'zovaniem neirointerfeisa mozg-komp'yuter [Efficiency Predictors for Neurorehabilitation of Patients with Movement Disorders Using the Brain-computer Interface]. *Farmateka*, 2017, no 19, pp. 72–77.

29. Frolov A.A., Aziatskaya G.A., Bobrov P.D. i dr. Elektrofiziologicheskaya aktivnost' mozga pri upravlenii interfeisom mozg-komp'yuter, osnovannym na voobrazhenii dvizhenii [Electrophysiological Activity of the Brain in Managing the Brain-computer Interface Based on Movements Imagination]. *Fiziologiya cheloveka*, 2017, no 5, pp. 17–28.

30. Frolov A.A., Biryukova E.V., Bobrov P.D. i dr. Interfeis mozg — komp'yuter: fiziologicheskie predposylki i klinicheskoe primenenie [Brain-computer Interface: Physiological Prerequisites and Clinical Application]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy*, 2013, no 4, pp. 44–56.

31. Amitonova L.V., Anokhin K.V., Zheltikov A.M. i dr. *Volokonno-opticheskii neirointerfeis i sposob dlya dolgovremennoi opticheskoi registratsii protsessov v mozge zhivykh svobodno dvizhushchikhsya zhivotnykh* [Fiber-optic Neurointerface and Method for Long-term Optical Recording of Processes in the Brain of Living Freely Moving Animals]. Patent na izobretenie RUS 2637823 21.12.2015.

32. Smetanin N.M., Minkov V.A., Markina A.M., Osadchii E.A. *Programmnoe obespechenie dlya sozdaniya, provedeniya i obrabotki eksperimentov v paradigme neiroobratnoi svyazi* [Software for Creating, Conducting and Processing Experiments in the Neural Feedback Paradigm]. Sb. materialov III Mezhdunarodnoi konferentsii "Neirokomp'yuternyi interfeis: nauka i praktika. Samara, 2017 [Materials of the III International Conference "Neurocomputer Interface: Science and Practice"m Samara, 2017]. Samara, Samarskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet, 2017, pp. 53–54

33. Shepelev I.E., Lazurenko D.M., Kiroi V.N. i dr. Novyi neirosetevoi podkhod k sozdaniyu IMK na osnove EEG-patternov proizvol'nykh myslennykh dvizhenii [New Neural Network Approach to Creating BCI Based on EEG Patterns of Voluntary Mental Movements]. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im*. I.P. *Pavlova*, 2017, no 4, pp. 527–545.

34. Shepelev I.E. *Programma realizatsii neiroobratnoi svyazi na osnove chastotnykh kharakteristik EEG-signala* [Neurofeedback Implementation Program Based on the Frequency Characteristics of EEG Signal]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM N 2013617088 ot 4 oktyabrya 2013 g.

35. Tsareva G. *Neironet* [NeuroNet]. Monomakh, 2018, August, 29, available at: http://monomah.org/archives/12047.

36. *Annotatsiya k planu meropriyatii ("dorozhnoi karte") po razvitiyu rynka NeiroNet Natsional'noi tekhnologicheskoi initsiativy* [Abstract of the Action Plan (Roadmap) for Developing the NeuroNet Market of the National Technological Initiative]. DocPlayer, available at: https://docplayer.ru/32735454-Annotaciya-k-planu-meropriyatiy-dorozhnoy-karte-po-razvitiyu-rynka-neyronet-nacionalnoy-tehnologicheskoy-iniciativy.html

37. Chaivanov D.B., Chudina Yu.A. Primenenie tekhnologii neiromodulyatsii dlya upravleniya psikhofunktsional'nym sostoyaniem i kognitivnymi strategiyami cheloveka [Applying Neuromodulation Technologies to Manage Psycho-functional State and Cognitive Strategies of a Person]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov*, 2011, no 2, pp. 32–38. (Seriya: Psikhologiya i pedagogika.)

38. Ageev A.I., Loginov E.L., Shkuta A.A. Konvergentnyi monitoring i programmirovanie lichnosti kak instrument operirovaniya intellektual'noi dinamikoi povedeniya bol'shikh grupp lyudei [Convergent Monitoring and Programming of Personality as a Tool for Managing Intellectual Dynamics of Behavioral Activity of Large Groups of People]. *Ekonomicheskie strategii*, 2018, no 2, pp. 70–87.

39. *Internet-serfing menyaet mozg pol'zovatelya* [Internet Surfing Changes the User's Brain]. SecurityLab, 2010, August, 30, available at: https://www.securitylab.ru/news/397247.php.