

УДК 004.514.6

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/129/09>

**БЕЙИН-КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ (BCI):
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
И ЭТИКО-СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИМБИОЗА ЧЕЛОВЕК–ИИ**

©*Нагыева Н.*, ORCID: 0009-0007-6157-690X, Нахчыванский государственный университет, г. Нахчыван, Азербайджан

©*Аскерли А.*, Нахчыванский государственный университет,
г. Нахчыван, Азербайджан, aynurasgarli22@gmail.com

**BRAIN-COMPUTER INTERFACES (BCI): TECHNOLOGICAL EVOLUTION,
INFORMATION SECURITY AND ETHICAL-SOCIOLOGICAL ANALYSIS
OF HUMAN-AI SYMBIOSIS**

©*Nagiyeva N.*, ORCID: 0009-0007-6157-690X, Nakhchivan State University,
Nakhchivan, Azerbaijan

©*Asgarli A.*, Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan, aynurasgarli22@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются технологическая эволюция и современные перспективы развития интерфейсов «мозг — компьютер» (BCI). Исследуются исторические предпосылки возникновения нейрокомпьютерных систем, архитектура имплантов Neuralink, методы биометрической аутентификации на основе сверточных нейронных сетей, а также механизмы обеспечения информационной безопасности с использованием блокчейн-технологий и гомоморфного шифрования. Особое внимание уделяется математическим законам масштабирования искусственного интеллекта, перспективам симбиоза человека и искусственного интеллекта, а также этическим, социальным и философским последствиям развития нейротехнологий. В работе рассматриваются проблемы нейроконфиденциальности, нейрокапитализма, нейродискриминации и предлагаются механизмы регулирования в рамках концепции нейроправ.

Abstract. This article examines the technological evolution and future prospects of brain-computer interfaces (BCIs). The study analyzes the historical foundations of neurocomputing systems, the architecture of Neuralink implants, biometric authentication methods based on convolutional neural networks, and information security mechanisms using blockchain technologies and homomorphic encryption. Special attention is paid to the mathematical scaling laws of artificial intelligence, the prospects of human-AI symbiosis, and the ethical, social, and philosophical implications of neurotechnology development. The paper discusses issues of neuroprivacy, neurocapitalism, and neurodiscrimination, and proposes regulatory mechanisms within the framework of neurorights.

Ключевые слова: BCI, Neuralink, искусственный интеллект, нейронные сети, нейроэтика, кибербезопасность.

Keywords: BCI, Neuralink, artificial intelligence, neural networks, neuroethics, cybersecurity.

Современный этап развития науки характеризуется тесной интеграцией информационных технологий, искусственного интеллекта и нейробиологии. Одним из наиболее перспективных направлений этой интеграции являются интерфейсы мозг-компьютер

(Brain-Computer Interfaces, BCI), обеспечивающие прямое взаимодействие между человеческим мозгом и вычислительными системами. Еще несколько десятилетий назад подобные технологии существовали лишь в рамках научной фантастики, однако стремительное развитие вычислительных мощностей, алгоритмов машинного обучения и нейронауки позволило превратить данную концепцию в реальность. Особый интерес к данной области вызван деятельностью компании Neuralink, которая занимается разработкой имплантируемых нейроинтерфейсов нового поколения. Такие технологии открывают широкие возможности не только в сфере медицины и реабилитации пациентов с неврологическими нарушениями, но и в области расширения когнитивных способностей человека. Вместе с тем распространение BCI сопровождается возникновением новых вызовов, связанных с информационной безопасностью, защитой нейронных данных, этическими аспектами вмешательства в деятельность мозга и возможными социальными последствиями интеграции искусственного интеллекта в человеческую жизнь.

Целью данного исследования является комплексный анализ исторического развития технологий BCI, современных методов обеспечения безопасности нейронных данных, а также рассмотрение социальных, философских и этических последствий формирования симбиоза человека и искусственного интеллекта.

Теоретическую основу исследования составили научные публикации в области искусственного интеллекта, нейробиологии, кибербезопасности, криптографии и нейроэтики. Для изучения исторических предпосылок формирования нейрокомпьютерных технологий были проанализированы работы Walter Pitts и Warren McCulloch, посвященные математическому моделированию биологических нейронов. Особое внимание уделено исследованиям John von Neumann, внесшего значительный вклад в развитие вычислительных систем и формирование концепции машинного интеллекта [1].

Технические аспекты современных BCI-систем исследовались на основе анализа архитектуры Neuralink, включая характеристики импланта N1 и роботизированной хирургической платформы R1. В работе также использованы материалы современных исследований, посвященных применению сверточных нейронных сетей (CNN), технологии FaceNet и методам мультимодальной биометрической аутентификации [5].

Для анализа информационной безопасности нейронных данных были рассмотрены методы гомоморфного шифрования, федеративного обучения, цифровой подписи и блокчейн-технологий. Особое внимание уделено вопросам защиты персональных нейронных данных и предотвращения несанкционированного доступа к когнитивной информации пользователей. Методологическую основу исследования также составили сравнительный анализ, системный подход, методы теоретического обобщения и междисциплинарный анализ современных тенденций развития искусственного интеллекта и нейротехнологий. Анализ развития интерфейсов мозг-компьютер показывает, что современные нейротехнологии являются результатом многолетней эволюции идей, объединяющих нейробиологию, математику, информатику и искусственный интеллект. Первые фундаментальные предпосылки создания BCI были сформированы в 1943 г благодаря исследованиям Walter Pitts и Warren McCulloch. Предложенная ими математическая модель нейрона впервые продемонстрировала возможность представления биологических процессов в виде логических вычислительных схем. Данная работа стала основой для формирования искусственных нейронных сетей и последующего развития технологий искусственного интеллекта [1].

В дальнейшем значительный вклад в развитие концепции машинного интеллекта внес John von Neumann. Его исследования показали возможность моделирования когнитивных процессов человека с использованием вычислительных устройств. Идеи von Neumann стали

фундаментом современных компьютерных архитектур и оказали существенное влияние на развитие интеллектуальных вычислительных систем. Современным этапом развития нейротехнологий является создание инвазивных интерфейсов мозг-компьютер. Наиболее известным примером является проект Neuralink, основанный на использовании импланта N1. Данная система включает более тысячи ультратонких электродов, способных регистрировать активность нейронов непосредственно в моторной коре головного мозга. Высокоточная установка электродов обеспечивается специализированным хирургическим роботом R1, способным выполнять операции на микронном уровне точности и минимизировать риск повреждения кровеносных сосудов мозга. Исследования показывают, что внедрение подобных технологий требует не только технического совершенства, но и общественного принятия. Согласно современным работам в области нейроэтики, успешное распространение инвазивных BCI-систем зависит от их восприятия обществом как терапевтических инструментов, направленных на восстановление утраченных функций организма. В настоящее время основное внимание уделяется помощи пациентам с параличом, боковым амиотрофическим склерозом и другими тяжелыми неврологическими заболеваниями. Особое место в развитии BCI занимает проблема идентичности личности. Возникают вопросы о том, сохраняет ли человек свою автономность и индивидуальность после интеграции цифровых компонентов в структуру собственного сознания. Данные дискуссии выходят за рамки технических исследований и затрагивают фундаментальные философские представления о природе человеческого разума. Важным компонентом современных нейроинтерфейсов является система биометрической аутентификации пользователей. Анализ показывает, что применение мультимодальных методов идентификации существенно повышает уровень безопасности BCI-систем. Наиболее эффективными являются решения, основанные на сверточных нейронных сетях (CNN), способных выполнять высокоточную идентификацию личности посредством анализа изображений лица. Одной из наиболее известных технологий данного класса является FaceNet. Использование глубоких нейронных сетей позволяет анализировать микромимику лица, обеспечивая высокий уровень точности распознавания. Дополнительную защиту обеспечивает технология Liveness Detection, позволяющая определить, является ли пользователь реальным человеком или попытка входа осуществляется с использованием фотографии либо видеозаписи. Подобные механизмы значительно снижают вероятность успешного проведения атак типа spoofing. Особый интерес представляют исследования математических закономерностей развития искусственного интеллекта и их влияния на развитие BCI-технологий. Согласно современным моделям масштабирования, производительность интеллектуальных систем определяется тремя ключевыми факторами: вычислительными ресурсами, размером модели и объемом обучающих данных [3].

Увеличение вычислительной мощности современных графических процессоров, рост числа параметров нейронных сетей и расширение массивов данных способствуют экспоненциальному росту возможностей искусственного интеллекта. Данные закономерности позволяют предположить, что в будущем эффективность декодирования нейронных сигналов значительно возрастет, что приведет к существенному расширению функциональных возможностей BCI. Одним из наиболее обсуждаемых направлений является концепция симбиоза человека и искусственного интеллекта. В рамках данной концепции искусственный интеллект рассматривается не как внешний инструмент, а как интегрированная часть когнитивной системы человека. Подобный подход открывает возможности для усиления памяти, ускорения обучения и расширения интеллектуальных способностей человека [4].

Вместе с тем перспективы формирования симбиотических систем сопровождаются рядом серьезных этических вопросов. Центральной проблемой становится задача

согласования целей искусственного интеллекта с человеческими ценностями. В научной литературе данная проблема получила название Alignment Problem и рассматривается как один из важнейших факторов безопасного развития интеллектуальных технологий. Отдельного внимания заслуживают вопросы философии сознания и личностной идентичности. Современные исследования демонстрируют, что интеграция цифровых компонентов в когнитивную деятельность человека способна изменить традиционные представления о границах человеческого разума. Концепция «расширенного сознания» предполагает, что интеллектуальные процессы могут выходить за пределы биологического мозга и частично реализовываться посредством технологических устройств. При этом существует риск когнитивной атрофии, связанный с чрезмерной зависимостью человека от интеллектуальных технологий. Как показал исторический опыт использования калькуляторов, навигационных систем и других цифровых инструментов, автоматизация отдельных когнитивных функций способна приводить к постепенному снижению соответствующих навыков у пользователей.

Одной из наиболее актуальных проблем развития BCI является обеспечение конфиденциальности нейронных данных. В отличие от традиционных персональных данных, информация, получаемая непосредственно из мозга человека, способна отражать намерения, эмоции и особенности мышления пользователя. В связи с этим особую важность приобретают современные криптографические методы защиты информации. Наиболее перспективным решением является использование гомоморфного шифрования, позволяющего выполнять вычисления над зашифрованными данными без их предварительного раскрытия. Применение данной технологии обеспечивает высокий уровень защиты нейронной информации даже в условиях облачной обработки данных. Другим важным направлением является федеративное обучение. Данный подход позволяет обучать модели искусственного интеллекта непосредственно на устройствах пользователей без передачи персональных данных на центральный сервер. В результате существенно снижается риск утечки конфиденциальной информации. Для подтверждения подлинности нейронных команд могут использоваться механизмы цифровой подписи и криптографического хеширования. Эти технологии позволяют предотвращать атаки типа «Man-in-the-Middle» и гарантируют достоверность передаваемых данных. Перспективным направлением является также интеграция блокчейн-технологий в инфраструктуру BCI. Использование распределенных реестров обеспечивает неизменяемость информации и позволяет фиксировать все действия, выполняемые посредством нейроинтерфейса. Благодаря свойству неизменяемости блокчейна значительно снижается вероятность несанкционированного изменения данных или вмешательства в работу системы. Практическое значение BCI особенно заметно в медицинской сфере. Современные исследования демонстрируют возможность восстановления двигательных функций у пациентов с тяжелыми формами паралича, управления роботизированными протезами посредством мыслительной активности, а также компенсации последствий различных неврологических заболеваний [6].

Наряду с медицинскими преимуществами развитие нейротехнологий способно привести к существенным социальным преобразованиям. В научной литературе все чаще обсуждается возможность формирования новой формы социального неравенства, связанной с неравномерным доступом к технологиям когнитивного усиления. Подобное явление получило название нейродискриминации. Дополнительные риски связаны с возникновением феномена нейрокапитализма, при котором нейронные данные пользователей могут стать объектом коммерческого использования. В таких условиях особое значение приобретает концепция нейроправ, предусматривающая законодательную защиту ментальной приватности, когнитивной свободы и автономии личности. Полученные результаты показывают, что

дальнейшее развитие интерфейсов мозг-компьютер требует не только совершенствования технических решений, но и формирования международных механизмов регулирования. Создание глобальной системы нейроправ может стать важным условием безопасного и этически ответственного внедрения нейротехнологий в жизнь современного общества.

Проведенное исследование показывает, что технологии интерфейсов мозг-компьютер (Brain-Computer Interfaces, BCI) являются одним из наиболее значимых направлений развития современной науки и техники. Путь, начавшийся с математических моделей нейронов Walter Pitts и Warren McCulloch в середине XX века, привел к созданию высокотехнологичных нейроинтерфейсов нового поколения, способных обеспечивать прямое взаимодействие между человеческим мозгом и цифровыми системами [1].

Анализ современных разработок показал, что проекты типа Neuralink демонстрируют качественно новый этап интеграции нейробиологии, робототехники, искусственного интеллекта и вычислительных технологий [2].

Использование инвазивных имплантов, высокоточных роботизированных систем и алгоритмов машинного обучения открывает широкие возможности для восстановления утраченных функций организма, лечения неврологических заболеваний и расширения когнитивных способностей человека. Исследование также подтверждает, что дальнейшее развитие BCI невозможно без эффективного обеспечения информационной безопасности. Поскольку нейронные данные отражают не только действия пользователя, но и потенциально его мысли, намерения и эмоциональное состояние, защита таких данных становится одной из важнейших задач современной информатики. Применение гомоморфного шифрования, федеративного обучения, цифровых подписей и блокчейн-технологий способно обеспечить высокий уровень конфиденциальности и надежности нейронной информации [7].

Особое внимание в работе уделено социальным, философским и этическим аспектам развития нейротехнологий. Анализ концепции симбиоза человека и искусственного интеллекта показывает, что BCI постепенно превращаются из медицинского инструмента в технологию трансформации человеческих возможностей. Вместе с этим возникают новые вызовы, связанные с сохранением личностной идентичности, автономии человека, предотвращением когнитивной зависимости и защитой ментальной свободы личности. Результаты исследования свидетельствуют о том, что дальнейшее распространение нейротехнологий может привести к формированию новых социальных явлений, включая нейро-дискриминацию, нейро-капитализм и глобальную конкуренцию за когнитивное превосходство. В этих условиях особую актуальность приобретает разработка международных механизмов регулирования и формирование системы нейро-прав, обеспечивающей защиту фундаментальных прав человека в цифровую эпоху. Интерфейсы мозг-компьютер представляют собой не только технологическую инновацию, но и важный этап эволюции человеческой цивилизации. Дальнейшее развитие должно сопровождаться не только техническим прогрессом, но и ответственным подходом к вопросам этики, безопасности и сохранения человеческих ценностей. Будущее нейротехнологий будет определяться не только возможностями искусственного интеллекта, но и способностью общества обеспечить гармоничное сосуществование человека и цифровых систем.

Список литературы:

1. Favalli R. Following the Futures of an Emerging Technology: The case of Brain-Computer Interfaces. 2024. <https://hdl.handle.net/11577/3520303>
2. Garbe T. The presentation of brain-computer interfaces as autonomy-enhancing therapy products: A mechanism to promote societal acceptance of implant technologies // NanoEthics. 2024. V. 18. №3. P. 13. <https://doi.org/10.1007/s11569-024-00462-9>

3. Kawas N. The Future of Artificial Intelligence: Mathematical Evolution, Integration, and Global Impact // *Integration, and Global Impact* (December 12, 2025). 2025. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5912482>
4. Priede D. 100 Years Later: A History of the Future. BioLife, 2026.
5. Aprameyan S., Reddy C. National Conference on Recent Trends in Engineering Science and Technology ((NCRTEST-25)). Book Rivers, 2025.
6. Neural Nexus Report. The Global Landscape of Neurotechnology and Brain-Computer Interfacing. 2025.
7. Takenaka K. et al. Influence of pre-treatment using non-thermal atmospheric pressure plasma jet on aluminum alloy A1050 to PEEK direct joining with hot-pressing process // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024. V. 130. №3. P. 1925-1933. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12827-7>

References:

1. Favalli, R. (2024). Following the Futures of an Emerging Technology: The case of Brain-Computer Interfaces. <https://hdl.handle.net/11577/3520303>
2. Garbe, T. (2024). The presentation of brain-computer interfaces as autonomy-enhancing therapy products: A mechanism to promote societal acceptance of implant technologies. *NanoEthics*, 18(3), 13. <https://doi.org/10.1007/s11569-024-00462-9>
3. Kawas, N. (2025). The Future of Artificial Intelligence: Mathematical Evolution, Integration, and Global Impact. *Integration, and Global Impact* (December 12, 2025). <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5912482>
4. Priede, D. (2026). *100 Years Later: A History of the Future*. BioLife.
5. Aprameyan, S., & Reddy, C. (2025). *National Conference on Recent Trends in Engineering Science and Technology ((NCRTEST-25))*. Book Rivers.
6. Neural Nexus Report (2025). The Global Landscape of Neurotechnology and Brain-Computer Interfacing.
7. Takenaka, K., Jinda, A., Nakamoto, S., Koyari, R., Toko, S., Uchida, G., & Setsuhara, Y. (2024). Influence of pre-treatment using non-thermal atmospheric pressure plasma jet on aluminum alloy A1050 to PEEK direct joining with hot-pressing process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 130(3), 1925-1933. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12827-7>

Поступила в редакцию
01.06.2026 г.

Принята к публикации
12.06.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Нагыева Н., Аскерли А. Бейин-компьютерные интерфейсы (BCI): технологическая эволюция, информационная безопасность и этико-социологический анализ симбиоза человек–ИИ // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №8. С. 81-86. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/129/09>

Cite as (APA):

Nagiyeva, N., & Asgarli, A. (2026). Brain-Computer Interfaces (BCI): Technological Evolution, Information Security and Ethical-Sociological Analysis of Human-ai Symbiosis. *Bulletin of Science and Practice*, 12(8), 81-86. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/129/09>