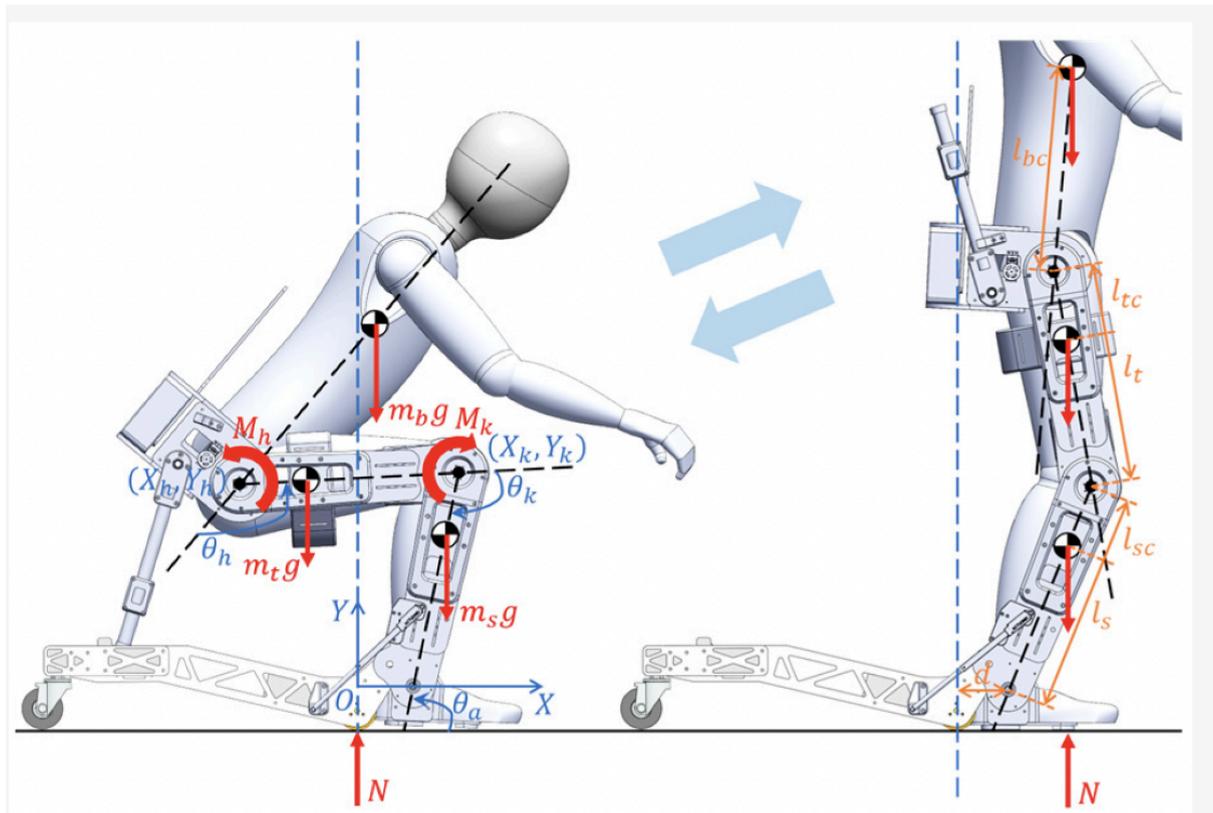


От RoboCop до RoboAssist: современное состояние индустрии экзоскелетов



В статье [«Люди-киборги: самые сумасшедшие и высокотехнологические механизации человека»](#) мы затронули тему экзоскелетов. В частности, рассказали про российский стартап [ExoAtlet](#), который в 2016 году один из первых в мире выпустил медицинский экзоскелет. Целью основателей стартапа было ускорение процесса реабилитации и улучшение качества жизни пациентов с инсультом, травмами спинного мозга, ДЦП, рассеянным склерозом и прочими болезнями. Но к моменту выпуска прототипа выяснилось, что рынка экзоскелетов в России нет. Компании пришлось строить его с нуля, привлекая инвестиции, меняя на ходу бизнес-модели и не прекращая исследования.

А что вообще происходит на мировом рынке экзоскелетов? Несмотря на всю шумиху вокруг экзоскелетов, прогресс в этой области медленный, и обещанные прорывы еще не осуществились. В этой статье рассмотрим

текущее состояние разработки экзоскелетов и проблемы, которые необходимо преодолеть, чтобы полностью реализовать их потенциал.

Общий обзор

Экзоскелеты, когда-то существовавшие лишь в научной фантастике, стали реальностью и быстрорастущей областью исследований и разработок. Их используют в промышленности, медицине, в военной отрасли. Ниже рассмотрим различные типы экзоскелетов.

Управляемые, или полнотелые экзоскелеты предназначены для обеспечения пользователю дополнительной силы и выносливости. В них используются электродвигатели или гидравлика, усиливающие движения пользователя. Часто используются в строительстве и производстве, где работники поднимают тяжелые предметы и выполняют повторяющиеся задачи.

Одна из самых впечатляющих разработок в области экзоскелетов с электроприводом — это экзоскелет HAL (Hybrid Assistive Limb), разработанный японской компанией Cyberdyne.

// заэмбеддить

<https://youtu.be/UffBS1uKJdE>

Когда человек намеревается совершить движение, мозг посылает сигналы через нервы к мышцам, необходимые для этого движения. Когда сигналы направляются к мышцам, они просачиваются на поверхность кожи в виде очень слабых сигналов — биоэлектрических сигналов, БЭС. HAL считывает БЭС с помощью электродов, прикрепленных к поверхности кожи пользователя. Основываясь на другой полученной информации, HAL определяет желаемые движения пользователя.

HAL имеет два типа систем управления, которые могут использоваться вместе в зависимости от условий пользователя. Кибернетическая система добровольного управления использует БЭС для выполнения желаемых движений пользователя. Другая — кибернетическая автономная система управления — реализует человекоподобные движения, даже если БЭС не считываются.

Пассивные экзоскелеты не используют двигатели или другие источники внешней энергии. В таких экзоскелетах применяется углеродное волокно и титан для обеспечения поддержки и стабильности суставов и мышц пользователя.

Примеры подобных экзоскелетов — Happyback, Personal Lifting Assist Device (PLAD), Laevo. Они значительно снижают мышечную активность нижней части спины.



Конструкция пассивного экзоскелета

Happyback состоит из стекловолоконных стержней, соединенных грудным ремнем, поясным ремнем и ножными блоками. PLAD, состоящий эластичных элементов, при наклоне вниз поддерживает часть веса верхней части тела. [Laevo](#) — это гибкий экзоскелет, который поддерживает грудь и спину и передает часть нагрузки на грудь и ноги.

Гибридные экзоскелеты сочетают в себе особенности как пассивных, так и управляемых экзоскелетов. В них используются двигатели для обеспечения дополнительной силы и выносливости, а также углеродное волокно и титан для обеспечения поддержки и стабильности.

Пример такого экзоскелета — [XOS 2](#), разработанный компанией Raytheon Sarcos. Экзоскелет использует гидравлическую систему для усиления движений пользователя, обеспечивая при этом поддержку и стабильность благодаря используемому алюминию и углеродному волокну. XOS 2 нашел применение в армии. Весит такой костюм около 95 килограмм.



С 2005 года разрабатываются т. н. мягкие экзоскелеты и экзоскостюмы. В отличие от традиционных жестких они изготавливаются из гибких материалов, например, тканевых. Мягкие экзоскелеты и экзоскостюмы можно носить под одеждой. Одним из первых подобных разработок стал Power Jacket, разработанный Mathushita Electric Industrial, материнской компанией Panasonic. Он предназначен для пациентов, перенесших инсульт и потерявших способность управлять одной рукой. Один рукав наполнен бесконтактными датчиками, которые отслеживают положение здоровой руки. Другой рукав оснащен 8 воздушными мышцами, которые сокращаются при наполнении сжатым воздухом. Скелет, или даже правильней сказать костюм, подключен к мобильному воздушному компрессору, на котором расположен дисплей управления. Power Jacket представляет собой собственную систему «ведущий-ведомый»: одна рука — телеоператор, а другая совершает движения.



Мягкие экзоскелеты

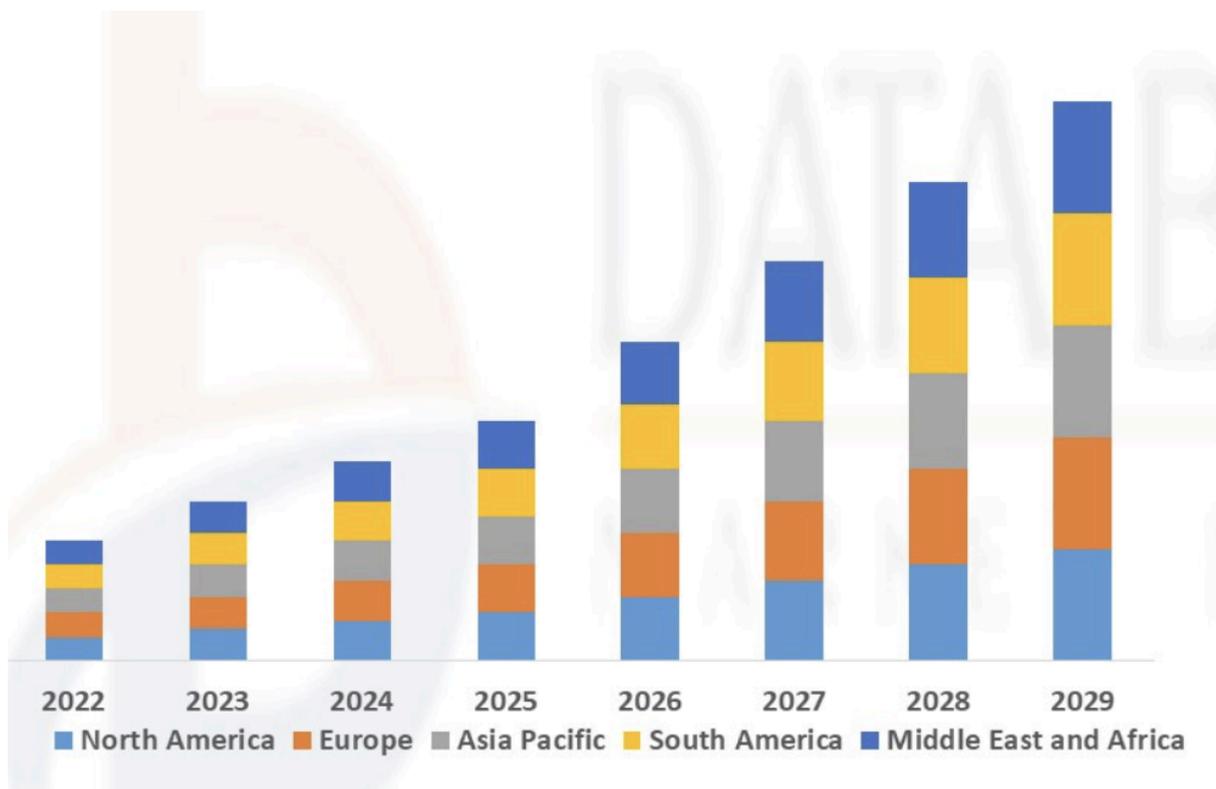
РЫНОК

Мировой рынок экзоскелетов — быстрорастущий. По [данным](#) IFR World Robotics 2019 Service Robots в 2018 году было продано 2400 реабилитационных роботов, что на 83% больше, чем в 2017 году, и этот тренд сохраняется. Рынок обусловлен факторами старения населения, роста распространенности инвалидности и травм, а также развитием технологий.

Например, согласно [отчету](#) VMR, ожидается, что с 2019 по 2050 год доля пожилых людей более чем удвоится в четырех регионах: Северной Африке и Западной Азии, Центральной и Южной Азии, Латинской Америке и Карибском бассейне, Восточной и Юго-Восточной Азии, что свидетельствует о том, что потенциальных пользователей экзоскелетов становится все больше. При этом основными проблемами при разработке и регулировании медицинских изделий являются безопасность пользователя и надежность устройства. Экзоскелеты, разработанные для применения в здравоохранении, должны проходить всесторонние испытания, что снижает время выхода на рынок и препятствует его росту.

Кроме того, ожидается, что растущий уровень травм спинного мозга будет стимулировать спрос на мировом рынке. По [оценкам](#) Национального статистического центра по травмам спинного мозга (NSCISC) в 2021 году, число случаев SCI в 2019 и 2020 годах составило 17 730 и 17 810 соответственно.

В 2021 году объем рынка экзоскелетов [оценивался](#) в 766,26 млн долларов и, по прогнозам, достигнет 26 469,20 млн к 2030 году, увеличиваясь на 48,23% с 2022 по 2030 год.



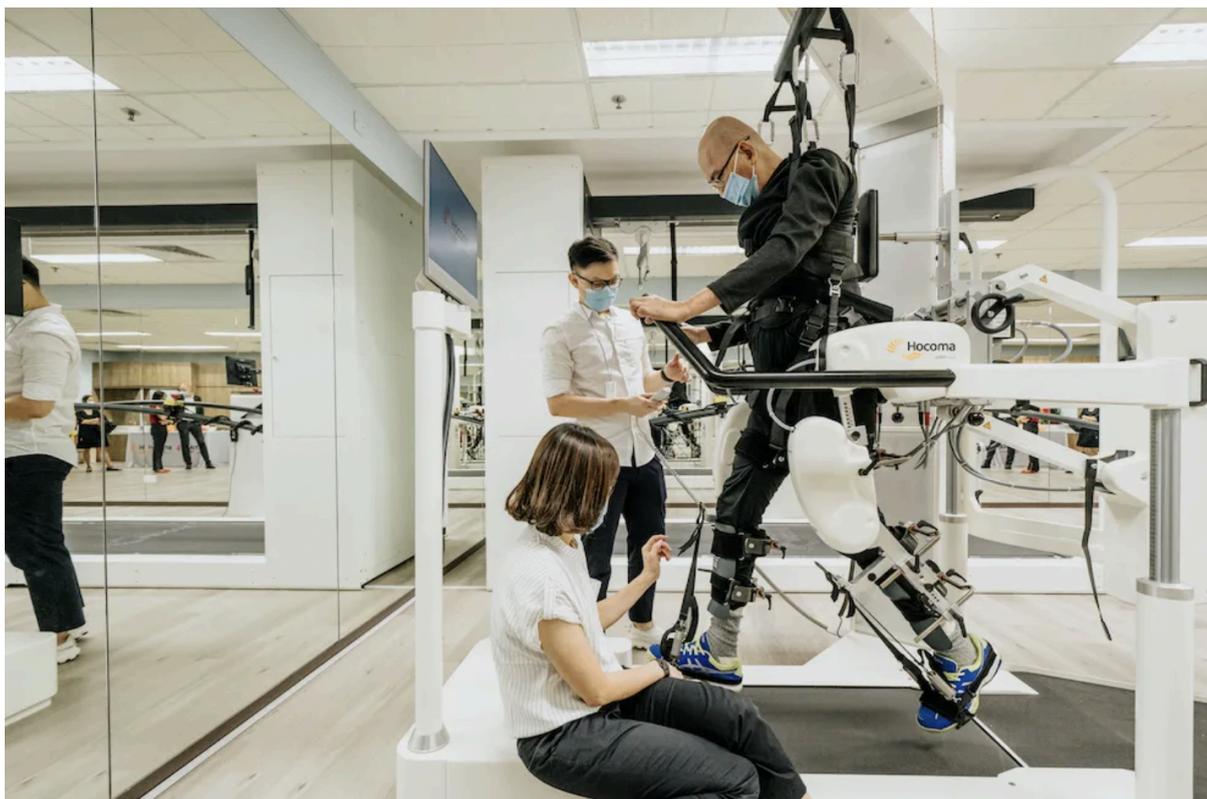
Тренд роста рынка по регионам

Северная Америка определена как крупнейший рынок экзоскелетов, благодаря присутствию крупных производителей экзоскелетов и высокому спросу на вспомогательные технологии. Крупнейшие игроки на рынке: Ottobock (Германия), DIH Medical (Китай), CYBERDYNE (Япония), Ekso Bionics. (США), Lockheed Martin Corporation (США), ATOUN. (Япония), BIONIC (Канада), B-Tania (Канада), MediTouch (Израиль), ReWalk Robotics (США).

В марте 2021 года DIH заключила стратегическое сотрудничество с компанией Reha Technology. В рамках этого соглашения DIH обязуется взять на себя распространение робототехнической продукции Reha Technology, а также продвижение и распространение устройств Reha Technology для реабилитации походки на основе конечных эффекторов в Швейцарии, Германии и США.

В октябре 2020 года DIH заключила стратегический альянс с компанией Gorbel Industries, перспективным изобретателем и производителем интеллектуальных систем перемещения материалов и безопасности при падении.

В декабре 2020 года Motek Medical, дочерняя компания DIH, и Monitored Rehab System объединились, чтобы предложить новое комплексное решение для лечения проблем с подвижностью, вызванных неврологическими или ортопедическими заболеваниями, а также длительной иммобилизацией.



Первый центр комплексной роботизированной реабилитации в Сингапуре в сотрудничестве с DIN Asia Pacific Hub

Что касается России, российский рынок экзоскелетов сейчас только формируется. Помимо упомянутой в начале компании ExoAtlet разработкой и производством экзоскелетов (промышленных) занимаются [Exorise](#), «[Полезные роботы](#)», «[Норникель](#)» и «[ЭкзоАтлант](#)».

Что нового прямо сейчас?

Прогресс неостановим, и только за последние три года, согласно [отчету](#) GlobalData, в отрасли медицинских изделий было подано и выдано более 450 000 патентов.

Расскажем о том, что уже работает и что планируется.

Компания [AiBle работает](#) над устранением ограничений управления экзоскелетами, используя системы искусственного интеллекта.

В современных моделях пользователь выбирает тип движения, которое хотел бы выполнить (из списка запрограммированных движений), а костюм выполняет движение за него. Например, выбрав вариант стояния, костюм автоматически поможет пользователю встать. Эта модель ограничена, поскольку пользователь не может выполнять движения, которые не запрограммированы в устройстве.

Поэтому в экзоскелеты внедряется множество новых датчиков, которые определяют намерение движения и отправляют данные на облачную платформу для улучшения обучения интеллектуальных алгоритмов. После успешного обучения экзоскелет будет выполнять движения, которые намеревается сделать пользователь. Кроме того, экзоскелет будет определять степень помощи в движении, которая требуется пользователю на разных этапах физической реабилитации. Эта функция будет способствовать постепенной и прогрессивной реабилитации, пока пациент не достигнет более высокого уровня функционирования.

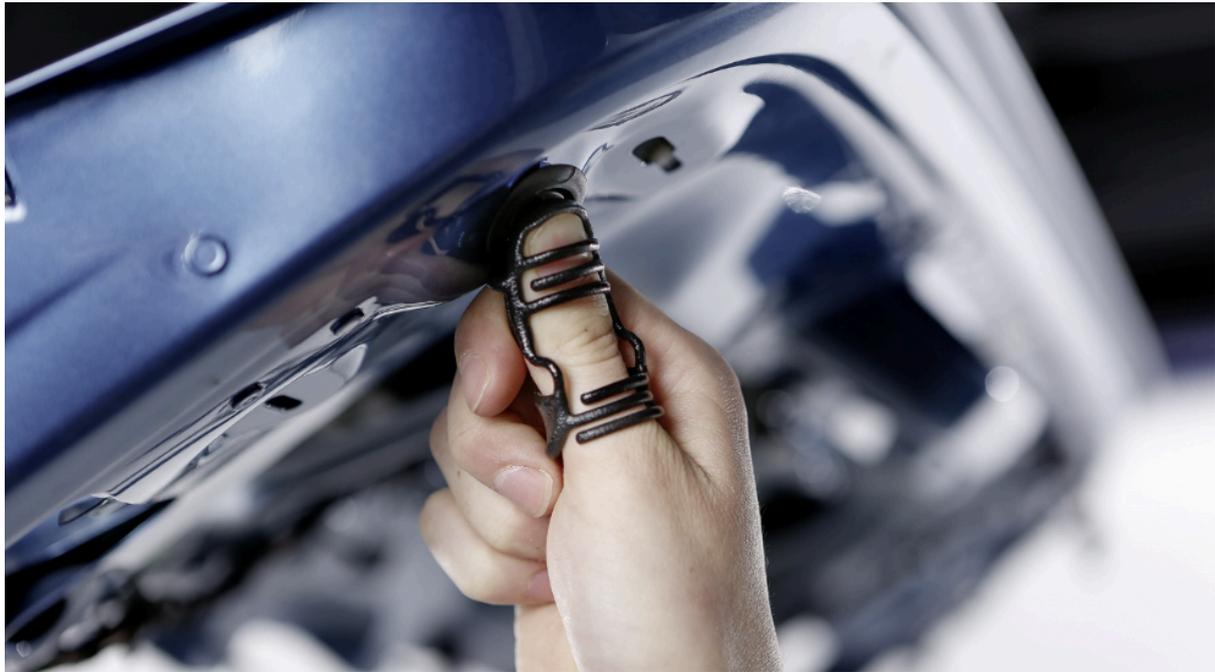
Исследования в области ИИ [проводит](#) также группа телероботических и биороботических систем Университета Альберты. Ученые работают над использованием машинного обучения для мониторинга индивидуальных особенностей ходьбы. Хотя технология экзоскелета не нова, исследователи из Эдмонтона считают, что они первые, кто использует весь потенциал искусственного интеллекта в тандеме с ним. Сейчас работа находится на предварительной стадии, но группа надеется, что при достаточном количестве времени и усилий их более точный инструмент поможет изменить ситуацию с мобильностью.



Исследования в Университете Альберты

Экзоскелеты бывают не только полнотелые, но и совсем крохотные, для решения конкретных задач. Раехо Thumb, созданный компанией Ottobock — это [самый маленький экзоскелет в мире](#), который снижает нагрузку на большой палец на 70% за счет перенаправления большей части сил на другие части руки. Пользователь автоматически принимает эргономичное положение руки при зажимании, подключении и нажатии во время сборки. Раехо Thumb можно использовать для более сложных движений и носить под

перчатками. В то же время он обеспечивает полную свободу движений для суставов большого пальца.



Швейцарская компания TWIICE [разрабатывает](#) модульный экзоскелет для нижних конечностей, который позволяет парализованным людям вставить и снова ходить. TWIICE планирует провести клинические испытания экзоскелета, которые приведут к его коммерциализации в 2023 году в Европе, Канаде и США. Инновация TWIICE основана на модульной конструкции и методологии цифрового производства: модульная архитектура экзоскелета адаптируется к различным патологиям, морфологиям и видам деятельности, например, к лыжному туризму. Компания заявляет, что использует достижения в области робототехники, когнитивной нейробиологии и цифрового производства, чтобы создать бесшовный симбиоз человека и машины.

У некоторых экзоскелетов цель противоположная — например, токийский экзоскелет Archelis помогает пользователям [стоять на месте](#). Изначально продукт задумывался для врачей, проводящих операции и часами стоящих на ногах. Компания также нацелена на персонал заводов и всех тех, кто подолгу стоит на ногах в течение рабочего дня.

// заэмбеддить

<https://youtu.be/pTkg5SGnvYw?t=21>

Экзоскелет Archelis работает за счет сбалансированного распределения веса. Протезы нижней части тела поддерживают вес пользователя за счет бедер и голеней. Пользователь поддерживает здоровую осанку, стабилизируя туловище, сохраняя S-образную форму позвоночника и удерживая таз в

вертикальном положении. Archelis снижает нагрузку на ноги до 50% и до 33% на нижнюю часть спины. Согласно результатам исследования, экзоскелет распределяет вес пользователя примерно на 20% на бедра, 30% на голени и 50% на стопы. Он также снижает активность икроножной мышцы до 41% во время стояния. Надевание устройства занимает около 16 секунд, а снятие около 9 секунд.

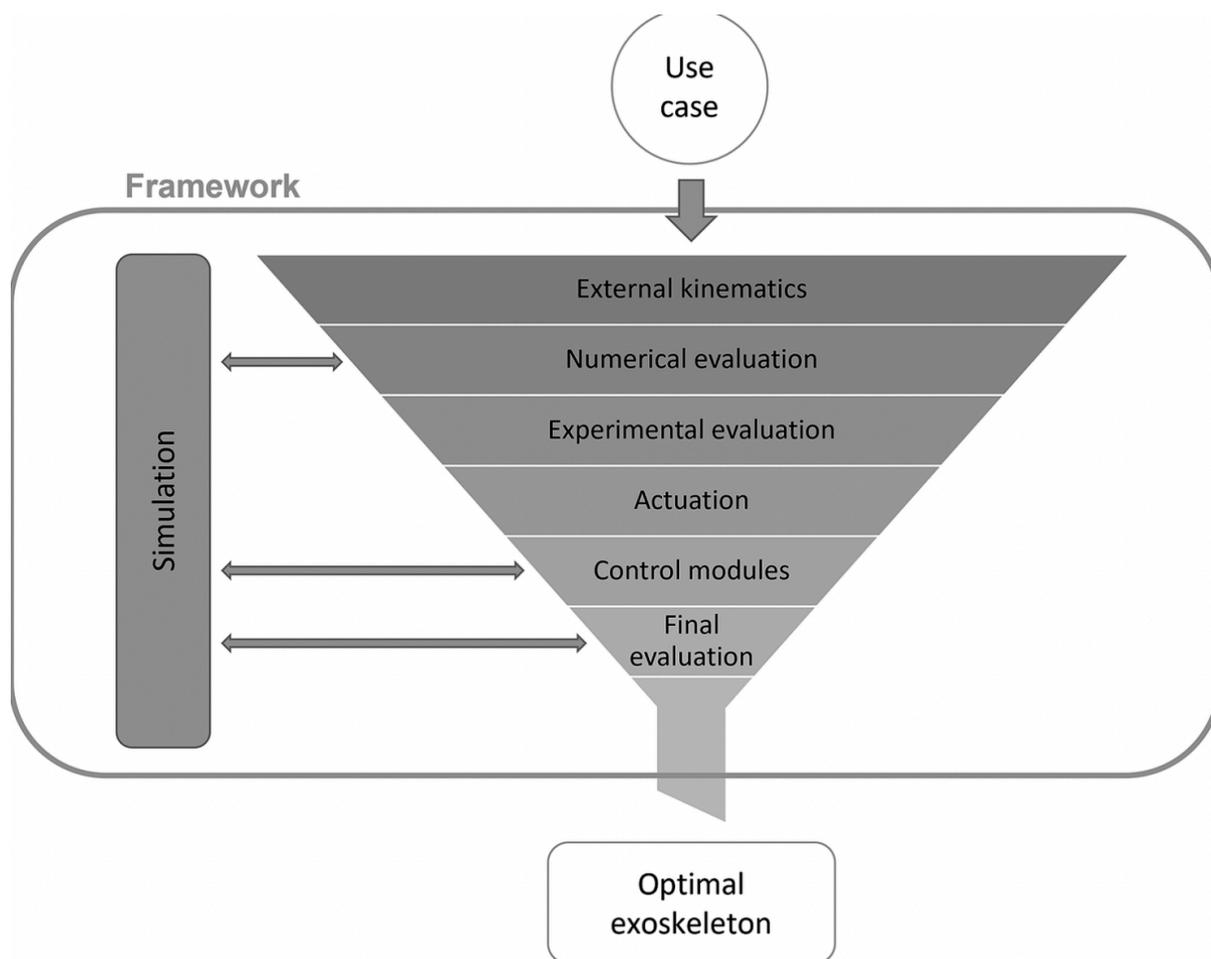
Израильский стартап [AutonomEES](#) работает над тем, чтобы синхронизировать экзоскелет с человеческим телом.

Компания разработала уникальную запатентованную технологию для внедрения ИИ в актуаторы экзоскелета. Приводы можно сравнить с мышцами человеческого тела, они отвечают за преобразование энергии в движение для всей системы. Для автономных систем есть два основных аспекта, которые должны быть оптимизированы: эффективность работы и безопасность. Оба этих фактора могут быть улучшены, если создать системы управления и ИИ на уровне исполнительных механизмов — таким образом, исполнительный механизм реагирует на окружающую среду в дополнение к управляющим сигналам, получаемым от навигационной системы, что повышает эффективность и безопасность. Структурирование актуаторов в виде кластера позволяет создать центральный узел управления, что еще больше повышает безопасность и эффективность.

Очевидно, что разработка экзоскелетов — это дорого и долго. Отрасль развивается медленно в силу технических, нормативных и экономических факторов. Но вместе с тем возникают исследовательские проекты для поиска решений.

Группа ученых из Мюнхенского технического университета [предлагает](#) собственное решение — фреймворк разработки экзоскелетов, который ускорит процесс и сделает получаемые экзоскелеты более ориентированными на пользователя.

Из-за близости к телу пользователя экзоскелеты являются очень сложными системами, которые нуждаются в сложных подсистемах — кинематике, управлении, дизайне взаимодействия или приводах. Поэтому здесь важно синхронизировать междисциплинарные усилия. Исследователи предлагают процесс разработки модульной структуры для проектирования экзоскелетов. Перед проектированием нужно разработать инструменты для оценки таких систем в цифровом формате, чтобы сократить время разработки и уменьшить количество необходимых прототипов. Предлагается совместное моделирование цифровой модели человека, эластодинамического моделирования и моделирования методом конечных элементов.



Структура и функциональность предлагаемого фреймворка для дизайнера экзоскелета

При этом авторы отмечают, что нужно провести еще множество фундаментальных исследований, и с помощью предлагаемого процесса фреймворк может быть завершен с помощью скоординированных исследовательских проектов.

Вывод

Согласно отраслевым отчетам, рынок экзоскелетов продолжает расти. Компании проводят исследования и привлекают инвестиции. Несмотря на стоимость разработки и нормативно-правовые вопросы, потенциальные преимущества экзоскелетов значительны и будут стимулировать постоянные инвестиции и развитие в этой области.

Одно из направлений, которое [может преодолеть](#) проблемы отрасли экзоскелетов, — это бизнес-модель «робототехника как услуга» (RaaS), когда компании предлагают робототехнические решения в качестве услуги, а не продают их как продукт.

Предлагая экзоскелеты в качестве услуги, компании могут предоставить своим клиентам доступ к технологии без необходимости больших предварительных инвестиций. Кроме того, RaaS-компании могут использовать эффект масштаба для снижения стоимости разработки и внедрения.

Еще одно преимущество модели RaaS — она позволяет компаниям быстро внедрять экзоскелеты в различных условиях. Например, компания, предлагающая экзоскелеты в качестве услуги, может работать с несколькими клиентами из разных отраслей, каждый из которых имеет уникальные потребности и требования. Такая гибкость может способствовать развитию инноваций и ускорить разработку новых областей применения экзоскелетов.

В контексте экзоскелетов модель RaaS способна сделать эти устройства более доступными и недорогими. RaaS имеет потенциал для ускорения разработки и внедрения экзоскелетов и может способствовать развитию инноваций и расширению доступа к этим устройствам для различных пользователей и сфер применения.