

Г.Е. Боков, Е.В. Чапны, П.Д. Шапошников

Интерфейсы «мозг–компьютер» и «мозг–мозг» в структуре конвергирующих технологий (на основе экспериментальных данных НИТЦ нейротехнологий ЮФУ)*

Боков Герман Евгеньевич – кандидат философских наук, доцент. Институт философии Санкт-Петербургского государственного университета. Российская Федерация, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9; e-mail: bokovg@gmail.com

Чапны Елена Владимировна – кандидат философских наук, доцент. Институт философии и социально-политических наук Южного федерального университета. Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, д. 105/42; e-mail: elena_chapny@mail.ru

Шапошников Павел Дмитриевич – младший научный сотрудник. НИТЦ нейротехнологий Южного федерального университета. Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, д. 105/42; e-mail: pavsh@sfedu.ru

В статье представлен концептуальный анализ основных направлений и методов изучения психики, сознания и мозга человека в современных отечественных и зарубежных исследованиях. Рассматривается концепт «конвергирующие технологии» в условиях создания общего искусственного интеллекта (ОИИ). Рассказывается о программах нейронаучного изучения организации психических процессов в области визуализации мозговых процессов и методе картирования, что помогает понять, как разные участки мозга могут быть структурно и функционально связаны между собой. Особое внимание уделяется осмыслению возможного применения интерфейсов «мозг–компьютер» (ИМК) и «мозг–мозг» (ИММ) в создании ОИИ, «гибридного интеллекта». Мозговые интерфейсы представлены в качестве принципиально новых каналов коммуникации и управления. Приводится пример биогибридной системы распознавания запахов, разработанной в НИТЦ нейротехнологий Южного федерального университета. Речь идет

* Работа выполнена в рамках проекта СП-11-23-04 Программы стратегического и академического лидерства Южного федерального университета Приоритет-2030.

о реализации управления посредством ИММ и мысленных команд биологическим объектом – крысой. С позиции телесно-ориентированного подхода раскрывается проблема коэволюции тела, сознания, технологий и социальной среды в парадигме постнеклассики. Делается вывод о существенном влиянии современной нейронауки на понимание особенностей функционирования человеческого мозга, сознания и когнитивных процессов. Отмечается целесообразность исследования возможного применения технологий ИМК и ИММ в осуществлении стимуляции зон мозга для формирования ощущений, эквивалентных прикосновениям и т.д. Речь также идет о применении биогибридных систем, управляемых посредством технологии ИММ, в качестве систем, совмещающих преимущества естественного и искусственного интеллекта (с дальнейшей проработкой этической проблематики).

Ключевые слова: конвергирующие технологии, интерфейсы «мозг–компьютер», интерфейсы «мозг–мозг», биогибридные системы, НБИКС-технологии, общий искусственный интеллект, «цифровой разум», «гибридный интеллект», телесно-ориентированный подход, когнитивные процессы

Введение

Междисциплинарные исследования в различных научных областях все чаще оперируют концептом «конвергирующие технологии». Под этим обычно понимается взаимодействие между различными областями научного знания: нейронаукой и философией, нейрофизиологией и когнитивистикой, нанотехнологиями и науками о человеке и т.д. Возникает необходимость исследования конвергентного влияния различных технологий не только друг на друга, но также на человека и общество. В этой связи принято говорить о конвергентном развитии НБИКС (нано-, био-, информационных, когнитивных и социо-гуманитарных технологий и соответствующих им областей знания). Такая конвергенция особенно ярко просматривается в современных исследованиях психики, сознания и мозга человека в условиях, когда международное научное сообщество вступило в фазу создания общего искусственного интеллекта (ОИИ) (Artificial General Intelligence, AGI)¹. В терминологии А. Оливейры, речь идет о возможности возникновения «цифрового разума» [Оливейра, 2022] как части гомеостатической силы биологической эволюции.

Общий искусственный интеллект и основные направления изучения мозга

К созданию ОИИ привлекается широкий спектр междисциплинарных исследований на стыке философии, биологии, компьютерных и нейронаук. Среди отечественных ученых следует отметить К.В. Анохина, полагающего,

¹ Основные задачи создания ОИИ в современной русскоязычной литературе представлены в коллективной монографии под редакцией А. Ведякина «Сильный искусственный интеллект: На подступах к сверхразуму» [Ведякин, ред., 2021]. Методологические вопросы разработки ОИИ изложены в статье Д.И. Дубровского «Значение нейронных исследований сознания для разработки общего искусственного интеллекта (методологические вопросы)» [Дубровский, 2022, с. 83–93].

что «биологоподобный ИИ» требует разработки «нейронаучной теории естественного интеллекта», которая должна решать фундаментальный вопрос о том, «откуда из операций нервной системы берутся свойства разума и сознания» [Анохин, 2017, с. 77]. При этом Анохин предлагает различать понятия «когнитивная группа» и связь «когнитивных групп» – широкие устойчивые группы «локи», способные приобретать системные свойства высокого порядка. Идеи, высказанные этим ученым [Анохин, 2021, с. 39–71], вносят весомый вклад в изучение нейронной сети мозга и построение ее математических моделей, которые могут быть применены и для задач создания ОИИ, «цифрового разума», «гибридного интеллекта».

Среди отечественных разработок в области нейронауки нельзя не упомянуть исследования В.Я. Сергина и А.В. Сергина, в которых говорится, что сенсорные системы на каждом уровне восприятия создают «объемлющие характеристики» [Сергин, Сергин, 2019, с. 633–658]. Они, в свою очередь, выступают не простой суммой признаков, а их синтезом, который обусловлен целями индивида, в том числе адаптацией. «Объемлющие характеристики» складываются в иерархию, где на каждом уровне нивелируются мелкие незначительные детали.

Заметно возрастает необходимость изучения результатов нейронаучного постижения организации психических процессов, прежде всего операциональных динамических структур, которые обуславливают сознательную деятельность. Большое значение приобретают достижения нейронауки в *визуализации* [Оливейра, 2022, с. 284–305] мозговых процессов и методе *картирования* [Damasio, 2003]. Неинвазивные методы визуализации принято называть *нейровизуализацией*. К ним относятся: компьютерная томография, ближняя инфракрасная спектроскопия, позитронная эмиссионная томография, магнитно-резонансная томография, электроэнцефалография и оптический сигнал, связанный с событием. Эти методы активно используются при изучении мозга и создании карт активации. Составлено несколько вариантов атласов мозга человека, например «Вероятностный атлас и справочник человеческого мозга» [Aprobabilistic atlas, 2001]. Описанные методы визуализации, хотя и имеют ограниченное пространственное разрешение, позволяют лучше понять, как разные участки мозга структурно и функционально связаны между собой. Так пополняется информация о мельчайших структурах мозга и, согласно А. Оливейре, есть вероятность, что со временем этой детализированной информации может стать достаточно для выполнения точной симуляции отделов мозга на нейронном уровне.

На сегодняшний день в мире запущено несколько крупных проектов по изучению мозга и его функционирования. Учеными США разрабатывается «Человеческий коннектом»². В 2013 г. были запущены проекты «Исследование мозга через продвижение инновационных нейротехнологий» (другое

² Суть проекта состоит в создании «карты взаимодействий» для получения данных об анатомических связях в мозге человека. Этот проект коррелирует с проектом «Открытый коннектом», который направлен на создание базы данных о коннектомах живых организмов.

название – «Карта мозговой активности»)³ и «Человеческий мозг»⁴, а годом позже в Японии стартовал проект «Картирование мозга интегрированными нейротехнологиями для исследования заболеваний»⁵. Все эти, а также многие другие инициативы (реализуемые в том числе частными исследовательскими организациями) применяют различную методологию, например, технологии исследования мозговых структур и связей на нейронном уровне.

Среди основных направлений изучения сознания, психики и мозга человека в отечественной и зарубежной традиции выделим следующие: исследование зеркальных нейронов и их систем, «чтение мозга», изучение «самости» и «мозговых карт», интерфейсы «мозг–компьютер» и «мозг–мозг». Результаты исследования *зеркальных нейронов* и их систем позволили лучше понять связь сенсорных и моторных функций мозга человека. Выяснилось, что зеркальные нейроны объединяют зрительное восприятие и его моторную репрезентацию [Риццолатти, Синигалья, 2012]. «Чтение мозга» основывается на методах картирования и визуализации, описанных выше, и нацелено главным образом на расшифровку кодов нейродинамических коррелятов психических процессов. Относительно изучения «Я», «самости» и «мозговых карт» на современном этапе следует отметить, что согласно недавним исследованиям А. Дамасио, К. Коха, Д. Матюшкина, В. Рамачандрана, Дж. Тонони, Дж. Эдельмана, К. Фрита и других человеческое Я представляет собой уникальную структуру Эго-системы мозга, или самость. Такая система содержит особенные личностные свойства индивида, однако ее понимание у разных авторов различается.

Опираясь на работы У. Джемса, А. Дамасио утверждает, что Я существует как процесс, а не как предмет. Этот процесс обнаруживается, когда человек пребывает в сознании. Я как процесс рассматривается с двух позиций. Во-первых, это позиция наблюдателя, изучающего «динамический объект», состоящий из «определенной психической деятельности, определенных свойств поведения и определенной истории существования». Во-вторых, это позиция Я как «носителя знания» – процесс, который является «центром всего нашего опыта и, в конце концов, дает нам возможность этот опыт осмыслить» [Дамасио, 2018, с. 21]. Названные позиции не противостоят друг другу, а представляют собой «единую протяженность и развитие». При этом сознание понимается «как объединение содержания психики на основе организма, производящего и стимулирующего это содержание». По словам Дамасио, для возникновения сознания «мозг должен обрести новое свойство – субъективность, а определяющим свойством субъективности является ощущение, пронизывающее образы, которые мы субъективно проживаем» [Там же, с. 23].

³ В рамках этого проекта осуществляется картирование активности каждого нейрона в мозге человека. Цель состоит в выявлении взаимодействий отдельных клеток и нейронных цепочек.

⁴ Проект нацелен на комплексное понимание мозга человека за счет интеграции знаний о нормe и патологии. Главная задача проекта – развитие нейророботизированных технологий.

⁵ Проект использует мозг обезьяны в качестве модели исследования нейронных связей, влекущих мозговые нарушения.

По мнению Дамасио, в структуре самости следует выделять три уровня: *протосамость*, которая содержит в себе зачатки ощущений, *базовую самость*, зависящую от действий, и *автобиографическую самость*, включающую в себя социальный и духовный планы. Каждая из этих самостей характеризуется динамичностью и постоянными колебаниями в зависимости от внешних обстоятельств. Развитие психики не заканчивается на уровне достижения самости. Вокруг базовой самости нарастает автобиографическая самость, которая обладает уникальной ментальной природой. Затем «наделенная сознанием психика человека, вооруженная такими сложными самостями и вдобавок возросшими возможностями памяти, мышления и языка, порождает инструменты культуры и открывает путь к новым средствам гомеостаза на уровне общества и культуры» [Дамасио, 2018, с. 40–41]. Саморегуляция переходит в социокультурное пространство. Примерами социальной саморегуляции являются социальные институты, система правосудия и многие другие общественные структуры, регламентирующие жизнь человека. «Между базовой и социокультурной разновидностями гомеостаза лежат миллиарды лет эволюции, однако они ориентированы на одну и ту же цель – выживание живых организмов, – пусть и в разных экологических нишах» [Там же, с. 41]. В области социокультурной саморегуляции это может быть понято шире – не как выживание, а как стремление к благополучию.

Стремясь исследовать структуры мозга, которые лежат в основе самости, Дамасио выделяет операцию конвергенции – дивергенции: «Зоны конвергенции – дивергенции поддерживают “прямую” связь с сенсорными областями, расположенными “ниже” в цепи обработки сигналов» [Там же, с. 167]. Зоны конвергенции – дивергенции образуют в мозге крупные области конвергенции – дивергенции. Эти области активно участвуют «в создании и упорядочивании важнейших аспектов содержимого наделенной сознанием психики, и в том числе тех фрагментов, из которых складывается автобиографическая самость» [Там же, с. 170]. Функционирование зон и областей конвергенции – дивергенции выступает условием самоорганизации самости. В этом смысле самость рассматривается Дамасио и как объект (мозговой носитель сознания), и как субъект сознания. На это также обращает внимание Д.И. Дубровский, отмечая, что анализ «содержания и динамической структуры Я отчетливо показывает широкие способности Я к саморегуляции и самоорганизации, касающиеся как способности поддержания своей идентичности, так и оптимизации функций познавательной и практической активности». По его словам, эти весьма актуальные вопросы «тесно связаны с проблемой свободы воли, которая широко обсуждается в последнее время представителями нейронауки» [Дубровский, 2022, с. 89]. В авторском контексте специфику операций конвергенции – дивергенции, а также способов саморегуляции Эго-системы мозга следует учитывать при создании интеллектуальных самообучающихся роботов и ОИИ.

Согласно Дамасио, в скором времени когнитивная наука станет помощником в исследовании происхождения моральной ответственности и справедливости, поскольку «самость открывает нам путь к мышлению и дает возможность войти в головокружительный мир науки, а мышление и наука – это особые

инструменты, с помощью которых можно справиться с запутанными сигналами самости» [Дамасио, 2018, с. 43]. Нейронаукой не исключается возможность того, что понимание устройства психики, наделенной сознанием, позволит лучше разобраться в истоках различных культур и их уникальных особенностей.

Телесно-ориентированный подход к изучению психики, сознания и мозга

Отличительная черта основных направлений изучения психики, сознания и мозга человека при попытке создания ОИИ, «цифрового разума», «гибридного интеллекта» – телоориентированность. Как отмечает А. Оливейра, «никакой человекоподобный мозг не будет развиваться нормально, если не получит полного и разнообразного набора стимулов. Эти стимулы, которые нужно вводить в систему через симулированные органы чувств, будут играть ключевую роль в развитии правильных мозговых структур» [Оливейра, 2022, с. 341].

Такой вектор предполагает изучение процессов коэволюции человеческого тела, сознания, технологий и социальной среды при условии применения телесно-ориентированного подхода в парадигме постнеклассики. Человек пребывает в процессе незавершающегося самопреобразования. Он одновременно включен в обеспечение собственной безопасности и многочисленные социальные взаимодействия, которые затрагивают его телесное и когнитивное существование. В данном контексте все чаще звучат вопросы о границах человеческого тела и его возможностей, изменяемых конвергентными технологиями.

Границы человеческого тела «размываются»: любое существенное изменение в целостности «тело–сознание–технологии–социальная среда» представляет собой определенный сигнал. Такой сигнал можно зашифровать и транслировать во всемирную сеть, что может повлечь возникновение и развитие всеобщей коммуникативной межсвязности. Состояние всеобщего единения обозначается термином «панкоммуникация»⁶. Такое взаимодействие становится возможным во многом благодаря интерфейсам «мозг–компьютер» (ИМК) и «мозг–мозг» (ИММ).

Интерфейсы «мозг–компьютер» и «мозг–мозг» как инструмент управления и коммуникации

На протяжении последних десятилетий рядом исследовательских групп, работающих в разных странах мира, была убедительно продемонстрирована возможность использования закономерных откликов, возникающих в биоэлектрической активности мозга человека при появлении внешних сенсорных стимулов или реализации произвольно иницилируемой деятельности, для управления внешними устройствами (в частности, компьютером) и обеспечения коммуникации (посредством составления слов и текстов, управления нейропротезами). С 2007 г. коллективом НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана

⁶ Ситуация, когда делокализация тела приводит к взаимодетерминации «технобытия» человека и социокультурной среды.

(НИТЦ нейротехнологий) Южного федерального университета (ЮФУ) ведутся исследования, которые связывают зарегистрированную биоэлектрическую активность мозга с мысленными движениями и внутренней речью. С помощью метода электроэнцефалографии (ЭЭГ) удалось установить однозначную связь между идеомоторным актом и регистрируемой электроэнцефалограммой, согласно которым в качестве команд свою очередь, было использовано в качестве управляющей команды в контуре стимулнезависимого ИМК. На сегодняшний день были получены данные, что в качестве команд можно использовать «мысленные слова», причем каждое из них формирует устойчивую карту активности.

Первые итоги развития технологии ИМК были подведены в одновременно появившихся в России [Кирой, 2011] и США [Tan, Nijholt, 2010] монографиях, в которых проанализированы теоретические основы, технологические (в том числе технические, алгоритмические, программные) решения и конкретные реализации систем ИМК, а также проблемы, решение которых могло обеспечить выход таких систем в среду конечных пользователей, и направления их использования в средне- и долгосрочной перспективе. Как отмечают авторы данных исследований, внедрение технологии ИМК может не только стать основой принципиально нового (немышечного и несенсорного) канала коммуникации и управления, но может способствовать развитию практически всех психических функций, скорости восприятия и переработки информации человеком, а также обеспечить интеграцию мозга как информационно-управляющей системы с информационными устройствами и средами, т.е. стать основой для формирования NeuroNet и систем «гибридного интеллекта».

Позднее указанная технология стала основой для разработки каналов «мысленной» коммуникации двух и более человек, в частности, в рамках программы BRAIN (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies Initiative), реализуемой в США, что потребовало создания наряду с технологиями трансформации паттернов активности мозга в команды и сообщения также методов и средств их «доставки» в другой мозг. С технологической точки зрения, в настоящее время это достигается использованием макро- (регистрирующих и стимулирующих, условно называемых «микро-») электродов, которые травмируют нервную ткань, плохо совместимы с ней, не позволяют регистрировать одновременно активность сколько-нибудь значительной популяции нейронов или точно воздействовать на них, что существенно ограничивает область применения разрабатываемых нейроинтерфейсов.

Известно, что наиболее полно информационные процессы мозга, лежащие в основе психических процессов и поведения, отражаются в импульсной активности нейронов и их функциональных групп (нейронных ансамблей), избирательные воздействия на которые могут обеспечивать требуемые психические и поведенческие эффекты. Поиск принципиально новых решений, призванных преодолеть указанную проблему, в настоящее время ведется в двух направлениях: малоинвазивных и неинвазивных технологий регистрации и воздействия на нейроны и нейронные ансамбли. Последнее отчетливо просматривается в проектах, которые планируются и реализуются начиная с 2018 г.

в рамках программы DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, США), например, в проекте «Нехирургическая нейротехнология следующего поколения», в рамках которого в июле 2019 г. начались работы по шести грантам.

Технологии, используемые при реализации неинвазивного подхода, могут включать ультразвук, фотоакустику, магнитные поля, электрические поля, радиочастоты или их комбинации. Технические средства должны регистрировать активность на уровне отдельных нервных клеток и клеточных ансамблей. Малоинвазивные технологии допускают использование многоэлектродных зондов на основе микро- и наноустройств, а также вирусов, молекул, наночастиц. Они вводятся в мозг и создают наноконструкции, необходимые для преобразования сигналов, генерируемых нейронами, которые считываются внешними устройствами. Сегодня ведутся разработки способов доставки и инактивации нанотрансдукторов, алгоритмов декодирования и кодирования нейронной активности. Разработки таких наноматериалов, нанотехнологий, зондов, микро- и наносистем могут обеспечить прорыв в области нейротехнологий, в том числе в нейропротезировании, лечении целого ряда нервно-психических и нервно-соматических заболеваний, обратимого управления состоянием и поведением, более эффективного развития психических процессов, технологий ИМК, «гибридного интеллекта».

Идея создания *ИММ* была сформулирована в 2013 г. В настоящее время в некоторых исследованиях говорится об удачных испытаниях простейших прототипов таких систем. Были продемонстрированы ИММ как на животных моделях [Кирой, 2011], так и с участием добровольцев [Grau et al., 2013]. Создание полноценного канала «мозг–мозг» также потребует разработки принципиально новой знаковой системы, способной обеспечить обмен информацией (мыслями, смыслами, командами) между людьми посредством использования «алфавитов», представляющих собой паттерны активности мозга и субъективные ощущения от эффектов стимуляции структур мозга. Учитывая, что даже лучшие из существующих в настоящее время ИМК-системы способны обеспечить формирование управляющих импульсов со скоростью не более нескольких команд в минуту, переход к реальному времени потребует не только расширения «алфавита», но и использования более адекватного для человека способа общения посредством указанных паттернов, формируемых в процессе реализации мышления с использованием внутренней речи. В идеальных условиях такой информационный обмен должен осуществляться со скоростью внутренней естественной речи, а символами (командами) могут стать значимые для человека слова, воспроизведение которых вызывает произвольное формирование специфичных (для каждого слова) образов-ассоциаций и соответствующих паттернов активности мозга.

Как было продемонстрировано экспериментально, сопряжение мозга одного человека с мозгом другого, основанное на технологии ИММ, может быть успешно использовано для коммуникации, обучения, управления и даже совместного решения задач. Более того, эта технология открывает принципиально новые возможности для невербальной коммуникации и управления, совершенствования психических функций человека и развития его интеллектуального потенциала, а по существу может стать основой небиологической

эволюции мозга человека. Как правило, в ИММ специфический контент извлекается из сигналов головного мозга «отправителя», оцифровывается и перекодируется в сообщения, транслируемые в мозг «получателя». Существуют известные ограничения в связи с инвазивностью технологий регистрации и стимулирования отдельных нейронов и их локальных функциональных групп, наиболее эффективных в таких системах, что, кроме прочего, значительно повышает порог выхода данной технологии на рынок. В результате сложившейся практики, большинство разрабатываемых в настоящее время ИММ основаны на использовании ЭЭГ для идентификации паттернов активности мозга «отправителя» и транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) для передачи информации в мозг «получателя». Первая реализация ИММ была осуществлена на лабораторных крысах [Pais-Vieira et al., 2013]. При этом в эксперименте были применены инвазивные методы регистрации и стимуляции мозга животных. В том же году была реализована неинвазивная функциональная связь между мозгом человека и крысы [Yoo et al., 2013]. Принципиальным недостатком указанных систем являлось использование ограниченного числа команд управления (не более трех).

В 2014 г. стало известно о передаче информации, извлеченной из электрической активности мозга одного человека другому, вызывающая требуемую поведенческую реакцию у получателя. Была продемонстрирована возможность передачи информации из мозга одного человека в мозг другого на больших расстояниях с использованием Интернета [Grau et al., 2013]. Показано, что эта технология позволяет передать псевдослучайную информацию с достаточно высокой точностью. Была реализована технология, позволяющая одному человеку угадать, о чем думает другой, посредством интерактивного обмена вопросами и ответами. М. Машат предложил подход к взаимодействию одного мозга с другим, объединяя прямой ИММ и «мышечно-мышечный» интерфейс на основе электромиограммы и функциональной электрической стимуляции мышц в схеме с замкнутым контуром. В этой системе искусственные пути (потоки данных) функционально соединяют естественные пути (нервы и мышцы). Намерения одного субъекта (отправителя) распознаются с использованием метода ЭЭГ на основе технологии ИМК и транслируются в мозг другого с использованием ТМС, вызывающей движение руки. Точность управления составила 85%.

Технология ИММ была успешно применена для формирования тактильных ощущений с участием здоровых добровольцев. Две команды, извлекаемые из ЭЭГ мозга человека, выполняющего воображаемые движения руками, транслировались в мозг другого человека и формировали соответствующие тактильные ощущения. Шесть пар обследуемых добровольцев выполняли задачу с высокой степенью надежности, передавая в среднем 8 команд в минуту. Теоретический анализ данной технологии показал, что все практические попытки создания нового, прямого канала коммуникации в технологии ИММ жестко ограничиваются малым числом команд, надежно извлекаемых из активности мозга человека в режиме реального времени. Проблема не решается за счет увеличения количества участников такого обмена [Bai et al., 2018]. Кроме того, лимитирующим фактором для вывода таких систем в среду

конечных пользователей, по-прежнему является человек, выполняющий роль оператора и поддерживающий функционирование таких систем.

Современные технологии неинвазивной стимуляции мозга также не лишены заметных недостатков. В их числе низкое пространственное разрешение и существенное рассеивание оболочками мозга энергии воздействий при использовании методов транскраниальной стимуляции магнитным полем, ультразвуковыми волнами или импульсным током. Остаются практически нерешенными задачи прямой доставки расширенного алфавита управляющих команд или сообщений в различные области мозга, обеспечивающие активное восприятие и двигательное поведение.

Начиная с 2019 г. в НИТЦ нейротехнологий ЮФУ активно развивается направление, связанное с нейроуправлением и нейрокоммуникацией, где ведутся разработки ИММ, в которых реализуется управление посредством мысленных команд (представляющих собой ЭЭГ-паттерны идеомоторных актов и внутренней речи) биологическим объектом – крысой. Кроме того, была разработана биогибридная система распознавания запахов, которая обнаруживает пространственно-временные паттерны фокальной активности обонятельной луковицы крысы, связанные с конкретными веществами.

ИМК и биогибридные системы обобщенно можно назвать системами «гибридного интеллекта». Они совмещают в себе преимущества естественного (быстрый поиск решений, природная сверхчувствительность и т.д.) и искусственного (работа с большими данными, быстрые расчеты) интеллекта. Основной задачей создания ИММ было объединение нейроинтерфейса и биогибридной системы в единый контур. Биогибридная система – это система искусственного интеллекта, использующая биологический объект или структуру в качестве источника информации. Подобный подход позволяет находить решения различных сложных задач, таких как поиск запахов в низких концентрациях или прогнозирование сейсмоактивности. Подобные задачи не имеют окончательного технического решения, однако биогибридная система, используя биологические механизмы, частично их решает.

Согласно А. Оливейре, исследования в области ИМК в дальнейшем могут помочь людям управлять компьютерами и, возможно, заменят существующие интерфейсы. Размышляя о возможности возникновения «цифровой психики»⁷ уже в этом столетии, он отмечает, что «цифровая психика» сможет использовать ИМК, чтобы «управлять роботами в физическом мире» [Оливейра, 2022, с. 388]. Большое значение нейрофизиолог уделяет методам, которые помогут осуществлять стимуляцию зон мозга для формирования ощущений, эквивалентных прикосновениям и другим чувствам, отмечая, что «такие технологии можно задействовать, чтобы дать цифровой психике реалистичные ощущения

⁷ А. Оливейра рассматривает два способа возникновения цифровой психики. Первый – непосредственно копировать человеческую психику путем копирования элементов человеческого мозга как носителя психики – называют «эмуляцией мозга». Второй предполагает воспроизведение на компьютере принципов и механизмов, обуславливающих возникновение структур человеческого мозга, чтобы затем использовать эти принципы для создания синтетического мозга.

погружения в материальный мир» [Оливейра, 2022, с. 388]. Таким образом, возникает ситуация, когда человек пытается изменить собственное биологическое тело изнутри благодаря НБИКС-технологиям и одновременно с этим делает попытку «вынесения границ» тела наружу с помощью «гибридной реальности», «панкоммуникации» и т.д. посредством мозговых интерфейсов.

Можно предположить, что в содержательном плане идея «размывания границ» человеческого тела проистекает из имманентной потребности человека в телесном вовлечении в окружающий мир, где нет четкой границы, отделяющей внутреннее от внешнего, где тело – проводник, интерфейс, с помощью которого осуществляется связь сознания со средой. Понимание сознания, которое в настоящее время сложилось в нейронауке, порождает множество вопросов, связанных с одной из главных особенностей современного социокультурного пространства – всеобщей цифровизацией. Цифровая революция, согласно Дамасио, ведет к возникновению «прогрессирующей глобализации человеческого сознания». Сможет ли в этих условиях быть сохранена цель социокультурной саморегуляции такой же, какой она была сформирована миллиардами лет эволюции? Или эволюционное развитие будет прервано? Подобные вопросы, по мнению Дамасио, становятся особенно актуальными в период развития цифровых технологий [Дамасио, 2018].

Заключение

Концептуальный анализ основных направлений и методов изучения психики, сознания и мозга человека в отечественной и зарубежной традиции демонстрирует существенное влияние современной нейронауки на понимание особенностей функционирования человеческого мозга и сознания и высокую эффективность применения телесно-ориентированного подхода к постижению целостности «тело–сознание–технологии–социальная среда», в том числе в науках социогуманитарного спектра и в междисциплинарной когнитивной науке.

Активно разрабатываемые ведущими лабораториями мира биогибридные системы могут быть рассмотрены в качестве систем, совмещающих преимущества естественного и искусственного интеллекта в ходе объединения нейроинтерфейса и биогибридной системы в единый контур. Подобные биогибридные системы могут быть применены в качестве источника информации для решения сложных задач (поиск запахов в низких концентрациях, прогнозирование сейсмоактивности и др.). Целесообразным является продолжение изучения потенциального применения технологий ИМК и ИММ в осуществлении стимуляции зон мозга для формирования ощущений, эквивалентных прикосновениям, а также исследование указанных технологий в качестве принципиально новых каналов коммуникации и управления посредством мысленных команд не только компьютером, но и биологическим объектом (с учетом этической проблематики, являющейся неизбежным этапом осмысления применения подобных технологий).

Список литературы

Анохин, 2017 – Анохин К.В. Когнитивные вычисления на основе нейронных гиперсетей // *Философия искусственного интеллекта* / Под ред. В.А. Лекторского, Д.И. Дубровского. М.: ИИнтелл, 2017. С. 70–86.

Анохин, 2021 – Анохин К.В. Когнитом: в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2021. Т. 71. № 1. С. 39–71.

Ведяхин, ред., 2021 – *Сильный искусственный интеллект: На подступах к сверхразуму* / Под ред. А. Ведяхина. М.: Интеллектуальная литература, 2021. 232 с.

Дамасио, 2018 – Дамасио А. Так начинается «я». Мозг и возникновение сознания / Пер. с англ. И. Ющенко. М.: Карьера-Пресс, 2018. 384 с.

Дубровский, 2022 – Дубровский Д.И. Значение нейронных исследований сознания для разработки общего искусственного интеллекта (методологические вопросы) // *Вопросы философии*. 2022. № 2. С. 83–93.

Кирой, 2011 – Кирой В.Н. Интерфейс мозг-компьютер (история, современное состояние, перспективы). Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2011. 239 с.

Оливейра, 2022 – Оливейра А. Цифровой разум: как наука меняет человечество / Пер. с англ. К. Чистопольской. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2022. 448 с.

Риццолатти, Синигалья, 2012 – Риццолатти Д., Синигалья К. Зеркала в мозге: О механизмах совместного действия и сопереживания / Пер. с англ. О.А. Кураковой, М.В. Фаликман. М.: Языки славянских культур, 2012. 208 с.

Сергин, Сергин, 2019 – Сергин В.Я., Сергин А.В. Иерархическая модель восприятия без комбинаторного взрыва // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2019. Т. 69. № 5. С. 633–658.

A probabilistic atlas, 2001 – A probabilistic atlas and reference system for the human brain: International Consortium for Brain Mapping (ICBM). The Royal Society, 2001. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1088516/pdf/TB011293.pdf> (дата обращения: 21.12.2023).

Bai et al., 2018 – Bai Y., Jiang J., Zhao B., Zhang P. Brain actuated Humanoid Robot based on Brain-computer Interface (BCI) // 2018 IEEE International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering. 2018. URL: <https://www.studocu.com/in/document/pes-university/intro-to-algorithms/jiang-2018/11105941> (дата обращения: 21.12.2023).

Damasio, 2003. – Damasio A. Looking for Spinoza: Joy, Sorrow, and the Feeling Brain. San Diego, California: Harvest, 2003. 368 p.

Grau et al., 2013 – Grau C., Ginhoux R., Riera A. et al. Conscious brain-to-brain communication in humans using non-invasive technologies // *PLoS One*. 2014. No. 9 (8). URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0105225> (дата обращения: 21.12.2023).

Pais-Vieira et al., 2013 – Pais-Vieira M., Lebedev M., Kunicki C. et al. A brain-to-brain interface for real-time sharing of sensorimotor information // *Scientific Reports*. 2013. No. 3. URL: <https://www.nature.com/articles/srep01319> (дата обращения: 21.12.2023).

Tan, Nijholt, 2010 – Tan D.S., Nijholt A. Brain-Computer interface: Applying Our Minds to Human-Computer Interaction. London: Springer, 2010. 301 p.

Yoo et al., 2013 – Yoo S.-S., Kim H., Filandrianos E. et al. Non-Invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains // *PLoS One*. 2013. No. 8 (4). URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0060410> (дата обращения: 21.12.2023).

**Brain-Computer Interfaces (BCI) and Brain-to-Brain Interface (BBI)
in the structure of NBIC-technologies (based on experimental data
from the Research Center of Neurotechnologies,
South Federal University)**

German E. Bokov

Institute of Philosophy, Saint Petersburg State University. 7/9 Universitetskaya embankment, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation; e-mail: bokovg@gmail.com

Helen V. Chapny

Institute of Philosophy, Southern Federal University. 105/42 Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation; e-mail: elena_chapny@mail.ru

Paul D. Shaposhnikov

Center of Neurotechnology, Southern Federal University. 105/42 Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation; e-mail: pavsh@sfedu.ru

The article presents a conceptual analysis of the main directions and methods of studying the human psyche, consciousness and brain in contemporary domestic and foreign research. The concept of “converging technologies” is considered in context of the creation of Artificial General Intelligence (AGI). It describes programs for the neuroscientific study of organization of psychic processes in the field of visualization of brain processes and the mapping method, which helps to understand how different parts of the brain can be structurally and functionally separated from each other. The publication pays special attention to understanding the possible use of Brain-Computer Interfaces (BCI) and Brain-to-Brain Interfaces (BBI) in the creation of AGI, “hybrid intelligence”. Brain interfaces are presented as fundamentally new channels of communication and control. An example of a biohybrid odor recognition system developed at the Research Center of Neurotechnology of the Southern Federal University is given. We are talking about the implementation of control through the BBI and mental commands of a biological object – a rat. From the position of a body-oriented approach this work reveals the problem of co-evolution of the body, consciousness, technology and social environment in the post-non-classical paradigm. It is concluded that modern neuroscience has a significant impact on understanding the functioning of the human brain, consciousness and cognitive processes. The feasibility of studying the possible use of BCI and BBI technologies in stimulating brain areas to create sensations equivalent to touch, etc. is noted. We are also talking about the use of biohybrid systems controlled through BBI technology as systems that combine the advantages of natural and artificial intelligence (with further elaboration of ethical issues).

Keywords: converging technologies, brain-computer interfaces (BCI), brain-to-brain interfaces (BBI), biohybrid systems, NBIC-technologies, artificial general intelligence, digital intelligence, hybrid intelligence, body-oriented approach, cognitive processes

Acknowledgements: The study was supported by SP grant No. 11-23-04. Strategic and academic leadership programs of the Southern Federal University “Priority-2030”.

References

A probabilistic atlas and reference system for the human brain: International Consortium for Brain Mapping (ICBM). The Royal Society, 2001. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1088516/pdf/TB011293.pdf> (accessed on 21.12.2023).

Anokhin, K.V. “Kognitivnye vychisleniya na osnove neironnykh gipersetei” [Cognitive computing based on neural hypernets], *Filosofiya iskusstvennogo intellekta* [Philosophy of artificial intelligence], ed. by V.A. Lektorsky, D.I. Dubrovsky. Moscow: IIntell Publ., 2017, pp. 70–86. (In Russian)

Anokhin, K.V. “Kognitom: v poiskakh fundamental’noi neironauchnoi teorii soznaniya” [Cognitome: in search of a fundamental neuroscientific theory of consciousness], *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2021, vol. 71, no. 1, pp. 39–71. (In Russian)

Bai, Y., Jiang, J., Zhao, B., Zhang, P. “Brain actuated Humanoid Robot based on Brain-computer Interface (BCI)”, *2018 IEEE International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering*. <https://www.studocu.com/in/document/pes-university/intro-to-algorithms/jiang-2018/11105941> (accessed on 21.12.2023).

Damasio, A. *Looking for Spinoza: Joy, Sorrow, and the Feeling Brain*. San Diego, California: Harvest, 2003. 368 pp.

Damasio, A. *Tak nachinaetsya “ya”*. *Mozg i vozniknovenie soznaniya* [Self Comes to Mind. Constructing the Conscious Brain], trans. by I. Yushchenko. Moscow: Kar’era-Press Publ., 2018. 384 pp. (In Russian)

Dubrovsky, D.I. “Znachenie neironnykh issledovaniy soznaniya dlya razrabotki obshchego iskusstvennogo intellekta (metodologicheskie voprosy)” [Implications of neural consciousness research for the development of artificial general intelligence (methodological issues)], *Voprosy filosofii*, 2022, no. 2, pp. 83–93. (In Russian)

Grau, C., Ginhoux, R., Riera, A. et al. “Conscious brain-to-brain communication in humans using non-invasive technologies”, *PLoS One*, 2014, no. 9 (8). <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0105225> (accessed on 21.12.2023).

Kiroy, V.N. *Interfeis mozg-komp’yuter (istoriya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy)* [Brain-Computer Interface (history, current state, prospects)]. Rostov-na-Donu: Izd-vo Yuzhnogo federal’nogo un-ta Publ., 2011. 239 pp. (In Russian)

Oliveira, A. *Tsifrovoy razum: kak nauka menyaet chelovechestvo* [The Digital mind. How Science is Redefining Humanity], trans. by K. Chistopolskaya. Moscow: Izdatel’skii dom “Delo” RANKhiGS Publ., 2022. 448 pp. (In Russian)

Pais-Vieira, M., Lebedev, M., Kunicki, C. et al. “A brain-to-brain interface for real-time sharing of sensorimotor information”, *Scientific Reports*, 2013, no. 3 <https://www.nature.com/articles/srep01319> (accessed on 21.12.2023).

Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. *Zerkala v mozge: O mekhanizmaxh sovmestnogo deistviya i soperezhivaniya* [Mirrors in the brain. About the mechanisms of joint action and empathy], trans. by O.A. Kurakova, M.V. Falikman. Moscow: Yazyki slavyanskikh kul’tur Publ., 2012. 208 pp. (In Russian)

Sergin, V.Ya., Sergin, A.V. “Ierarkhicheskaya model’ vospriyatiya bez kombinatornogo vzryva” [Hierarchical model of perception without combinatorial explosion], *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2019, vol. 69, no. 5, pp. 633–658. (In Russian)

Sil’nyi iskusstvennyi intellekt: Na podstupakh k sverkhrazumu [Strong artificial intelligence: On the approach to superintelligence], ed. by A. Vedyakhin. Moscow: Intellektual’naya literatura Publ., 2021. 232 pp. (In Russian)

Tan, D.S., Nijholt, A. *Brain-Computer interface: Applying Our Minds to Human-Computer Interaction*. London: Springer, 2010. 301 pp.

Yoo, S.-S., Kim, H., Filandrianos, E. et al. “Non-Invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains”, *PLoS One*, 2013, no. 8 (4). <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0060410> (accessed on 21.12.2023).