
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 65.015.11

Экономическая эффективность использования пассивных экзоскелетов на промышленных предприятиях в рамках перехода к тотальной роботизации производства и сокращению человеческого фактора

О. О. Ткачев^{1,2}

¹ООО «Конструкторское бюро внешних каркасов и биомеханики», Российская Федерация, 107140, Москва, ул. Снежная, 26

²АНО ВО «Институт международных экономических связей», Российская Федерация, 119330, Москва, ул. Мосфильмовская, 35

Для цитирования: Ткачев О. О. Экономическая эффективность использования пассивных экзоскелетов на промышленных предприятиях в рамках перехода к тотальной роботизации производства и сокращению человеческого фактора // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 1. — С. 211–227. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-211-227

Аннотация

Цель: Предметом данной работы является исследование использования пассивных экзоскелетов на промышленных предприятиях. Тема работы сосредоточена на анализе роли пассивных экзоскелетов как переходного этапа к полной роботизации производственных процессов. Целью исследования является оценка влияния внедрения пассивных экзоскелетов на производительность труда, безопасность рабочих и экономическую эффективность предприятий. **Методы:** Методология исследования включает в себя сбор и анализ технических данных из публичных источников, а также непосредственно из внутренних отчетов организаций о производительности и безопасности на российских и зарубежных предприятиях, где уже применяются пассивные экзоскелеты. **Результаты:** Зарубежный опыт показывает, что использование экзоскелетов позволяет снизить риск заболеваний опорно-двигательного аппарата на 45–58 %, сократить затраты на компенсации по нетрудоспособности на 31–53 % и повысить производительность труда до 153 % для определенных задач. В России процесс внедрения экзоскелетов находится на начальной стадии, однако уже есть успешные примеры их использования на предприятиях, которые показали снижение времени выполнения задач на 13 %. Экспертная оценка эффективности внедрения экзоскелетов подтвердила их высокую социальную и экономическую значимость. **Практическая значимость:** Внедрение экзоскелетов на промышленных предприятиях способствует снижению травматизма, улучшению условий труда и повышению производительности, что особенно актуально в условиях кадрового дефицита. Использование экзоскелетов позволяет сократить затраты на компенсации по нетрудоспособности и повысить престиж компании среди потенциальных сотрудников. Статья предлагает рекомендации для российских предприятий по внедрению экзоскелетов, что может способствовать выполнению задач, поставленных в рамках национальных проектов, и повышению конкурентоспособности отечественной промышленности. Внедрение экзоскелетов может стать важным шагом на пути к полной автоматизации и роботизации процессов. В выводах подчеркивается, что пассивные экзоскелеты являются эффективным инструментом для повышения производительности и безопасности труда.

Ключевые слова: Экзоскелеты, роботизация, промышленность, пассивные экзоскелеты, производительность, физическая нагрузка, безопасность труда, эффективность, интеграция технологий, экономические аспекты.

Введение

В настоящее время на промышленных предприятиях Российской Федерации, характеризующихся тяжелыми и опасными условиями труда, согласно данным Росстата на конец 2023 года, заняты приблизительно 8 миллионов человек. Удельный вес потребности (далее — УВП) в работниках для замещения вакантных должностей в общем количестве рабочих мест составляет в среднем 5,5 %, что эквивалентно примерно 440 000 вакансиям, которые в текущих условиях трудно заполнить [1]. При этом за последние два года, начиная с момента начала специальной военной операции (далее — СВО), УВП увеличился на 1,5 %. Данный показатель свидетельствует о наличии кадрового дефицита в промышленном секторе страны, что актуализирует проблему замещения человеческого труда автоматизированными системами, а в случаях, где это невозможно, — сохранения здоровья имеющих квалифицированных специалистов.

В рамках настоящей статьи необходимо учитывать следующие нормативно-правовые акты и официальные документы, релевантные рассматриваемой проблематике:

– **Послание Президента РФ В. В. Путина Федеральному Собранию от 29 февраля 2024 года**, в котором обозначены задачи национального проекта «Производительность труда», включая сокращение времени производственных процессов на 30 % и увеличение производительности труда на 45 % при условии максимального сохранения здоровья работников [2];

– **Указ Президента РФ В. В. Путина от 7 мая 2024 года № 309** «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», где одним из ключевых приоритетов является достижение технологического лидерства [3];

– **Поручение Президента РФ В. В. Путина от 7 июня 2024 года**, озвученное в ходе пленарного заседания Петербургского международного экономического форума, в котором подчеркивается необходимость внедрения более 100 тысяч роботизированных систем на российских предприятиях с целью вхождения в число 25 стран с наибольшей плотностью роботизации к 2030 году [4].

Побочной целью данной статьи является оценка возможности реализации задач, поставленных президентом Российской Федерации, а также анализ потенциальной роли пассивных экзоскелетов в их достижении с теоретической и практической точек зрения. Для этого будет рассмотрен зарубежный опыт применения пассивных экзоскелетов и роботизации промышленных предприятий, а также проведено сравнение с текущей ситуацией на отечественных производствах.

Экзоскелеты. Определение. Разновидности. Предложение на рынке российского производства

Экзоскелет представляет собой техническое устройство, предназначенное для компенсации утраченных функций опорно-двигательного аппарата, усиления мышечной активности человека и расширения диапазона движений за счет внешнего каркаса и приводящих механизмов. Кроме того, экзоскелет обеспечивает передачу нагрузки при транспортировке грузов через внешний каркас на опорную поверхность стопы устройства.

Экзоскелеты классифицируются на три основных типа: активные, полуактивные и пассивные [5]. Активные экзоскелеты преимущественно применяются в медицинской сфере для реабилитации пациентов с нарушениями функций опорно-двигательного аппарата (далее — ОДА). Одним из наиболее известных активных экзоскелетов, производимых в России, является модель ExoAtlet (рис. 1) [6].

Пассивные экзоскелеты предназначены для снижения или перераспределения нагрузки при подъеме и перемещении грузов без использования внешних источников энергии (электричество, пневматические или гидравлические системы). Полуактивные экзоскелеты представляют собой гибридные конструкции, основанные на пассивной технологии с включением упругих элементов (резиновых жгутов, пружин, мало-мощных приводов), которые применяются преимущественно для такелажных работ, включая разгрузку верхних конечностей, плечевого и поясничного отделов. Фактически любое механическое или текстильное устройство, которое может быть закреплено на теле человека и соответствует его биомеханике, способно облегчить выполнение определенных действий, можно отнести к категории пассивных экзоскелетов. В связи с этим компании, выпускающие подобные устройства, позиционируют их как экзоскелеты.

При более детальном рассмотрении пассивные экзоскелеты можно разделить на системы разгрузки и системы перераспределения нагрузки (рис. 2). Одним из лидеров в данной области является компания Ekzo



Рис. 1. Пример активного экзоскелета для реабилитации ExoAtlet



Рис. 2. Пример полуактивного экзоскелета (система перераспределения нагрузки) Ekzo Solutions



Рис. 3. Пример пассивного экзоскелета для поддержки рук Exorise

Solutions. Системы разгрузки предполагают прямой контакт экзоскелета с опорной поверхностью, что позволяет минимизировать нагрузку на оператора. Системы перераспределения нагрузки основаны на переносе усилий с одной части тела на другую (например, с верхних конечностей и спины на нижние конечности), при этом нагрузка на голеностопный сустав остается неизменной.

Данная технология наиболее эффективна при выполнении такелажных работ и подъеме грузов массой до 30 кг. Однако при транспортировке тяжелых объектов такие системы могут оказывать негативное воздействие на голеностопный сустав оператора.

Важным аспектом применения экзоскелетов является использование систем поддержки верхних конечностей при выполнении монотонных операций в неэргономичных позах.

Подобные решения активно применяются при работе со специализированным инструментом (рис. 3), например на сборочных линиях автомобильных заводов. Наиболее значительных результатов в этой области достигла компания Exorise.

Среди пассивных экзоскелетов, разработанных для разгрузки оператора, следует выделить модульный экзоскелет «Напарник», созданный С. В. Злыдарем. Антропоморфная конструкция данного устройства позволяет перенаправлять значительную часть нагрузки на опорную поверхность, минуя тело оператора, с максимальной грузоподъемностью до 55 кг.

Известно, что Центральный научно-исследовательский опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики (далее — ЦНИИ РТК) с 2009 года ведет работы по разработке и испытаниям экзоскелетов как гражданского, так и военного назначения.

Тем не менее перечень разработок не ограничивается вышеуказанными примерами. В России зарегистрировано порядка 30 патентов на различные модели пассивных экзоскелетов, созданных разными авторами, однако их практическая применимость и эффективность остаются недостаточно изученными.

Зарубежный опыт внедрения экзоскелетов на производстве на пути к роботизации

Эффективность применения экзоскелетов в производственной сфере уже подтверждена зарубежным опытом, где промышленные предприятия, стремясь к опережающему развитию, активно внедряют данные технологии для сохранения здоровья сотрудников, занятых ручным трудом, и минимизации потенциальных расходов на компенсации в связи с временной или постоянной утратой трудоспособности.

Например, известный автомобильный концерн BMW еще в 2016 году осуществил пробную закупку пассивных экзоскелетов для своего завода в Спартанберге, штат Южная Каролина [7]. Этот пример стал стимулом для других компаний в США, которые также начали внедрять подобные технологии. В период с 2016 по 2019 год экзоскелеты были внедрены на производственных объектах таких компаний, как Toyota, Boeing и Ford [8]. Основным мотивом для внедрения данных инноваций стало то, что, согласно исследованиям, расходы на компенсации сотрудникам в связи с утратой трудоспособности в США составляют приблизительно 15,1 млрд долларов ежегодно, причем эта сумма демонстрирует устойчивую тенденцию к росту [9]. Наибольшую долю в этих расходах занимают компенсации, связанные с заболеваниями поясничного отдела позвоночника.

Однако до сих пор не установлена однозначная корреляция между использованием экзоскелетов и снижением уровня производственного травматизма. Некоторые исследования, проведенные по заказу производителей экзоскелетов и их клиентов, указывают на то, что применение данных устройств способствует снижению потребления кислорода и мышечной активности, что является косвенным показателем уменьшения утомляемости работников. Например, лабораторное исследование, проведенное специалистами Virginia Tech с участием 12 человек, выполнявших смоделированные повторяющиеся задачи (сверление и соединение проводов), продемонстрировало, что использование экзоскелета EksoVest от компании Ekso Bionics снизило среднюю активность плечевого пояса на 60,3 %.

Наиболее актуальное исследование, проведенное Safetytech Accelerator, показало, что [10]:

– заболевания опорно-двигательного аппарата представляют собой серьезную проблему для здоровья на рабочем месте. По оценкам, общая стоимость для организаций и экономик составляет 1–2 % ВВП, или около 1 триллиона долларов США в год;

– использование экзоскелетов позволяет:

- а) снизить риск заболеваний ОДА на 45–58 %;
- б) снизить затраты организации по компенсациям на 31–53 %;
- в) повысить производительность до 153 % для определенных задач.

Использование экзоскелетных систем нашло применение в деятельности крупной логистической корпорации Hermes Germany [11], которая внедрила экзоскелеты для поддержки поясничного отдела позвоночника производства SUITX by Ottobock с целью оптимизации процесса сортировки габаритных грузов. Проведенные исследования демонстрируют, что облегченная конструкция экзоскелета, применяемого компанией Hermes, способствует снижению нагрузки на поясничный отдел на 56–75 % и повышению уровня физической выносливости сотрудников на 52 % после выполнения повторяющихся подъемных операций в течение трудовой смены.

Несмотря на успешное внедрение экзоскелетных технологий, крупные корпорации продолжают стремиться к замене человеческого труда на роботизированные системы, что позволяет минимизировать расходы на оплату труда, страхование сотрудников и компенсационные выплаты в случаях временной или постоянной утраты трудоспособности. Многие производители роботизированных решений акцентируют внимание на данных аргументах как на ключевых преимуществах автоматизации, включая их в свои коммерческие предложения. Например, компания Plus One Robotics, расположенная в Сан-Антонио (штат Техас), сообщает о повышении производительности процессов сортировки и комплектации на 30 % благодаря внедрению автоматизированных систем на складах [12]. С другой стороны, стартап Slip Robotics из Атланты (штат Джорджия) заявляет о трехкратном увеличении пропускной способности складских операций благодаря использованию автономного погрузочного робота, который практически исключает необходимость участия персонала в процессах загрузки и разгрузки трейлеров, а также снижает риски, связанные с выполнением данных задач [13].

Рассматривая инновационные разработки концерна BMW, следует отметить, что уже в 2024 году на производственной площадке в Спартанберге был внедрен первый гуманоидный робот Figure 02 [14]. Данная роботизированная система признана одной из наиболее технологически продвинутых в мире. По заявлениям разработчиков, в отличие от традиционных промышленных роботов, используемых в автомобилестроении, Figure 02 обладает повышенной мобильностью и способностью адаптироваться к изменяющимся внешним условиям. Благодаря интеграции технологий искусственного интеллекта робот способен эффективно взаимодействовать с персоналом в производственной среде. Применение нейронных сетей позволяет системе обучаться в процессе выполнения задач, что повышает ее функциональность и автономность.

Таким образом, развитые экономические системы активно переходят от использования экзоскелетных технологий к внедрению автономных роботизированных систем, стремясь минимизировать зависимость от человеческого фактора в производственных процессах

Внедрение экзоскелетов на российских предприятиях: успехи, выгода, перспективы

Обращаясь к статистическим данным, следует отметить, что в 2022 году Социальный фонд России (СФР) зафиксировал 36,4 тысячи страховых случаев, из которых 32,3 тысячи связаны с производственными травмами [15]. Распределение показателей производственного травматизма по отраслям экономики Российской Федерации представлено на рис. 4.



Рис. 4. Данные Росстата распределения производственных травм по отраслям

К сожалению, уровень внедрения робототехнических систем на российских промышленных предприятиях остается крайне низким. Согласно поручению президента Российской Федерации, направленному на увеличение плотности роботизации в промышленном секторе, по итогам 2023 года в России на 10 тысяч сотрудников приходилось лишь 19 роботизированных единиц. Данный показатель соответствует 53-му месту в глобальном рейтинге [16]. Эти данные приведены в исследовании Центра развития промышленной робототехники Университета «Иннополис» под названием «Состояние роботизации в России и в мире» [17]. Для сравнения: у лидера рейтинга — Южной Кореи — данный показатель составляет 1000 промышленных роботов на 10 000 сотрудников. Согласно прогнозам Центра развития промышленной робототехники, плотность роботизации (количество роботизированных единиц на 10 тысяч сотрудников) должна увеличиться с 19 до 145 к 2030 году, а эксплуатационный парк робототехнических систем — с 12 841 до 99 325 единиц.

Исполнительный директор Национальной ассоциации участников рынка робототехники (НАУРР) Ольга Мудрова отмечает, что поставленная президентом задача является как минимум амбициозной [18]. Большинство экспертов сходятся во мнении, что достижение указанных показателей с большей вероятностью возможно к 2036 году, чем к 2030.

На текущем этапе развития робототехнических технологий наибольший потенциал заключается в оснащении российских промышленных предприятий пассивными экзоскелетами. Это позволит сохранить здоровье

квалифицированных сотрудников в условиях нарастающего дефицита кадров и постепенно снизить зависимость от привлечения трудовых мигрантов из стран ближнего зарубежья. Кроме того, высокий уровень обеспечения охраны труда на производственных объектах может стать значимым фактором привлечения будущих специалистов.

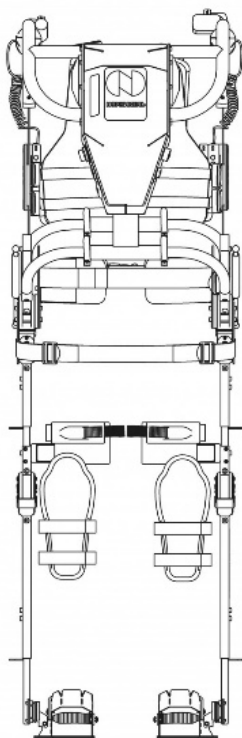


Рис. 5. Схема промышленного экзоскелета Enforcer

Существуют передовые российские предприятия, которые либо уже внедряют экзоскелетные системы для своих сотрудников, либо создают специализированные конструкторские бюро и лаборатории для разработки экзоскелетов, адаптированных к их производственным потребностям. В частности, компания ПАО «ГМК «Норильский никель»» организовала подразделение под названием «Цифровая лаборатория» [19]. Данная лаборатория привлекла к сотрудничеству студентов Юго-Западного государственного университета (ЮЗГУ, г. Курск) и их прототип активного промышленного экзоскелета (рис. 5). Специалисты «Норильского никеля» разработали техническое задание, учитывающее специфику производственных процессов, и реализовали его в новом прототипе экзоскелета Enforcer. Данная модель может быть классифицирована как полуактивная, поскольку для выполнения такелажных работ и подъема тяжестей используются электрические лебедки.

К сожалению, результаты испытаний данного экзоскелета не опубликованы, а его эффективность не подтверждена официально. Однако разработчики утверждают, что грузоподъемность системы достигает 70 кг, а ее применение ориентировано на выполнение задач в статичных позах с минимальной нагрузкой на опорно-двигательный аппарат (ОДА).

Экономический эффект от массового внедрения данного экзоскелета может выражаться в сокращении численности персонала, занятого выполнением задач, связанных с перемещением и подъемом тяжелых предметов и металлических конструкций, а также в снижении уровня травматизма, связанного с нагрузками на ОДА.

Еще одним примером применения экзоскелетных технологий является опыт АО «Российские железные дороги» (РЖД). В 2023–2024 годах Центр инновационного развития провел испытания семи пассивных экзоскелетов ProEXO Boost, предназначенных для перераспределения нагрузки. В результате использования экзоскелета было зафиксировано снижение временных затрат на сверление отверстий с использованием станка СТР-2 на 13 %, что эквивалентно 1,46 нормо-часам на 10 отверстий или 8,76 нормо-минутам на одно отверстие.

Существующая методология и расчеты

Стоит рассмотреть методологию оценки эффективности инновационных проектов в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 28.05.2019 № 1066/р «Об утверждении Единой методики оценки эффективности инновационной деятельности холдинга «РЖД»» [20] как возможный будущий шаблон для расчетов эффективности использования экзоскелетов на производстве. Группы и виды эффектов от инновационных проектов можно рассмотреть в таблице. В вышеуказанном распоряжении рассматриваются как денежные, так и неденежные эффекты.

Группы и виды эффектов от инновационных проектов

Группа эффектов	Вид эффекта	Составляющие эффекта
Денежные	Коммерческий	Увеличение выручки от продаж услуг (за счет роста числа потребителей и/или средней цены услуги); предотвращение сокращения (недополучения) выручки
	Ресурсный	Снижение (экономия) текущих или капитальных затрат (на покупку, установку или обслуживание и ремонт оборудования, техники и объектов инфраструктуры, затрат на персонал, на материалы, энергию и топливо и др.); снижение или предотвращение ущерба (потерь) от аварий, пожаров, других чрезвычайных ситуаций, снижение или предотвращение затрат на ликвидацию их последствий, выплату штрафов и компенсаций пострадавшим; снижение или предотвращение выплат иных компенсаций, штрафов (в том числе за несоблюдение сроков доставки грузов)
Неденежные	Социальный	Снижение числа жертв и пострадавших на железнодорожном транспорте; улучшение условий труда, снижение травматизма и заболеваемости
	Экологический	Снижение и/или предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду
	Управленческий	Повышение эффективности управления (в том числе обоснованности и скорости принятия управленческих решений); создание возможности реализации новых бизнес-моделей
	Потребительский	Повышение удовлетворенности потребителей (за счет роста качества, комфорта железнодорожных услуг); повышение лояльности потребителей к бренду РЖД, улучшение имиджа компании
	Научный	Накопление новых знаний, научно-технического задела, повышение вероятности успешного преодоления технических проблем в будущем
	Системный	Создание условий и предпосылок, повышение возможностей для реализации других инновационных проектов в будущем (в том числе внедрение IT-инфраструктуры, программ и платформ)

Денежный эффект рассчитывается по формуле:

$$CF_t = CFO_t + CFI_t,$$

где CF_t — денежный поток в год $t = 0 \dots T$ расчетного периода, руб.;
 CFO_t — денежный поток от операционной деятельности в год t расчетного периода, руб.;
 CFI_t — денежный поток от инвестиционной деятельности в год t расчетного периода, руб.

Денежный поток от операционной деятельности (CFO_t) рассчитывается в следующем порядке:

- 1) расчет прибыли до вычета процентов, налогов и амортизации (ЕБИТДА) как разницы притоков и оттоков по операционной деятельности по годам t расчетного периода;
- 2) расчет прибыли до налогообложения (ЕБИТ) путем вычитания амортизации из показателя ЕБИТДА;
- 3) расчет чистой прибыли путем вычитания из показателя ЕБИТ суммы налогов;
- 4) расчет денежного потока от операционной деятельности путем суммирования чистой прибыли и величины амортизации.

Денежный поток от инвестиционной деятельности (CFI_t) рассчитывается как разница притоков и оттоков по инвестиционной деятельности по годам t расчетного периода.

Финансовые показатели эффективности от ОАО «РЖД» получить не удалось, так как считаются коммерческой тайной, однако как срок окупаемости закупки данных экзоскелетов закладывают около 3 лет при сравнении вложенных средств и результата повышения эффективности. Эффект от возможной экономии на выплатах не учитывался.

Заявленный неденежный эффект от реализации внедрения экзоскелетов:

- социальный, т. е. предупреждение травм ОДА;
- улучшение условий труда работников;
- повышение престижа компании.

К сожалению, в ОАО «РЖД» не проводилось исследования по расчету экономии на социальных выплатах сотрудникам по нетрудоспособности от сокращения самих травм на производстве за счет использования пассивных экзоскелетов.

Экспертная оценка социальной эффективности проекта балльная, рассчитывалась по формуле

$$E_{relative} = \frac{E_{real}}{I_{potential}}$$

и включает в расчет три показателя:

– $E_{potential}$ — потенциальная эффективность проекта при условии его успешной реализации и внедрения (тиражирования) результатов в холдинге ОАО «РЖД»;

– E_{real} — реальная эффективность проекта, скорректированная на вероятность его успешной реализации;

– $E_{relative}$ — относительная эффективность проекта, учитывающая затраты на него.

Эксперты оценили проект «Применение промышленных экзоскелетов в технологии производства работ, связанных с поднятием и перемещением тяжестей», который по итогу использования считается эффективным, так как значение реальной эффективности E_{real} выше 30 баллов ($E_{real} = 49,6$ балла).

Результативная часть

Дадим оценку влияния внедрения пассивных экзоскелетов на производительность труда, безопасность рабочих и экономическую эффективность предприятий:

1. Влияние на производительность труда

– **снижение утомляемости:** использование пассивных экзоскелетов позволяет снизить нагрузку на опорно-двигательный аппарат (ОДА) работников, что приводит к уменьшению усталости и увеличению продолжительности эффективной работы. Например, в компании Hermes Germany применение экзоскелетов повысило выносливость сотрудников на 52 % после выполнения повторяющихся задач.

– **ускорение выполнения задач:** в АО «Российские железные дороги» использование экзоскелетов ProEXO Boost сократило время на сверление отверстий на 13 %, что эквивалентно 1,46 нормо-часа на 10 отверстий.

– **повышение качества работы:** снижение физической нагрузки позволяет работникам выполнять задачи с большей точностью и меньшим количеством ошибок, что особенно важно для монотонных операций.

2. Влияние на безопасность рабочих

– **снижение травматизма:** пассивные экзоскелеты способствуют уменьшению нагрузки на поясничный отдел, плечевой пояс и другие части ОДА. Исследования показывают, что использование экзоскелетов снижает риск заболеваний ОДА на 45–58 %. Например, в Hermes Germany нагрузка на поясничный отдел снизилась на 56–75 %;

– **профилактика профессиональных заболеваний:** экзоскелеты помогают предотвратить развитие хронических заболеваний, связанных с физическими перегрузками, таких как остеохондроз и грыжи;

– **улучшение эргономики:** использование экзоскелетов позволяет работникам сохранять правильную осанку и снижает риск травм при выполнении задач в неудобных позах.

3. Экономическая эффективность

– **сокращение затрат на компенсации:** внедрение экзоскелетов позволяет снизить расходы на выплаты по нетрудоспособности и лечение сотрудников. Например, в США ежегодные расходы на компенсации из-за утраты трудоспособности составляют около 15,1 млрд долларов, и использование экзоскелетов может сократить эти затраты на 31–53 %;

– **снижение потерь из-за простоев:** уменьшение травматизма и усталости работников приводит к сокращению простоев и повышению производительности. Например, в РЖД использование экзоскелетов позволило сократить время выполнения задач, что напрямую влияет на экономическую эффективность;

– **сокращение численности персонала:** в некоторых случаях экзоскелеты позволяют уменьшить количество работников, занятых физически тяжелыми задачами, что снижает затраты на оплату труда.

4. Ограничения и риски

– **высокие начальные затраты:** внедрение экзоскелетов требует значительных инвестиций в закупку оборудования и обучение персонала;

– **недостаток исследований:** в России отсутствуют масштабные исследования, подтверждающие долгосрочную эффективность экзоскелетов. Например, результаты испытаний экзоскелета Enforcer в «Норильском никеле» не опубликованы.

– **сопротивление сотрудников:** работники могут испытывать дискомфорт при использовании экзоскелетов или не доверять новым технологиям.

5. Перспективы внедрения

– **социальный эффект:** внедрение экзоскелетов улучшает условия труда, что повышает привлекательность компании для будущих сотрудников и снижает текучесть кадров.

– **технологическое развитие:** разработка новых моделей экзоскелетов, таких как модульный экзоскелет «Напарник» с грузоподъемностью до 55 кг, открывает новые возможности для их применения в различных отраслях.

– **государственная поддержка:** реализация национальных проектов, таких как «Производительность труда», и поручений президента РФ способствует развитию роботизации и внедрению экзоскелетов на российских предприятиях.

Заключение

Внедрение пассивных экзоскелетов может оказывать положительное влияние на производительность труда, безопасность рабочих и экономическую эффективность предприятий. Однако для достижения максимального эффекта необходимо:

– проводить дополнительные исследования для оценки долгосрочной эффективности экзоскелетов;

– обеспечить обучение сотрудников и адаптацию технологий под конкретные производственные задачи;

– учитывать высокие начальные затраты и возможное сопротивление со стороны персонала.

Таким образом, пассивные экзоскелеты являются действенным инструментом для повышения конкурентоспособности российских предприятий в условиях растущего кадрового дефицита и необходимости улучшения условий труда.

Список источников

1. Таблица с показателями удельного веса численности работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в организациях. — URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/usl_trud1-2023.xlsx (дата документа: 26.04.2024).

2. Послание Президента Федеральному Собранию. — URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/73585> (дата документа: 29.02.2024).

3. Указ Президента Российской Федерации № 309. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата документа: 07.05.2024).

4. Путин поручил за короткий срок войти в топ-25 стран мира по плотности роботизации. — URL: <https://digital.gov.ru/ru/events/51364/> (дата публикации: 07.06.2024).

5. Воробьев А. А. Терминология и классификация экзоскелетов / А. А. Воробьев, Ф. А. Андрющенко, О. А. Засыпкина и др. // Вестник ВолГМУ. — 2015. — № 3(55). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/terminologiya-i-klassifikatsiya-ekzoskeletov> (дата обращения: 18.12.2024).

6. Официальный сайт производителя экзоскелетов «ЭкзоАтлет». — URL: <https://exoatlet.ru> (дата обращения: 15.12.2024).

7. BMW Group Harnesses Potential of Innovative Automation and Flexible Assistance Systems in Production. — URL: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0268199EN/bmw-group-harnesses-potential-of-innovative-automation-and-flexible-assistance-systems-in-production?language=en> (дата обращения: 15.12.2024).

8. The Wall Street Journal / Industrial Exoskeletons Give Workers a Lift. — URL: <https://www.wsj.com/articles/industrial-exoskeletons-give-workers-a-lift-11547730001> (дата обращения: 15.12.2024).

9. Lu M.-L. Work-related Musculoskeletal Disorders / M.-L. Lu, B. Lowe, N. Howard et al. — 2022. — URL: https://www.researchgate.net/publication/364133749_Work-related_Musculoskeletal_Disorders. — DOI: 10.2174/9789815049138122010018 (дата обращения: 15.12.2024).

10. Safety Accelerator Report: Tackling MSD in Industrial Sectors with Emerging Tech. — URL: <https://safetytechaccelerator.org/downloads/report-tackling-msd-in-industrial-sectors-with-emerging-tech/> (дата обращения: 16.12.2024).

11. SuitX Official Website. Hermes Germany. Back exoskeletons provide noticeable relief. — URL: https://www.suitx.com/en/use-case_hermes (дата обращения: 16.12.2024).

12. Plus One Robotics Official Website. 3PL Warehouse Automation Solutions. — URL: <https://www.plusonerobotics.com/3pl> (дата обращения: 15.12.2024).
13. Slip Robotics Official Website. Case Study. — URL: <https://www.sliprobotics.com/case-study> (дата обращения: 17.12.2024).
14. Humanoid Robots for BMW Group Plant Spartanburg. — URL: <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2024/humanoid-robots.html> (дата обращения: 17.12.2024).
15. Открытые данные ФСС до 2023 года. — URL: https://sfr.gov.ru/opendata/fss_opendata/ (дата обращения: 19.12.2024).
16. Global robot statistics. Market Report. — URL: <https://ifr.org/about-world-robotics/> (дата обращения: 15.12.2024).
17. *Кораблева А.* Железная рука роботизации. Автоматизация производства в России растет опережающими темпами / А. Кораблева. — URL: <https://expert.ru/promishlennost/zheleznaaya-ruka-robotizatsii/?ysclid=m4u43drezl524901826> (дата обращения: 19.12.2024).
18. «Войти в топ-25 стран по количеству промышленных роботов к 2030 году — для нас это очень амбициозная задача», — Ольга Мудрова // Новости НАУПП. — URL: <https://robotunion.ru/glavnaya/tpost/8ldvv2ki71-voiti-v-top-25-stran-po-kolichestvu-prom?ysclid=m4u3q2jc3e331462107> (дата обращения: 17.12.2024).
19. «Норникель» продемонстрировал промышленникам возможности экзоскелета. — URL: <https://nornickel.ru/news-and-media/press-releases-and-news/nornikel-prodemonstriroval-promyshlennikam-vozmozhnosti-ekzoskeleta/?ysclid=m4vjgorgc651688955> (дата обращения: 15.12.2024).
20. Единая методика оценки эффективности инновационной деятельности холдинга «РЖД». — URL: <https://rcit.su/techinfoW4.html?ysclid=m6s3ah7wud145894860> (дата обращения: 05.02.2025).

Дата поступления: 20.12.2024

Решение о публикации: 14.02.2025

Контактная информация:

ТКАЧЕВ Олег Олегович — генеральный директор¹, преподаватель²; info@narnik.tech

Economic Efficiency of Using Passive Exoskeletons in Industrial Enterprises Within the Framework of the Transition to Total Robotization of Production and Reduction of the Human Factor

O. O. Tkachev^{1,2}

¹Design Bureau of External Frames and Biomechanics LLC, 26, Snezhnaya Str., Moscow, 107140, Russian Federation

²Institute of International Economic Relations, 35, Mosfilmovskaya Str., Moscow, 119330, Russian Federation

For citation: Tkachev O. O. Economic Efficiency of Using Passive Exoskeletons in Industrial Enterprises Within the Framework of the Transition to Total Robotization of Production and Reduction of the Human Factor. *Bulletin of scientific research results*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 211–227. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-211-227

Summary

Purpose: The subject of this work is the study of the use of passive exoskeletons in industrial enterprises. The topic of the work is focused on the analysis of the role of passive exoskeletons as a transitional stage to full robotization of production processes. The purpose of the study is to assess the impact of the introduction of passive exoskeletons on labor productivity, worker safety and economic efficiency of enterprises. **Methods:** The research methodology includes the collection and analysis of technical data from public sources, as well as directly from internal reports of organizations, on productivity and safety at Russian and foreign enterprises where passive exoskeletons are already used. **Results:** Foreign experience shows that the use of exoskeletons can reduce the risk of musculoskeletal diseases by 45–58%, reduce the cost of disability compensation by 31–53% and increase labor productivity up to 153% for certain tasks. In Russia, the process of introducing exoskeletons is at an early stage, but there are already successful examples of their use at enterprises that have shown a 13% reduction in task completion time. An expert assessment of the effectiveness of the introduction of exoskeletons confirmed their high social and economic significance. **Practical significance:** The introduction of exoskeletons in industrial enterprises helps to reduce injuries, improve working conditions and increase productivity, which is especially important in the context of personnel shortages. The use of exoskeletons allows to reduce costs for disability compensation and increase the prestige of the company among potential employees. The article offers recommendations for Russian enterprises on the introduction of exoskeletons, which can contribute to the implementation of tasks set within the framework of national projects and increase the competitiveness of the domestic industry. The introduction of exoskeletons can be an important step towards full automation and robotization of processes. The conclusions emphasize that passive exoskeletons are an effective tool for increasing productivity and labor safety.

Keywords: Exoskeletons, robotics, industry, passive exoskeletons, productivity, physical strain, workplace safety, efficiency, technology integration, economic aspects.

References

1. *Tablitsa s pokazatelyami udel'nogo vesa chislennosti rabotnikov, zanyatykh na rabotakh s vrednymi i (ili) opasnymi usloviyami truda, v organizatsiyakh* [Table with indicators of the proportion of employees engaged in jobs with harmful and (or) hazardous working conditions in organizations]. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/usl_trud1-2023.xlsx (document date: 26.04.2024). (In Russian)

2. *Poslanie Prezidenta Federal'nomu Sobraniyu* [The President's Address to the Federal Assembly]. Available at: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/73585> (document date: 29.02.2024). (In Russian)
3. *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii № 309* [Decree of the President of the Russian Federation № 309]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (document date: 07.05.2024). (In Russian)
4. *Putin poruchil za korotkiy srok voyti v top-25 stran mira po plotnosti robotizatsii* [Putin ordered to enter the top 25 countries in the world in terms of robotization density in a short time]. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/events/51364/> (date of publication: 07.06.2024). (In Russian)
5. Vorob'ev A. A., Andryushchenko F. A., Zasypkina O. A. et al. Terminologiya i klassifikatsiya ekzoskeletov [Terminology and classification of exoskeletons]. *Vestnik VolGMU* [Bulletin of VolGMU]. 2015, Iss. 3(55). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/terminologiya-i-klassifikatsiya-ekzoskeletov> (accessed: December 18, 2024). (In Russian)
6. *Ofitsial'nyy sayt proizvoditelya ekzoskeletov "EkzoAtlet"* [Official website of the manufacturer of exoskeletons "ExoAtlet"]. Available at: <https://exoatlet.ru> (accessed: December 15, 2024). (In Russian)
7. BMW Group Harnesses Potential of Innovative Automation and Flexible Assistance Systems in Production. Available at: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0268199EN/bmw-group-harnesses-potential-of-innovative-automation-and-flexible-assistance-systems-in-production?language=en> (accessed: December 15, 2024).
8. The Wall Street Journal / Industrial Exoskeletons Give Workers a Lift. Available at: <https://www.wsj.com/articles/industrial-exoskeletons-give-workers-a-lift-11547730001> (accessed: December 15, 2024).
9. Lu M.-L., Lowe B., Howard N. et al. Work-related Musculoskeletal Disorders. 2022. Available at: https://www.researchgate.net/publication/364133749_Work-related_Musculoskeletal_Disorders. DOI: 10.2174/9789815049138122010018 (accessed: December 15, 2024).
10. Safety Accelerator Report: Tackling MSD in Industrial Sectors with Emerging Tech. Available at: <https://safetytechaccelerator.org/downloads/report-tackling-msd-in-industrial-sectors-with-emerging-tech/> (accessed: December 16, 2024).
11. SuitX Official Website. Hermes Germany. Back exoskeletons provide noticeable relief. Available at: https://www.suitx.com/en/use-case_hermes (accessed: December 16, 2024).
12. Plus One Robotics Official Website. 3PL. Warehouse Automation Solutions. Available at: <https://www.plusonerobotics.com/3pl> (accessed: December 15, 2024).
13. Slip Robotics Official Website. Case Study. Available at: <https://www.sliprobotics.com/case-study> (accessed: December 17, 2024).
14. Humanoid Robots for BMW Group Plant Spartanburg. Available at: <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2024/humanoid-robots.html> (accessed: December 17, 2024).
15. *Otkrytye dannye FSS do 2023 goda* [Open data of the Social Insurance Fund until 2023]. Available at: https://sfr.gov.ru/opendata/fss_opendata/ (accessed: December 19, 2024).

16. Global robot statistics. Market Report. Available at: <https://ifr.org/about-world-robotics/> (accessed: December 15, 2024). (In Russian)

17. Korableva A. *Zheleznaya ruka robotizatsii. Avtomatizatsiya proizvodstva v Rossii rastet operezhayushchimi tempami* [The iron hand of robotics. Automation of production in Russia is growing at an accelerated pace]. Available at: <https://expert.ru/promishlennost/zheleznaya-ruka-robotizatsii/?ysclid=m4u43drezl524901826> (accessed: December 19, 2024). (In Russian)

18. “Voiti v top-25 stran po kolichestvu promyshlennykh robotov k 2030 godu — dlya nas eto ochen’ ambitsioznaya zadacha”, — Ol’ga Mudrova [“Entering the top 25 countries in terms of the number of industrial robots by 2030 is a very ambitious goal for us”, Olga Mudrova]. *Novosti NAURR* [News of the National Academy of Agricultural Sciences]. Available at: <https://robotunion.ru/glavnaya/tpost/8ldvv2ki71-voiti-v-top-25-stran-po-kolichestvu-prom?ysclid=m4u3q2jc3e331462107> (accessed: December 17, 2024). (In Russian)

19. “Nornikel” prodemonstriroval promyshlennikam vozmozhnosti ekzoskeleta [Norilsk Nickel demonstrated the capabilities of an exoskeleton to industrialists]. Available at: <https://nornikel.ru/news-and-media/press-releases-and-news/nornikel-prodemonstriroval-promyshlennikam-vozmozhnosti-ekzoskeleta/?ysclid=m4vjgxorgc651688955> (accessed: December 15, 2024). (In Russian)

20. *Edinaya metodika otsenki effektivnosti innovatsionnoy deyatel’nosti kholdinga “RZhD”* [Unified methodology for assessing the effectiveness of innovative activities of the Russian Railways holding]. Available at: <https://rcit.su/techinfoW4.html?ysclid=m6s3ah7wud145894860> (accessed: February 05, 2025). (In Russian)

Received: December 20, 2024

Accepted: February 14, 2025

Author’s information:

Oleg O. TKACHEV — General Director¹, Lecturer²; info@naparnik.tech