



Искусственные общества. 2013-2026

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

Все права защищены

Выпуск 3 Том 21. 2026

Практические тренды киборгизации: модели, международные стратегии и регуляторные вызовы

Абрамова Анна Владимировна

Центр искусственного интеллекта МГИМО

Российская Федерация, Москва

Гуров Олег Николаевич

Центр искусственного интеллекта МГИМО

Российская Федерация, Москва

Аннотация

Киборгизация (интеграция биологических систем человека с электронными и механическими компонентами) перестала быть исключительно предметом научной фантастики и лабораторных экспериментов, в последние годы сложившись в развивающийся рынок с медицинским, промышленным и потребительским сегментами. По данным ВОЗ, более 2,5 млрд человек нуждаются в ассистивных технологиях, и мировой рынок решений для расширения возможностей человека оценивается сегодня в 309 млрд долларов и, по прогнозам, превысит 1,5 трлн долларов к 2035 году. В статье предложена аналитическая матрица, включающая пять базовых моделей киборгизации: восстановительной, производственной, когнитивно-коммуникативной, повседневной и экспериментальной. Каждая модель описывается по таким параметрам, как инвазивность, функциональное назначение, степень инфраструктурной зависимости, уровень коммерциализации, доступность и зрелость в части правового регулирования. На основе этой матрицы рассматриваются и сравниваются позиции технологических лидеров (США, ЕС, Япония, Китай, Израиль, Южная Корея), каждый из которых реализует собственные и принципиально различные регуляторные и экономические стратегии. Анализ показывает, что киборгизация производит измеримые экономические эффекты: способствует снижению производственного травматизма, оказывает положительное влияние на производительность труда, позволяет сократить в долгосрочной перспективе расходы на здравоохранение. Вместе с тем подступают и социальные последствия: налицо формирование нового типа структурного неравенства, так называемого *enhancement divide*, при котором доступ к технологиям усиления человека распределяется асимметрично, что может привести к критичным последствиям в будущих поколениях. Отдельную угрозу представляют проблемы контроля нейро- и

биометрических данных, правовое регулирование которых существенно отстает от темпов коммерциализации используемых в данной сфере технологий. Адекватная регуляторная база, по мнению авторов, должна строиться на трех взаимосвязанных принципах: нейроправах, подходе возможностей и когнитивной свободе. Предложенная матрица моделей может использоваться как практический инструмент для разработки стратегий развития в сфере киборгизации, как на государственном, так и на международном уровнях.

Ключевые слова: киборгизация, экзоскелеты, нейроинтерфейсы, ассистивные технологии, человеческий капитал, enhancement divide, нейроправа, регулирование технологий, цифровое неравенство

Дата публикации: 20.09.2026

Ссылка для цитирования:

Абрамова А. В., Гуров О. Н. Практические тренды киборгизации: модели, международные стратегии и регуляторные вызовы // Искусственные общества. 2026. Т. 21. Выпуск 3. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800039585-2-1/> DOI: 10.18254/S207751800039585-2

1

Введение

В настоящее время бионические протезы, нейростимуляторы, экзоскелеты и имплантируемые нейроинтерфейсы (BCI) переходят из разряда экспериментальных разработок в повседневные медицинские практики и становятся объектами массового производства. Такие процессы официально называются киборгизацией, интеграцией технических систем в человеческий организм с целью восстановления либо расширения физиологических и когнитивных функций¹. Спрос на такие технологии растет по всему миру и быстро набирает масштаб. По данным Всемирной организации здравоохранения, сегодня более 2,5 млрд человек нуждаются хотя бы в одном таком «вспомогательном» устройстве, а к 2050 году их число может достичь 3,5 млрд. Сразу же можно отметить, что доступ к таким технологиям на сегодняшний день остается крайне неравномерным. В беднейших странах такие устройства получают лишь около 3 % нуждающихся, тогда как в развитых странах – до 90 %².

² Интерес к киборгизации обусловлен не только новыми возможностями, появляющимися в ходе технологического прогресса, но и серьезными социально-экономическими вызовами, стоящими перед человечеством. Старение населения, рост числа хронических заболеваний и дефицит рабочей силы формируют устойчивый спрос на реабилитационные решения и одновременно на технологии, позволяющие повышать производительность труда и качество человеческого капитала. В отчете Центра искусственного интеллекта МГИМО приводятся примеры того, как киборгианские технологии интегрируются в производственные цепочки, сервисные модели, оказывая влияние на существующий рынок и стимулируя возникновение новых рыночных сегментов. Конвергенция NBICS-технологий и ИИ способствует появлению многофункциональных устройств, способных одновременно решать терапевтические, коммуникационные и производственные задачи³.

³ За последнее десятилетие произошел ряд важных технологических прорывов: появились новые биосовместимые материалы, стала более доступной микроэлектроника, широко распространилось машинное обучение. Эти изменения, наряду с демографическими проблемами, заставляют различные государства и бизнес

рассматривать киборгизацию как один из ключевых факторов, который способен влиять на конкурентоспособность⁴. Серьезность данного подхода подтверждается тем, что с 2014 по 2021 год глобальные вложения в нейротехнологии выросли более чем в семь раз, достигнув 33,2 млрд долларов⁵. Стремительный рост рынка неизбежно порождает сложные вопросы, связанные с тем, как в результате интеграции инноваций в общественную жизнь поменяется организация труда, как станут распределяться выгоды от технологического усиления человека, и шире – где проходят допустимые границы вмешательства в человеческий организм.

⁴ В статье авторы сравнивают различные модели киборгизации по единой матрице, и далее анализируют складывающийся международный опыт с упором на экономические эффекты и регуляторные проблемы. Технологии киборгизации разделены по основным векторам применения на пять моделей. Восстановительная модель включает устройства, целью которых является возвращение утраченных функций организма. К их числу относятся протезы, некоторые импланты, реабилитационные экзоскелеты. Производственная модель объединяет решения для промышленной среды. Сюда относятся устройства, которые позволяют снижать физическую нагрузку и повышать эффективность работы на производствах. Когнитивно-коммуникативная модель включает технологии прямого взаимодействия с нервной системой. Это уже упомянутые BCI и «сопутствующие» устройства. К повседневной модели относятся массовые решения, носимые и малоинвазивные, которые зачастую уже «встроены» в бытовую жизнь современного человека. Экспериментальная модель включает проекты на фронтире науки. Это самый передний край, где находятся прототипы и лабораторные проекты, еще не вышедшие на рынок. Авторы рассмотрят эти модели по таким параметрам, как инвазивность, функциональное назначение, степень инфраструктурной зависимости, уровень коммерциализации, доступность и зрелость в части правового регулирования. Параметры выбраны так, чтобы охватить и технические свойства, и социально-экономические последствия.

⁵ Инвазивность показывает, насколько глубоко (в буквальном смысле) технология проникает в организм человека. Эта вариативность может быть велика уже сегодня: от обычных носимых до хирургически имплантируемых устройств. Функциональное назначение, очевидно определяет ключевую цель технологии, такую как восстановление утраченных функций, физическое усиление, расширение когнитивных возможностей или биометрическая идентификация. Степень инфраструктурной зависимости показывает, насколько то или иное решение привязано к внешним сетям, датчикам и облачным сервисам. Уровень коммерциализации определяет стадию рыночного развития технологии: от лабораторного прототипа до массового продукта. Параметр доступности подразумевает стоимость устройства и соответственно барьеры, с которыми сталкиваются разные группы населения. Зрелость в части правового регулирования, или регуляторная зрелость, наконец – это оценка наличия профильных стандартов, законодательства и реальной правоприменительной практики.

⁶ Применение этой матрицы позволяет обнаружить неочевидные на первый взгляд контрасты. Например, медицинский имплант и потребительский биочип формально относятся к одной категории. Оба они устройства, вживляемые в тело. Но если их рассмотреть в рамках представленной матрицы, то здесь они разительно расходятся по всем параметрам. Первый характеризуется высокой инвазивностью, относительной автономностью и является объектом развитого регулирования, оставаясь, однако дорогой и малодоступной технологией. Второй едва касается тела, зато глубоко вшит в цифровую инфраструктуру, широко представлен на рынке и при этом почти не регулируется.

Сравнение международных практик позволяет четко систематизировать существующие тенденции.

⁷ Отметим ограничение исследования, выражающееся в неполноте информации и возможной потере ее актуальности в среднесрочной перспективе в связи с тем, что описываемые технологии в настоящее время развиваются практически экспоненциально. Также в исследование сознательно не была включена оборонная составляющая киборгизации, которая формирует самостоятельный сегмент с особой логикой финансирования и собственной регуляторной средой. Поэтому авторы ограничиваются подробным описанием перечисленных моделей, составляющих коммерческий блок киборгизации. Как уже отмечалось, они не являются просто различными технологиями. Развитие каждой из них определяется собственной логикой отношений с человеком, рынком и законодательством.

8

Восстановительная модель

Этот сегмент киборгизации является хронологически старейшим, и, соответственно, наиболее зрелым в регуляторном отношении. Он объединяет устройства, предназначенные для восстановления утраченных физиологических функций. В их числе кардиостимуляторы, кохлеарные импланты, нейростимуляторы, бионические протезы конечностей и экзоскелеты для постинсультной реабилитации. Всемирная организация здравоохранения относит такие решения к ассистивным технологиям, которые способствуют восстановлению и сохранению здоровья, повышению автономии и инклюзии (под которой в данном контексте подразумевается социальная включенность) человека⁶. Очевидно, что главной целью этих технологий является возвращение способности самостоятельно передвигаться, слышать или контролировать функции собственного тела.

⁹ Большинство таких устройств высокоинвазивны и не требуют постоянного подключения к сети. Этим объясняется «естественный» характер их интеграции в систему здравоохранения. Более того, в ряде развитых стран расходы на приобретение и обслуживание таких устройств частично или даже полностью покрываются страховыми программами или являются объектами государственной поддержки. Вместе с этим высокая стоимость разработки и проведения клинических испытаний, а также сложная сертификация делает их труднодоступными для значительной части нуждающихся в масштабе планеты. По данным ВОЗ, даже относительно простые в технологическом отношении инвалидные коляски в мире получает лишь от 5 до 35% людей, которым они необходимы, а текущие объемы производства слуховых аппаратов способны удовлетворить менее 10% мирового спроса⁷. В беднейших странах доля обеспеченных продуктами этих технологий не превышает 5%. Этот разрыв характеризуется как системное неравенство, требующее не только технологических, но прежде всего политических решений⁸.

¹⁰ Коммерциализация по продуктам, представляющим данный сегмент, развивается относительно медленными темпами, поскольку каждое новое изделие должно пройти полный цикл клинических испытаний и получить статус медицинского устройства. На рынке прочно закрепился небольшой пул крупных компаний:

- Medtronic лидирует в области нейростимуляции с выручкой сегмента Neuromodulation около 1,8 млрд долларов по результатам 2024 года⁹.
- Компания Cochlear Limited удерживает прочные позиции в сегменте имплантируемых слуховых систем, покрывая почти половину мирового рынка кохлеарных имплантов¹⁰.

¹¹ Правовая база, регулирующая наиболее зрелые направления, включает стандарты безопасности имплантов, процедуры одобрения по классу III в FDA и аналогичные процедуры ЕМА. Можно судить, что она сформирована достаточно полно¹¹. Тем не менее на стыке биологического и цифрового сохраняется серьезная уязвимость, поскольку гибридные системы биоэлектронной медицины, передающие данные в облако, до сих пор не вписываются в существующие нормативные рамки.

¹² Хотя технологический потенциал данного сегмента не может подвергаться сомнению, ключевым вопросом является то, станет ли стремление к расширению доступа к таким технологиям одним из приоритетов государственной политики, или дальнейшее развитие по этому направлению будет определяться лишь рыночной конъюнктурой. Надо отметить, что по мере роста численности пожилого населения и пациентов с хроническими заболеваниями в будущем этот вопрос приобретет еще большую остроту.

¹³

Производственная модель

Продукты этого сегмента, ориентированные прежде всего на промышленную сферу, главным образом воплощаются в промышленных экзоскелетах – носимых конструкциях, использование которых позволяет в большой мере снижать нагрузку на опорно-двигательный аппарат, выполняя тяжелые операции с меньшим риском для здоровья. Такие устройства уже внедрены или проходят апробацию в автомобилестроении, авиастроении, строительстве и складской логистике¹².

¹⁴ Экономический потенциал этих технологий очевиден. Снижение производственного травматизма позволяет бизнесу существенно сократить расходы на компенсацию больничных и выплаты по нетрудоспособности, а рост производительности труда напрямую отражается на операционных показателях. Согласно обзору Safetytech Accelerator, промышленные экзоскелеты обеспечивают в среднем снижение риска травм на 58% и рост производительности на 10%. Материалы исследуемых кейсов продемонстрировали, что при использовании этих технологий в логистических центрах за почти 300 тысяч часов работы не было зарегистрировано ни одной травмы спины (без экзоскелетов по статистике их было бы более десятка)¹³. На заводах Ford была реализована пилотная программа по использованию EksoVest, результатом которой стало снижение травматизма¹⁴. А на сборочных линиях Toyota после пилотов, показавших статистически значимое снижение активности плечевых мышц у работников, приняли решение начать использовать сотни таких вспомогательных устройств¹⁵.

¹⁵ Устройства, принадлежащие этому сегменту, крепятся к человеку с помощью ремней, к телу примыкают датчики давления, и в данном случае границы телесности не затрагиваются. При этом в отличие от продуктов, относящихся к восстановительной модели, промышленные экзоскелеты функционируют в тесной интеграции с цифровой производственной инфраструктурой. Они оснащены сенсорными системами, подключаемыми к аналитическим платформам для мониторинга нагрузки и контроля технического состояния.

¹⁶ Данный рынок развивается достаточно динамично. По прогнозам аналитиков, к 2030 году его объем достигнет 3,9 млрд долларов при среднегодовом темпе роста около 25%¹⁶. Среди лидеров выделяется немецкая Ottobock, чье подразделение SUITX продало десятки тысяч устройств корпоративным заказчикам, в число которых входят Toyota North America, IKEA и DB Schenker. Можно отметить и German Bionic, чьи экзоскелеты

серии Argee применяются крупными логистическими операторами, такими как DPD, Dachser и Fiege, а также больницами и аэропортами разных стран¹⁷. Для малого бизнеса и индивидуальных покупателей эти технологии пока остаются практически недоступными из-за высокой стоимости: один полноразмерный промышленный экзоскелет ежегодно обходится корпоративным заказчикам в десятки тысяч долларов¹⁸.

¹⁷ Не менее актуальной является проблема добровольного использования таких технологий: можно предположить, что на предприятиях оказывается давление на сотрудников с требованием применять экзоскелеты в обязательном порядке, поскольку интеграция этих технологий в производственные процессы подразумевает их трансформацию. Действующий стандарт ISO 13482 устанавливает базовые технические требования безопасности персональных роботизированных систем, но никаким образом не регулирует этические и социальные аспекты их применения¹⁹. В этой части фиксируется серьезный пробел, и без правовых решений по распределению ответственности и обеспечению добровольного согласия работников устойчивое развитие этой модели остается проблематичным.

¹⁸

Когнитивно-коммуникативная модель

Технологии, применяемые в рамках этой модели, позволяют оказывать прямое воздействие на нейронные процессы. Среди продуктов – имплантируемые и носимые BCI, системы усиления памяти, а также нейропротезы речи и движения. Сейчас большинство клинически одобренных решений предназначено исключительно для пациентов с тяжелыми двигательными нарушениями. Однако можно наблюдать, что вектор разработок смещается в сторону здоровых пользователей в части управления устройствами усилием мысли, расширения «рабочей» памяти и прямой передачи данных между человеком и машиной.

¹⁹ По параметрам матрицы данная модель занимает крайние позиции сразу по нескольким осям. Инвазивность здесь достигает максимального уровня. Для точного считывания нейросигналов требуется либо имплантация электродов прямо в кору головного мозга, либо плотный неинвазивный контакт с помощью электроэнцефалографических шлемов (ЭЭГ-шлемов) с сухими электродами²⁰. Инфраструктурная зависимость также крайне высока. Обработка нейроданных в реальном времени требует значительных вычислительных мощностей и сложных алгоритмов машинного обучения. При этом коммерциализация находится на самой ранней стадии: лишь отдельные компании получили разрешения на клинические испытания. В 2024 году Neuralink начал испытания кортикального импланта на людях, но реальное время до серийного производства может быть оценено во многие годы и даже десятилетия²¹.

²⁰ Именно здесь наиболее остро проявляются этические вопросы. ЮНЕСКО прямо указывает, что нейротехнологии затрагивают физическую целостность мозга и достоинство личности, а нейроданные вскрывают пласты «внутренней жизни», которые обычные механизмы защиты приватности попросту не способны охватить²². Интересно, что реакция в обществе на результаты первых испытаний Neuralink оказалась полярной: фанатичный технологический оптимизм по поводу революционного прорыва сопутствовал алармистскому нейроскептицизму из-за опасений, что ускоренная коммерциализация опередит или даже подавит в зародыше формирование этических норм²³. По факту обсуждение вопросов, связанных с правовой защитой ментальной приватности, к настоящему моменту не привело к появлению согласованной международной правовой базы.

²¹ Таким образом, регуляторная составляющая представляется неопределенной. Формально BCI подпадают под законодательство о медицинских изделиях и защите персональных данных. Вместе с этим существующее законодательство создавалось без учета возможностей «прямого доступа» к мозговой активности человека. В марте 2026 года Китай первым в мире выдал коммерческое разрешение на инвазивный BCI. Это устройство NEO компании Neuracle Medical Technology, предназначенное для пациентов с частичным параличом вследствие травмы шейного отдела спинного мозга²⁴. Этот прецедент демонстрирует существующий парадокс: технологическая готовность сопровождается серьезным нормативным вакуумом, так как большинство стран не имеет релевантного законодательства и даже этических стандартов для подобных технологий. Безусловно, формирование норм защиты нейроданных и информированного согласия важнее даже самых смелых темпов коммерциализации.

²²

Повседневная модель

Это направление охватывает уже достаточно широко распространенные носимые, а также малоинвазивные имплантируемые устройства, использование которых позволяет облегчать повседневную жизнь, зачастую обеспечивая биометрическую идентификацию. К этой группе относятся RFID- и NFC-чипы, вводимые под кожу, а также носимые датчики здоровья, такие как смарт-часы, фитнес-трекеры и биометрические браслеты. Подкожные чипы позволяют открывать двери, совершать платежи и хранить медицинские данные. Носимые устройства уже давно вышли за рамки нишевого рынка и стали продуктами массового рынка. Основная цель данной модели, по нашему мнению, системно встроить механизмы идентификации и постоянного мониторинга в повседневную жизнь.

²³ В продуктах данного сегмента акцент смещен от клинически ориентированных решений к массовым, относительно доступным и широко тиражируемым технологиям. Развитие продуктов, относящихся к данной модели, в наибольшей степени связано с развитием потребительских нейротехнологий (consumer neurotechnology), ярким примером которых на выходе являются относительно недорогие ЭЭГ-гарнитуры²⁵. В документе ОЭСР как факт отмечено, что в настоящее время формируется отдельное направление потребительских нейротехнологий. В этом же документе четко сформулированы связанные с этим риски, касающиеся приватности, автономии личности, справедливого доступа к технологиям и коммерциализации нейроданных²⁶. Степень физического вмешательства у продуктов этой модели минимальна. По сути, даже имплантация подкожного чипа по сложности сопоставима с обычной инъекцией. В то же время инфраструктурная зависимость может быть оценена как высокая, поскольку устройства являются элементами интернета вещей и функционируют в комплексе с облачными платформами «под контролем» мобильных сетей.

²⁴ По уровню коммерциализации повседневная модель существенно опережает остальные. Рынок носимых устройств уже сформирован, на нем присутствует высокая конкуренция, и развитие продолжается. О масштабах распространения свидетельствуют конкретные данные: в Швеции и США десятки тысяч человек добровольно имплантировали себе RFID- и NFC-чипы для работы и бытовых нужд²⁷. При этом состояние правовой базы здесь сложно назвать сформированной. Законодатели пока лишь действуют реактивно, реагируя на проблемы по мере их возникновения. К марту 2026 года в 15 американских штатах приняты законы, запрещающие работодателям требовать от сотрудников имплантацию чипов²⁸. При этом статус «добровольности» использования таких устройств практически не урегулирован. Как отметил еще в 2017

году шведский микробиолог Бен Либберт, даже простой подкожный NFC-чип способен передавать данные о местоположении, жизненном графике, а также о состоянии здоровья владельца²⁹. Действующее законодательство США о персональных данных не относит сведения, передаваемые NFC-чипами, к категории требующих специальной защиты³⁰.

²⁵ Повседневная модель олицетворяет сложность самого концепта киборгизации в чистом виде³¹. Здесь отчетливо видно, насколько тонкой является граница между удобством и контролем, и насколько востребовано «предиктивное» законодательство, чтобы обеспечить защиту человека по ключевым категориям, например, в части добровольного согласия.

²⁶

Экспериментальная модель

Данная модель является в некоторой степени условной, собранной из разнородных проектов. Она введена в данное исследование, чтобы под ее «зонтиком» объединить разнородные технологии, находящиеся на фронтире, переднем крае науки и технологического развития. Здесь вообще нельзя говорить об устоявшихся рынках или нормативной базе, поскольку технологии, относящиеся к этой модели, принципиально не завершены. Они существуют преимущественно в виде гипотез, концепций или лабораторных прототипов, а не готовых продуктов. На материале этой модели можно нащупать реальные перспективы киборгианских технологий.

²⁷ Наиболее радикальной формой экспериментов в этих контурах является биохакерское направление. В 2002 году британский ученый Кевин Уорвик из Университета Рединга имплантировал себе нейронный интерфейс, связанный с нервной системой его руки, и установил первое в истории прямое нейронное соединение с супругой через интернет³². Нил Харбиссон, страдающий полной цветовой слепотой, с 2004 года получил возможность «ощущать» цвета как звуки благодаря антенне, хирургически закрепленной в его затылочной кости. Устройство преобразует световые волны в костную вибрацию³³. Существует отдельное движение «грайндеров», представители которой относят себя к субкультуре людей, увлеченных расширением телесных возможностей с помощью имплантации кибернетических устройств. Они самостоятельно имплантируют магниты, датчики температуры и другие устройства³⁴. Они реализуют такие инициативы вне медицинского контроля, и, конечно, эта деятельность никоим образом не регулируется³⁵.

²⁸ Исследуя эту модель, необходимо обратиться к генетической проблематике, вокруг которой ведется множество дискуссий. Вопрос, можно ли относить редактирование генома к киборгизации, до сих пор остается открытым. В реальности уже имеются прецеденты. В 2015 году Лиз Пэрриш, основатель и генеральный директор компании BioViva, самостоятельно прошла экспериментальную генную терапию, направленную на замедление биологического старения³⁶. Чуть позже, дело китайского ученого Хэ Цзянькуя, который в 2018 году отредактировал геном человеческих эмбрионов с помощью CRISPR-Cas9 и был впоследствии приговорен к тюремному заключению, четко обозначило границу, которую международное научное сообщество пока не готово переступить³⁷.

²⁹ Перечисление подобных передовых проектов можно было бы продолжить, но уже сейчас понятно, что все эти направления характеризуются полным отсутствием правового регулирования. Существующее медицинское законодательство, нормы защиты данных и биоэтические принципы никак не соотносятся с ситуацией, когда человек добровольно в большей или меньшей степени модифицирует собственную телесность,

причем во многих случаях не преследуя коммерческих целей. В любом случае, необходимо учитывать, что выглядящие сегодня маргинальными эксперименты спустя обозримое время окажутся в центре регуляторной повестки.

30

Международные практики

Если рассматривать стратегии именно в национальном масштабе, то США удерживают лидерство в киборгианских технологиях в силу объема частных инвестиций и концентрации инновационных компаний³⁸. В сегменте экзоскелетов США также удерживают доминирующие позиции благодаря масштабным инвестициям, растущему спросу в промышленности и оборонном секторе, а также развитой системе здравоохранения³⁹. Например, существует программа N3 (Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology), нацеленная на создание высокопроизводительных BCI для военнослужащих, которые могут быть интегрированы без хирургического вмешательства⁴⁰. Отметим особенность регуляторной логики, которая определяется прагматикой: сначала выпустить продукт на рынок, и потом разбираться с последствиями по факту. В связи с этим новые технологии нередко получают достаточно формальное одобрение, а решение этических и правовых вопросов откладывается на потом.

³¹ В Европейском союзе придерживаются более осторожного, регуляторно-ориентированного подхода. На уровне отдельных стран особенно показателен опыт Франции. В 2019 году группа Clnatec в Гренобле под руководством А.Л. Бенабида продемонстрировала полноразмерный экзоскелет, управляемый с помощью эпидурального BCI. В рамках теста пациент с тетраплегией (потерей функций конечностей и/или иных частей тела) смог в течение 2 лет успешно управлять руками и ногами силой мысли⁴¹. В Германии промышленные экзоскелеты уже активно используются в производственной эргономике. BMW Group применяет экзоскелетные жилеты на сборочных линиях, а компания Ottobock предлагает готовые решения для автомобилестроения, промышленных предприятий и логистических компаний⁴².

³² В Японии киборгизация рассматривается прежде всего через призму демографических вызовов. По данным национального статистического бюро, в 2023 году доля населения в возрасте старше 65 лет составляла 29,1%⁴³. Согласно официальной концепции японского правительства «Общество 5.0» государство активно стимулирует внедрение киберфизических технологий для преодоления проблем старения населения и дефицита рабочей силы⁴⁴. В этой части можно говорить о реальных перспективах практически массового продукта - экзоскелета HAL компании Cyberdyne, который первым в мире прошел сертификацию по международному стандарту ISO 13482 для носимых устройств и получил разрешение на клиническое применение⁴⁵. Отметим, что данное устройство является универсальным, и может применяться как в медицинской реабилитации и в промышленности, так и в уходе за пожилыми людьми.

³³ Похожая динамика наблюдается в Южной Корее и Китае, где государственные программы направлены на стимулирование внедрения роботизированных решений для компенсации демографического спада. По прогнозам, глобальный рынок экзоскелетов вырастет с 0,85 млрд долларов в 2025 году до 2,2 млрд долларов к 2030 году (то есть CAGR составит 21,4 %), при этом Азиатско-Тихоокеанский регион станет ключевым драйвером этого развития⁴⁶.

³⁴ Южная Корея выстраивает собственную модель развития, опираясь на мощь крупных промышленных корпораций. Компания Samsung представила серию

экзоскелетов GEMS, первой в стране получив сертификат ISO 13482⁴⁷. Группа Hyundai Motor в 2021 году приобрела Boston Dynamics, интегрировав передовые робототехнические разработки в единую экосистему мобильности и логистики⁴⁸. Как и в Японии, в Южной Корее стремительное старение населения делает внутренний рынок страны особенно перспективным для широкого внедрения ассистивных технологий.

³⁵ В Китае проводится последовательная государственная политика, направленная в первую очередь на достижение технологического лидерства. В ней одно из ключевых мест занимают нейротехнологии. Важнейшим регуляторным прецедентом стало решение Национального управления по контролю за продуктами и медикаментами (NMPA) от 13 марта 2026 года. Ведомство одобрило BCI компании Borui Kang Medical Technology, позволяющий компенсировать двигательные функции верхних конечностей у пациентов с тетраплегией⁴⁹. Это первое в мире коммерческое регистрационное свидетельство на инвазивное BCI-медицинское изделие.

³⁶ К настоящему времени в Израиле выстроена одна из наиболее развитых экосистем биомедицинских технологий. Компания BrainsWay создала систему ТМС (неинвазивной стимуляции определенных областей коры головного мозга с помощью магнитных импульсов), которая получила одобрение FDA для лечения тяжелой депрессии (2013), обсессивно-компульсивного расстройства (2018) и помощи при отказе от курения (2020)⁵⁰. Это яркий пример успешного прохождения полного инновационного цикла от научной разработки до клинического применения.

³⁷ Таким образом, международный опыт свидетельствует о наличии принципиально различных подходов к киборгизации. В общем виде существуют американский (сначала внедрить, потом регулировать), европейский (сначала зафиксировать и защитить права, потом внедрять) и азиатский, в рамках которого государство выступает неизменным стратегическим регулятором этих технологий. При этом азиатскую модель нельзя считать единой, у разных стран региона акценты расходятся, как показано выше. Необходимо отметить, что несмотря на такую вариативность, ни одна из моделей не дает эффективного решения проблемам равного доступа, и любой из описанных векторов развития стимулирует разрыв в технологических возможностях.

³⁸

Экономические эффекты и риски распределения доступа

Исходя из вышеизложенного, важно подчеркнуть один существенный долгосрочный тренд. Он заключается в постепенном переходе киборгизации от преимущественно восстановительной медицины к технологиям активного улучшения человеческих возможностей. Показательна в этом отношении позиция Ильи Чеха, основателя компании «Моторика», одного из крупнейших российских производителей бионических протезов. По оценке Чеха, уже в ближайшие 15–20 лет имплантируемые и носимые устройства перестанут быть исключительно инструментом компенсации и превратятся в средства повышения производительности и когнитивных способностей здоровых людей: «Мир уже очень близок к концепции киберчеловека»⁵¹. Этот тезис фиксирует принципиальный сдвиг в логике рынка: спрос смещается от восстановления утраченного к целенаправленному улучшению нормы. Это в еще большей степени усложняет ситуацию с регуляторной повесткой, которая, будучи незавершенной вокруг медицинской сферы, вместе с этим обязана учесть и круг вопросов, связанных с тем, кто может получать доступ к технологиям человеческого усиления и на каких условиях.

39 В контексте представленной работы важен экономический аспект этого сдвига. С одной стороны, расширение применения киборгианских технологий должно позволить в существенной мере снизить долгосрочные расходы на здравоохранение за счет профилактики, раннего выявления заболеваний и «точного» лечения. Также можно прогнозировать дальнейшее развитие и быстрый рост рынка решений, ориентированных на здоровых пользователей, которые заинтересованы в улучшении физических и когнитивных возможностей. Юрисдикции, которые сформируют благоприятные условия для создания доступных, безопасных и эффективных киборгианских технологий, смогут получить значительное конкурентное преимущество за счет повышения качества и производительности человеческого капитала. Таким образом, киборгизация постепенно перестает быть исключительно медицинской темой и превращается в важный фактор экономического развития и национальной конкурентоспособности в XXI веке. Киборгизация в этом смысле может рассматриваться как инвестиция в человеческий капитал, то есть как стратегический актив⁵².

40 Однако уже понятно, что выгоды от таких технологий распределяются крайне неравномерно. Концепция *enhancement divide*, предложенная ЕУ, описывает растущий разрыв между теми, кто имеет доступ к технологиям расширения возможностей, и теми, кто остается на обочине. Что важно, такой разрыв имеет тенденцию воспроизводиться через поколения⁵³. Эмпирические данные, относящиеся даже к развитым странам, подтверждают остроту проблемы: в странах ОЭСР около 20% нуждающихся не получают необходимых ассистивных устройств, а в Великобритании 42% пожилых людей не получают должных инструментов реабилитации⁵⁴. В беднейших странах, как уже отмечалось, данный показатель достигает 97%⁵⁵.

41 В этой связи требуется активизация государственного участия, иначе рыночные механизмы лишь усилят неравенство, при этом основными бенефициарами станут производители устройств, страховые компании, крупные работодатели в промышленности и логистике, а также платформенные гиганты. В настоящее время рынок технологического улучшения человеческих возможностей оценивается в 309 млрд долларов и может превысить 1,5 трлн долларов к 2034–2035 годам при CAGR 17–21%⁵⁶.

42 Отдельную группу рисков представляют данные. Распространение BCI, имплантируемых чипов и носимых сенсоров приводит к накоплению массивов информации о физиологии, поведении и показателях мозговой активности пользователей. Ценность таких данных для страховщиков, работодателей и государственных органов чрезвычайно высока. При этом существующие правовые нормы не предусматривают специальной защиты подобных сведений, регулирование как правило ограничивается общими положениями о персональной информации. В результате возникают риски не только утечек, но и несправедливого использования со стороны, обладающей такими данными.

43 В конечном счете баланс между экономическими выгодами и издержками неравенства определяется политическим выбором, и долгосрочная конкурентоспособность отдельных государств в сфере киборгизации будет зависеть не только от объема инвестиций в разработки, но и от способности обеспечить широкий доступ к технологиям через субсидирование, страховое покрытие и единые стандарты совместимости, как отмечено в докладе Центра искусственного интеллекта МГИМО⁵⁷. Здесь проходит ключевой водораздел между сценариями, в одном из которых киборгизация выступит инструментом общественного прогресса, и другим, когда она по-новому закрепит существующее социально-экономическое неравенство.

Перспективные механизмы: нейроправа, подход возможностей и когнитивная свобода

Выше уже отмечалось, что этика киборгизации разработана, да и то не в полной мере, на уровне общих принципов, включающих достоинство, автономию и равенство. С учетом текущего статуса развития киборгианских технологий этого уже недостаточно, и практическая задача заключается в поиске решений, которые позволят защитить человека, находящегося в ситуациях, которые зачастую непросто осмыслить. Например, речь может идти о сотруднике компании, чьи нейроданные считаются и анализируются работодателем, или о пользователе медицинской технологии, чей имплант отключается после его личного банкротства. Менее фантастическим представляется ситуация, с которой рискует столкнуться практически любой человек, пользующийся продвинутыми гаджетами, чьи психофизиологические данные станут продаваться банкам и страховщикам, или окажутся украденными киберпреступниками. Ответ, вероятно, лежит на пересечении трех подходов, которым далее будет уделено отдельное внимание.

⁴⁵ В первую очередь, это идея нейроправ, подразумевающая введение конкретных гарантий. Сюда включаются ментальная приватность, психическая неприкосновенность, защита идентичности и когнитивное равенство⁵⁸. Позднее эта идея была трансформирована в концепт когнитивной свободы, которая должна стать фундаментальным правом человека в эпоху нейротехнологий⁵⁹. Нужно отметить, что в 2021 году Чили стала первой в мире страной, где нейроправа были закреплены на конституционном уровне. Принятый закон внес поправку в статью 19 Конституции Республики Чили, дополнив ее положением о том, что научное и технологическое развитие должно осуществляться с уважением к жизни, физической и психической целостности личности, а также с защитой нейронной деятельности человека и производимых ею данных⁶⁰.

⁴⁶ Отдельно отметим так называемый подход возможностей, который переносит фокус с материальных ресурсов или рациональных предпочтений индивида на его реальные возможности выбирать и реализовывать разные стили жизни. Этот подход стал важной альтернативой утилитаризму и подходам, основанным на обеспеченности ресурсами, в экономической теории⁶¹. В рамках этого подхода акцент смещается с запретов на позитивные обязательства государства. И таким образом доступ к ассистивным и усиливающим технологиям рассматривается как необходимое условие реализации базовых человеческих возможностей, к числу которых в контексте исследования можно отнести мобильность, когнитивные функции и чувственное восприятие⁶². Данная логика лежит в основе Конвенции о правах лиц с инвалидностью, принятой ООН⁶³.

⁴⁷ Идея когнитивной свободы была разработана Нитой Фарахани. Под ней подразумевается право человека мыслить без внешнего наблюдения и несогласованных манипуляций⁶⁴. Этот концепт в полной мере применим к ситуации, когда работодатель осуществляет мониторинг усталости или концентрации сотрудника через ЭЭГ, обладая доступом к характеристикам психического состояния индивида, не неся за это какую-либо правовую ответственность.

⁴⁸ Представляется, что эти три подхода вместе могут выступать практической основой для регулирования, поскольку нейроправа задают жесткие запреты и определяют правила для процедур согласия, подход возможностей может быть полезен для формулирования позитивных обязательств государства, а границы когнитивной

свободы станут ограничивать неправомерное использование нейроданных. В комплексе подход на основе этих положений может способствовать формированию предсказуемой правовой среды, в которой будут минимизированы риски превращения инноваций в инструмент контроля над личностью.

49

Заключение

Авторы постарались представить киборгизацию в качестве набора принципиально разных моделей, каждая из которых требует своего подхода к регулированию. Предложенная матрица показала, что сочетание инвазивности, инфраструктурной зависимости, коммерциализации и регуляторной зрелости определяет экономические эффекты и главные риски, и соответственно требуемые инструменты управления для каждого сегмента.

⁵⁰ Международный опыт, закрепляющий различные стратегии, свидетельствует о том, что ни одна из них не работает без изъянов. И при том, что киборгизация уже дает реальные экономические эффекты, вместе с развитием этих технологий углубляется и неравенство. Описанная в исследовании своего рода асимметрия в контроле над нейроданными уже создает долгосрочные риски для социальной стабильности и благополучия. Однако перспективы значительного потенциального вклада киборгизации в ВВП заставляют задуматься о формировании практической основы для регулирования. Упомянутый опыт Чили доказывает, что перевести эти принципы в конституционные нормы является реальной возможностью.

⁵¹ Таким образом, вопрос не в том, развивать ли киборгизацию, а кто задает правила этого развития и в чьих интересах. Поэтому главной задачей ближайших лет является выстраивание регуляторной среды, которая позволит реализовать потенциал технологий, не допустив закрепления существующего неравенства на новых уровнях.

Примечания:

1. UNESCO. Ethics of Neurotechnology. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 20.05.2026).
2. WHO. Assistive technology: Fact sheet // Jan. 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 20.05.2026).
3. Абрамова А.Н., Гуров О.Н. Экономические аспекты киборгизации: горизонты развития: аналитический доклад. М. : МГИМО, 2024.
4. EY. How emerging technologies are enabling the human-machine hybrid economy. // 2025. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
5. UNESCO. Ethics of Neurotechnology. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 20.05.2026).
6. WHO. Assistive technology: Fact sheet. Jan. 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 20.05.2026).
7. Там же.
8. de Witte L., van der Vaart R. Inequities in access to assistive technology: a call for action // The Lancet Public Health. 2024. Vol. 10. No. 1. P. e4–e5. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 22.05.2026).
9. Medtronic plc. FY2024 Annual Report. - Dublin : Medtronic, 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
10. Global Market Insights. Cochlear Implants Market Size & Share Report. // 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
11. U.S. Food and Drug Administration. Overview of Device Regulation.// URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
12. EY. How emerging technologies are enabling the human-machine hybrid economy. // 2025. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
13. Safetytech Accelerator. Tackling MSD in Industrial Sectors with Emerging Tech : report. // 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).

14. Ford. Ford Exoskeleton Technology Pilot : press release. // 2017. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
15. Gillette J.C., Saadat S., Butler T. Electromyography-based fatigue assessment of an upper body exoskeleton during automotive assembly // Wearable Technologies. 2022. Vol. 3. Art. e20. DOI: 10.1017/wtc.2022.20.
16. SUITX by Ottobock. Growth market for exoskeletons. - 2024. - URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
17. German Bionic. Meet the Apogee+ Power Suit. - 2024. - URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
18. Safetytech Accelerator. Tackling MSD in Industrial Sectors with Emerging Tech : report. - 2024. - URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
19. Laying down the rules for safer wearable robots // CORDIS. European Commission. 2026. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 22.05.2026).
20. Recent Progress in Wearable Brain–Computer Interface (BCI) Devices Based on Electroencephalogram (EEG) for Medical Applications: A Review // Health Data Science. 2023. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 04.06.2026).
21. Lavazza A., Balconi M., Ienca M. et al. Neuralink's brain–computer interfaces: medical innovations and ethical challenges // Frontiers in Human Dynamics, 2025.
22. UNESCO. Ethics of Neurotechnology. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 20.05.2026).
23. Lavazza A., Balconi M., Ienca M. et al. Neuralink's brain–computer interfaces: medical innovations and ethical challenges // Frontiers in Human Dynamics, 2025.
24. Lewis T.A. China just approved its first brain implant for commercial use, a world first // Scientific American. 2026. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
25. Rodrigues J., Müller S.M.T., Müller S.C.F. et al. A scoping review on the use of consumer-grade EEG devices for research // PLOS ONE. 2024. Vol. 19, No. 3. -Art. e0291951. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
26. OECD. Neurotechnology Policy Toolkit: Supporting Policymakers in Implementing the OECD Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology. - Paris : OECD Publishing, 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
27. The Rise of Preemptive Bans on Human Microchip Implants // Carnegie Council for Ethics in International Affairs, 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 21.05.2026).
28. Washington State Standard. Businesses can't require microchip implants for workers under new WA law. // 2026. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
29. Olson P. Thousands of Swedes are inserting microchips under their skin // CNBC. 2017. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
30. The Rise of Preemptive Bans on Human Microchip Implants // Carnegie Council for Ethics in International Affairs, 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 21.05.2026).
31. Конькова (Кураева) Т. А. Киборгизация: реальность наших дней или далекое будущее? // Искусственные общества. 2024. Т. 19. № 2. DOI: 10.18254/S207751800031324-5.
32. Human Enhancement Through the Lens of Experimental and Speculative Neurotechnologies // Life Sciences, Society and Policy. 2019. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 05.06.2026).
33. World's First Cyborg Is Fighting for Transpecies Rights and Welcomes AI Takeover // Guinness World Records. 2023. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 05.06.2026).
34. Wohlsen M. Biopunk: DIY Scientists Hack the Software of Life. - New York: Current, 2011. - 240 p.
35. Zuckerman E. Grinders: the cyborg body modifiers who hack their own biology // The Atlantic. 2012. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
36. Regalado A. A tale of do-it-yourself gene therapy // MIT Technology Review. 2015. 14-10.
37. Cyranoski D., Ledford H. Genome-edited baby claim provokes international outcry // Nature. 2018. Vol. 563. P. 607–608.
38. Fortune Business Insights. Brain-Computer Interface Market Size, Share & Industry Analysis. // 2025. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
39. MarketsandMarkets. Exoskeleton Market // Global Forecast to 2030. 2024. URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
40. DARPA. Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology (N3). // URL: [>>>>](#) (дата обращения: 01.06.2026).
41. Benabid A.L., Costecalde T., Eliseyev A. et al. An exoskeleton controlled by an epidural wireless brain–machine interface in a tetraplegic patient: a proof-of-concept demonstration // The Lancet Neurology. 2019. Vol. 18, No. 12 pp. 1112–1122. DOI: 10.1016/S1474-4422(19)30321-7.

42. BMW Group harnesses potential of innovative automation and flexible assistance systems in production : press release. München: BMW Group Press, 2017. URL: >>>> (дата обращения: 23.05.2026).
43. Ministry of Internal Affairs and Communications of Japan. Population Estimates: Elderly Population as of September 15, 2023. // Tokyo, 2023. URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
44. Cabinet Office of Japan. Society 5.0. // Tokyo, 2021. URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
45. Cyberdyne wants to offer robot suit HAL in the U.S. // IEEE Spectrum. 2015. URL: >>>> (дата обращения: 23.05.2026).
46. ABI Research. Exoskeleton Market Size, 2024 to 2030 // URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
47. Samsung Electronics obtains ISO certification for personal care robot system with GEMS Hip: press release. // Seoul: Samsung Newsroom, 2020. URL: >>>> (дата обращения: 23.05.2026).
48. Hyundai Motor Group completes acquisition of Boston Dynamics from SoftBank : press release. // Seoul: Hyundai Motor Group, 2021. URL: >>>> (дата обращения: 23.05.2026).
49. China approves world's first implantable BCI // MobiHealthNews. 2026. URL: >>>> (дата обращения: 23.05.2026).
50. BrainsWay receives FDA clearance for smoking addiction in adults: press release. // Jerusalem: BrainsWay, 2020. URL: >>>> (дата обращения: 23.05.2026).
51. Чех И. «Мир уже очень близок к концепции киберчеловека» // Коммерсантъ. 2026. URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
52. Абрамова А.Н., Гуров О.Н. Экономические аспекты киборгизации: горизонты развития : аналитический доклад. М. : МГИМО, 2024.
53. Sanz Sáiz B. How emerging technologies are enabling the human-machine hybrid economy // EY Global AI Sector Leader. EY, 2025. URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
54. de Witte L., van der Vaart R. Inequities in access to assistive technology: a call for action // The Lancet Public Health. 2024. Vol. 10. No. 1. P. e4–e5. URL: >>>> (дата обращения: 22.05.2026).
55. WHO. Assistive technology: Fact sheet. Jan. 2024. URL: >>>> (дата обращения: 20.05.2026).
56. Sanz Sáiz B. How emerging technologies are enabling the human-machine hybrid economy. // London : EY, 2025. URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
57. Абрамова А.Н., Гуров О.Н. Экономические аспекты киборгизации: горизонты развития : аналитический доклад. М. : МГИМО, 2024.
58. Yuste R., Goering S., Agüera y Arcas B. et al. Four ethical priorities for neurotechnologies and AI // Nature. 2017. Vol. 551. pp. 159–163. DOI: 10.1038/551159a.
59. Ienca M., Andorno R. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology // Life Sciences, Society and Policy. 2017. Vol. 13, Art. 5. DOI: 10.1186/s40504-017-0050-1.
60. Chile. Ley N.º 21.383, Modifica la Carta Fundamental para establecer el desarrollo científico y tecnológico al servicio de las personas: promulgada el 25 de octubre de 2021. // Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
61. Канарш Г.Ю. Экономика и справедливость: эгалитарная теория А. Сена и М. Нуссбаум // Экономика и социальное знание. 2011. № 10. С. 34–43.
62. Nussbaum M. Creating Capabilities: The Human Development Approach. - Cambridge : Harvard University Press, 2011. - 256 p.
63. Конвенция ООН о правах инвалидов: принята резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН A/RES/61/106 от 13 декабря 2006 г. // URL: >>>> (дата обращения: 01.06.2026).
64. Farahany N.A. The Battle for Your Brain: Defending the Right to Think Freely in the Age of Neurotechnology. - New York : St. Martin's Press, 2023. - 288 p.

Библиография:

1. Абрамова А.Н., Гуров О.Н. Экономические аспекты киборгизации: горизонты развития: аналитический доклад. М. : МГИМО, 2024.
2. Канарш Г.Ю. Экономика и справедливость: эгалитарная теория А. Сена и М. Нуссбаум // Экономика и социальное знание. 2011. № 10. С. 34–43.

3. Конвенция ООН о правах инвалидов: принята резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН A/RES/61/106 от 13 декабря 2006 г. // URL: <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/convention-rights-persons-disabilities>
4. Конькова (Кураева) Т. А. Киборгизация: реальность наших дней или далекое будущее? // Искусственные общества. 2024. Т. 19. № 2. DOI: 10.18254/S207751800031324-5.
5. Чех И. «Мир уже очень близок к концепции киберчеловека» // Коммерсантъ. 2026. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8673397>
6. ABI Research. Exoskeleton Market Size, 2024 to 2030 // URL: <https://www.abiresearch.com/news-resources/chart-data/exoskeleton-market-forecast-size-outlook>
7. Benabid A.L., Costecalde T., Eliseyev A. et al. An exoskeleton controlled by an epidural wireless brain–machine interface in a tetraplegic patient: a proof-of-concept demonstration // The Lancet Neurology. 2019. Vol. 18, No. 12 pp. 1112–1122. DOI: 10.1016/S1474-4422(19)30321-7.
8. BMW Group harnesses potential of innovative automation and flexible assistance systems in production: press release. München: BMW Group Press, 2017. URL: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0268199EN>
9. BrainsWay receives FDA clearance for smoking addiction in adults: press release. // Jerusalem: BrainsWay, 2020. URL: <https://investors.brainsway.com/news-releases/news-release-details/brainsway-receives-fda-clearance-smoking-addiction-adults>
10. Cabinet Office of Japan. Society 5.0. // Tokyo, 2021. URL: https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html
11. Chile. Ley N.º 21.383, Modifica la Carta Fundamental para establecer el desarrollo científico y tecnológico al servicio de las personas: promulgada el 25 de octubre de 2021. // Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. URL: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1166983>
12. China approves world's first implantable BCI // MobiHealthNews. 2026. URL: <https://www.mobihealthnews.com/news/asia/china-approves-worlds-first-implantable-bci>
13. Cyberdyne wants to offer robot suit HAL in the U.S. // IEEE Spectrum. 2015. URL: <https://spectrum.ieee.org/cyberdyne-to-offer-robot-suit-hal-in-the-us>
14. Cyranoski D., Ledford H. Genome-edited baby claim provokes international outcry // Nature. 2018. Vol. 563. P. 607–608.
15. DARPA. Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology (N3). // URL: <https://www.darpa.mil/research/programs/next-generation-nonsurgical-neurotechnology>
16. de Witte L., van der Vaart R. Inequities in access to assistive technology: a call for action // The Lancet Public Health. 2024. Vol. 10. No. 1. P. e4–e5. URL: [https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667\(24\)00270-6/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667(24)00270-6/fulltext)
17. EY. How emerging technologies are enabling the human–machine hybrid economy. // 2025. URL: https://www.ey.com/en_gl/megatrends/how-emerging-technologies-are-enabling-the-

18. Farahany N.A. The Battle for Your Brain: Defending the Right to Think Freely in the Age of Neurotechnology. - New York : St. Martin's Press, 2023. - 288 p.
19. Ford. Ford Exoskeleton Technology Pilot: press release. // 2017. URL: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2017/11/09/ford-exoskeleton-technology-pilot.html>
20. Fortune Business Insights. Brain-Computer Interface Market Size, Share & Industry Analysis. // 2025. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/brain-computer-interface-market-105811>
21. German Bionic. Meet the Apogee+ Power Suit. - 2024. - URL: <https://highways.today/2024/01/03/german-bionic-exoskeleton>
22. Gillette J.C., Saadat S., Butler T. Electromyography-based fatigue assessment of an upper body exoskeleton during automotive assembly // Wearable Technologies. 2022. Vol. 3. Art. e20. DOI: 10.1017/wtc.2022.20.
23. Global Market Insights. Cochlear Implants Market Size & Share Report. // 2024. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cochlear-implant-systems-market>
24. Human Enhancement Through the Lens of Experimental and Speculative Neurotechnologies // Life Sciences, Society and Policy. 2019. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6919332/>
25. Hyundai Motor Group completes acquisition of Boston Dynamics from SoftBank: press release. // Seoul: Hyundai Motor Group, 2021. URL: <https://www.hyundai.com/worldwide/en/newsroom/detail/hyundai-motor-group-completes-acquisition-of-boston-dynamics-from-softbank-0000000516>
26. Ienca M., Andorno R. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology // Life Sciences, Society and Policy. 2017. Vol. 13, Art. 5. DOI: 10.1186/s40504-017-0050-1.
27. Lavazza A., Balconi M., Ienca M. et al. Neuralink's brain–computer interfaces: medical innovations and ethical challenges // Frontiers in Human Dynamics, 2025.
28. Laying down the rules for safer wearable robots // CORDIS. European Commission. 2026. URL: <https://cordis.europa.eu/article/id/447687-laying-down-the-rules-for-safer-wearable-robots>
29. Lewis T.A. China just approved its first brain implant for commercial use, a world first // Scientific American. 2026. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/china-just-approved-its-first-brain-implant-for-commercial-use-a-world-first>
30. MarketsandMarkets. Exoskeleton Market // Global Forecast to 2030. 2024. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/exoskeleton.asp>
31. Medtronic plc. FY2024 Annual Report. - Dublin: Medtronic, 2024. URL: https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/0001613103/000114036124040259/ef20035121_ars.pdf

32. Ministry of Internal Affairs and Communications of Japan. Population Estimates: Elderly Population as of September 15, 2023. // Tokyo, 2023. URL: <https://www.stat.go.jp/english/data/jinsui/2023np/index.html>
33. Nussbaum M. Creating Capabilities: The Human Development Approach. - Cambridge : Harvard University Press, 2011. - 256 p.
34. OECD. Neurotechnology Policy Toolkit: Supporting Policymakers in Implementing the OECD Recommendation on Responsible Innovation in Neurotechnology. - Paris : OECD Publishing, 2024. URL: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/emerging-technologies/neurotech-toolkit.pdf>
35. Olson P. Thousands of Swedes are inserting microchips under their skin // CNBC. 2017. URL: <https://www.cnbc.com/2017/04/03/start-up-epicenter-implants-employees-with-microchips.html>
36. Recent Progress in Wearable Brain–Computer Interface (BCI) Devices Based on Electroencephalogram (EEG) for Medical Applications: A Review // Health Data Science. 2023. URL: <https://spj.science.org/doi/10.34133/hds.0096>
37. Regalado A. A tale of do-it-yourself gene therapy // MIT Technology Review. 2015. 14-10.
38. Rodrigues J., M?ller S.M.T., M?ller S.C.F. et al. A scoping review on the use of consumer-grade EEG devices for research // PLOS ONE. 2024. Vol. 19, No. 3. -Art. e0291951. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10917334>
39. Safetytech Accelerator. Tackling MSD in Industrial Sectors with Emerging Tech: report. // 2024. URL: <https://exoskeletonreport.com/2024/11/must-read-report-tackling-musculoskeletal-disorders-in-industrial-sectors-with-emerging-technologies/>
40. Samsung Electronics obtains ISO certification for personal care robot system with GEMS Hip: press release. // Seoul: Samsung Newsroom, 2020. URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-electronics-obtains-iso-certification-for-personal-care-robot-system-with-gems-hip> (
41. Sanz S?iz B. How emerging technologies are enabling the human–machine hybrid economy // EY Global AI Sector Leader. EY, 2025. URL: https://www.ey.com/en_gl/megatrends/how-emerging-technologies-are-enabling-the-human-machine-hybrid-economy
42. SUITX by Ottobock. Growth market for exoskeletons. - 2024. - URL: <https://corporate.ottobock.com/en/media/newsroom/suitx-by-ottobock-partner-network>
43. The Rise of Preemptive Bans on Human Microchip Implants // Carnegie Council for Ethics in International Affairs, 2024. URL: <https://carnegiecouncil.org/media/article/preemptive-bans-human-microchip-implants>
44. U.S. Food and Drug Administration. Overview of Device Regulation // URL: <https://www.fda.gov/medical-devices/device-advice-comprehensive-regulatory-assistance/overview-device-regulation>
45. UNESCO. Ethics of Neurotechnology. URL: <https://www.unesco.org/en/ethics-neurotech>

46. Washington State Standard. Businesses can't require microchip implants for workers under new WA law. // 2026. URL: <https://washingtonstatestandard.com/briefs/businesses-cant-require-microchip-implants-for-workers-under-new-wa-law>
47. WHO. Assistive technology: Fact sheet // Jan. 2024. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>
48. Wohlsen M. Biopunk: DIY Scientists Hack the Software of Life. - New York: Current, 2011. - 240 p.
49. World's First Cyborg Is Fighting for Transpecies Rights and Welcomes AI Takeover // Guinness World Records. 2023. URL: <https://www.guinnessworldrecords.com/news/2023/12/worlds-first-cyborg-is-fighting-for-transpecies-rights-and-welcomes-ai-takeover-762197> (дата обращения: 05.06.2026).
50. Yuste R., Goering S., Ag?era y Arcas B. et al. Four ethical priorities for neurotechnologies and AI // Nature. 2017. Vol. 551. pp. 159–163. DOI: 10.1038/551159a.
51. Zuckerman E. Grinders: the cyborg body modifiers who hack their own biology // The Atlantic. 2012. URL: <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2012/03/grinders-the-cyborg-body-modifiers-who-hack-their-own-biology/>

Practical Trends in Cyborgization: Models, International Strategies and Regulatory

Anna Abramova

MGIMO Artificial Intelligence Center

Russian Federation, Moscow

Oleg Gurov

MGIMO Artificial Intelligence Center

Russian Federation, Moscow

Abstract

Cyborgization (the integration of human biological systems with electronic and mechanical components) has moved beyond the realm of science fiction and laboratory experimentation to become a rapidly expanding technological market spanning medical, industrial, and consumer sectors. According to the World Health Organization (WHO), more than 2.5 billion people require assistive technologies, while the global market for human enhancement technologies is currently valued at approximately USD 309 billion and is projected to exceed USD 1.5 trillion by 2035. This article proposes an analytical framework consisting of five core models of cyborgization: restorative, industrial, cognitive-communicative, every day, and experimental. Each model is characterized according to key parameters, including invasiveness, functional purpose, degree of infrastructural dependence, level of commercialization, accessibility, and regulatory maturity. Using this framework, the article examines and compares national approaches developed by leading technology-intensive economies, including the United States, the European Union, Japan, China, Israel, and South Korea, each of which has developed distinct economic and regulatory strategies for advancing cyborgization technologies. The analysis demonstrates that cyborgization generates measurable economic benefits by reducing workplace injuries, improving labor productivity and reducing long-term healthcare costs. At the same time, it produces significant social consequences, most notably a new dimension of structural inequality referred to as the enhancement divide, whereby access to human enhancement technologies remains unevenly distributed among populations, potentially producing profound intergenerational effects. A further challenge concerns the governance of neural and biometric data, where existing legal frameworks lag considerably behind the pace of technological commercialization. The authors argue that an effective regulatory architecture should be based on three interrelated principles: neurorights, the capabilities approach, and cognitive liberty. The proposed analytical framework provides a practical tool for designing national and international strategies for the development and governance of cyborgization technologies.

Keywords: cyborgization, exoskeletons, brain-computer interfaces, assistive technologies, human capital, enhancement divide, neurorights, technology regulation, digital inequality

Date of publication: 20.09.2026

Citation link:

Abramova A., Gurov O. Practical Trends in Cyborgization: Models, International Strategies and Regulatory // Artificial societies. 2026. Vol. 21. Issue 3.

URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800039585-2-1/> DOI: 10.18254/S207751800039585-2

