

DOI: 10.36622/VSTU.2023.12.86.003

УДК 005.932:656.01

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ В СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКЕ

Л.В. Бутор, Б.О. Ковалев

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь, 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Введение. В данной статье рассматриваются возможности использования экзоскелетов в складской логистике. Описаны виды экзоскелетов, а также зарубежный опыт их использования в производстве и на складах. Обоснована эффективность внедрения экзоскелетов в промышленность как мера повышения производительности труда и снижения профессиональных заболеваний. Сделан вывод о необходимости применения экзоскелетов для возможности улучшения охраны труда и техники безопасности.

Данные и методы. В статье дано определение экзоскелета, а также анализируется возможность улучшения физического состояния работников склада с применением данных конструкций. Основные методы исследования – теоретические и практические методы, с помощью которых проводилось исследование: статистические данные, анализ деятельности предприятий и их функциональных областей.

Полученные результаты. Авторами представлены исследования по влиянию физических нагрузок на уровень производительности труда работников различных областей, в первую очередь – склада, где тяжелая ручная работа по-прежнему составляет большую часть несмотря на то, что многие части производственных и технологических процессов могут быть автоматизированы. Обосновывается, что сотрудники из-за физических травм или возрастных ограничений не могут выполнять свою работу вообще или частично. Решением такой проблемы является применение экзоскелетов.

Заключение. Полученные результаты исследования можно использовать как теоретическую базу для управления складской деятельностью предприятий различных отраслей.

Ключевые слова: экзоскелет, цифровая трансформация, складская логистика, автоматизация труда

Для цитирования:

Бутор Л.В. Применение экзоскелетов в складской логистике / Л.В. Бутор, Б.О. Ковалев // Организатор производства. 2023. Т.31. №3. С.29-38. DOI 10.36622/VSTU.2023.12.86.003

EXOSKELETON APPLICATION IN WAREHOUSE LOGISTICS

L.V. Butor, B.O. Kovaliov

Belarusian National Technical University

Republic of Belarus, 220013, Minsk, Independence Avenue, 65

Introduction. This article discusses the possibilities of using exoskeletons in warehouse logistics. Types of exoskeletons are described, foreign experience of using exoskeletons in production and in warehouses is de-

Сведения об авторах:

Любовь Васильевна Бутор (msf.bntu@gmail.com), старший преподаватель кафедры «Инженерная экономика»

Ковалёв Богдан Олегович (bkovaliov76@mail.ru), студент 4-го курса МСФ

On authors:

Butor Liubou V. (msf.bntu@gmail.com), Senior Lecturer at the Department of Engineering Economics

Kovaliov Bogdan O. (bkovaliov76@mail.ru), 4-th year student of the MEF BNTU

scribed. The effectiveness of the introduction of exoskeletons in the industry is justified as a measure of increasing labor productivity and reducing occupational diseases. The conclusion is made about the need to use exoskeletons for the possibility of improving labor protection and safety.

Data and methods. The definition of the exoskeleton is given in the article, and the possibility of improving the physical condition of warehouse workers using these structures is also analyzed. The main research methods are theoretical and practical methods with which the research was conducted: statistical data, analysis of the activities of enterprises and their functional areas.

Results. The authors present studies on the impact of physical activity on the level of productivity of workers in various areas, primarily in the warehouse, where heavy manual work still makes up the majority, despite the fact that many parts of production and technological processes can be automated. It is substantiated that employees due to physical injuries or age restrictions cannot perform their work in general or in part. The solution to this problem is the use of exoskeletons.

Conclusion. The obtained results of the study can be used as a theoretical basis for managing the warehouse activities of enterprises in various industries.

Key words: exoskeleton, digital transformation, warehouse logistics, labor automation

For quoting: Butor L.V. Exoskeleton application in warehouse logistics / L.V. Butor, B.O. Kovaliov // Organizer of production. 2023. Vol.31. No. 3. Pp. 29-38. DOI 10.36622/VSTU.2023.12.86.003

Введение

В современном мире ни один бизнес не обходится без инноваций – цепочки поставок, транспортировка, передача информации и многие финансовые услуги завязаны на Интернет. Если предприятия ставят своей целью успешное ведение хозяйственной деятельности, то они не должны пренебрегать ИТ-технологиями.

Цифровая трансформация логистики как одно из положений концепции «Индустрии 4.0» все более внедряется в логистику и ее функциональные сферы, в том числе и логистику складирования. Несмотря на то, что организация логистических процессов на складе с течением времени в целом изменяется незначительно, стоит вопрос об оптимизации наиболее трудоемких и времязатратных операций [1]. То, насколько эффективно функционирует складская система, во многом зависит от используемых в ней технологий. В целом, ключом к решению проблем функционирования склада является внедрение специализированных решений, адаптированных к конкретным потребностям отрасли. На данный момент существует множество технологий для оптимизации и автоматизации работы склада [2], которые дают возможность предприятиям реализовывать

новые логистические решения, а также поддерживать интеллектуальную связь между людьми, машинами и системами, тем самым поддерживая более эффективное и бесперебойное складирование. Оптимальное использование склада достигается за счет интеграции новейших технологий, таких как штрих-коды, датчики и анализ данных, а также при условии, что минимизируются трудозатраты человека.

Теория

Во всем мире цифровизация неумолимо прогрессирует – в том числе и в логистике. Кроме того, во времена возрастающей неопределенности и быстрого темпа жизни требуются последовательные и надежные решения. С точки зрения успешной цифровой трансформации логистики речь идет о гибкости, надежности и прозрачности, а также способности адекватно реагировать на новые потребности клиентов.

Так как логистика традиционно очень тесно переплетена с другими секторами экономики, задача здесь состоит в том, чтобы быстро модернизироваться и предвидеть будущие изменения. COVID-19 стал катализатором трансформации в деятельности многих предприятий: теперь они должны стаби-

лизировать свой операционный бизнес и позиционировать себя конкурентоспособными в будущем. Таким образом, работа логистических служб многих компаний в самых различных отраслях сводится к логистике 4.0, что является своего рода реакцией на Индустрию 4.0. Например, большей эффективности можно добиться за счет автоматизации и прозрачности, за счет эффективного использования информационных и коммуникационных технологий.

Цифровизация складской логистики – это введение ИТ-технологий в область деятельности склада. Сюда входят интернет, машинный интеллект, ИТ-программы, приложения, блокчейн, роботизация склада и другие современные технологии. Тенденция к переходу на цифровые решения наблюдается во всех странах без исключения.

Цифровая трансформация в складской логистике развивается по двум ключевым ответвлениям:

- минимизация человеческих ресурсов;
- создание эффективных систем управления складом.

Несмотря на то, что в управлении складом в эпоху тотальной цифровизации произошло много научно-технических изменений, во многих отраслях еще используется

физический труд, связанный с поднятием и перемещением тяжестей. Есть области, в которых ни обмен и анализ данных, ни автоматизация не могут заменить активность человека. Высокие стандарты качества или практические ограничения часто препятствуют использованию робототехники и сопоставимых технологий. Они еще не рекомендовали себя там, где решающую роль играют малые количества или большая степень индивидуализации. В этих и других обстоятельствах работники продолжают подвергаться большим физическим нагрузкам.

Физическое напряжение зависит от осанки, применяемых сил, условий труда, физических нагрузок и индивидуального подхода к выполняемым действиям. У людей, которые систематически подвержены тяжелому физическому труду, часто развиваются заболевания, поражающие суставы, сухожилия и мышцы, что может иметь серьезные последствия как для самого работника, так и для производительности всей компании в целом. Последствия ухудшения здоровья приводят как к изменению физической работоспособности, так и к преждевременному старению (рис. 1).

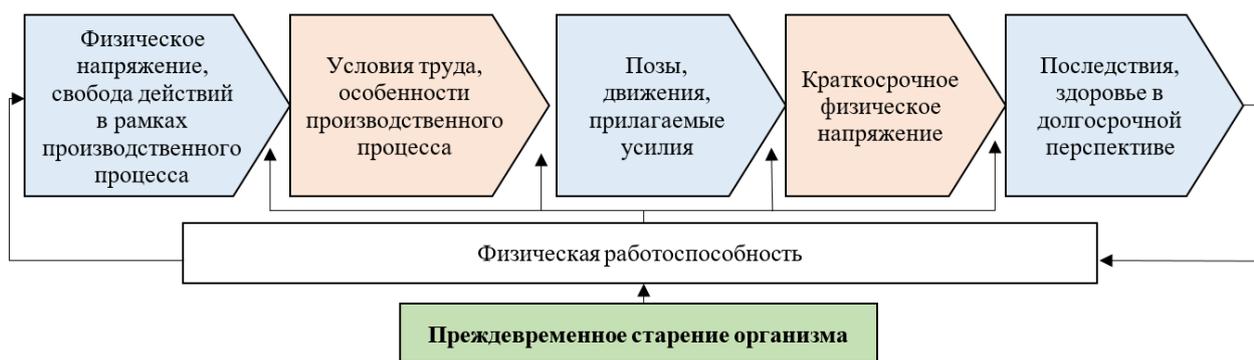


Рис. 1. Связь между преждевременным старением работников, занятых физическим трудом, и их физическими нагрузками

Fig. 1. The relationship between premature aging of workers who are engaged in physical labor and their physical activity

Логистическая отрасль сталкивается со многими проблемами. Из-за быстро растущего объема онлайн-торговли, а совсем недавно из-за Covid-19, она стала решающим фактором в цепочке создания стоимости компаний. Все чаще наблюдаются повышенные требования со стороны потребителей к своевременности поставок. С другой стороны, наблюдается нехватка квалифицированных рабочих и старение рабочей силы. Количество потерянных дней в логистической сфере чрезвычайно велико. Большая часть потерянных дней связана с заболеваниями на фоне физических перенапряжений.

К примеру, при перемещении грузов весом до 30 кг с одного поддона на другой за один рабочий день долгосрочные последствия для мышц и связок работника склада неизбежны. Боль в спине является одним из так называемых заболеваний опорно-двигательного аппарата и является одним из наиболее распространенных заболеваний в логистической отрасли. Там, где подъемно-транспортные операции занимают большую часть повседневной работы, они являются частью повседневной жизни. Одним из решений для разгрузки опорно-двигательного аппарата работников складской логистики могут стать экзоскелеты.

Экзоскелет – это поддерживающая конструкция, надеваемая на тело, которая разгружает опорно-двигательный аппарат во время определенных видов деятельности.

Термин «экзоскелет» как таковой происходит от древнегреческого слова *exo*, означающего «снаружи», и *skeletos* – «высушенное тело». Недаром экзоскелеты всегда называют внешним скелетом. Даже если в природе существуют естественные формы экзоскелета, например, раковины улиток или мидий, упор явно делается на искусственные бытовые приспособления [3].

Первая попытка создать своего рода искусственный экзоскелет, вероятно, относится к 1965 году. В то время General Electric уже разрабатывала прототип так называемого Hardiman. Hardiman должен был позволить

владельцу костюма робота без особых усилий поднимать грузы весом до 680 кг. К сожалению, проект не был продолжен в таком масштабе, потому что экзоскелет нельзя было использовать контролируемым образом. Дальнейшие разработки Hardiman были сосредоточены на механизме ручного захвата [4].

Говоря об экзоскелетах, используемых в промышленности, эксперты в основном говорят об эргоскелетах. Они очень подвижны, и их следует использовать там, где тяжелая физическая работа является нормой.

Экзоскелеты поддерживают определенные последовательности движений, например, подъем и опускание грузов или статические действия, такие как работа выше уровня плеч. По виду «оказания» силовой помощи экзоскелеты бывают активными, пассивными и гибридными. Активные экзоскелеты фиксируют движения пользователя с помощью датчиков и преобразуют их в управляющие сигналы для электрических или пневматических приводов. Прикрепленные к подошвам ног или задней части экзоскелета, датчики обнаруживают движения пользователя экзоскелета с помощью физиологических импульсов тела и измеряют стресс, вызванный изменениями электрического потенциала действия. Электрический потенциал действия возникает примерно за 50 миллисекунд до сокращения мышцы. Информация с датчиков поступает на контроллер. Это анализирует импульсы и координирует соответствующий привод, который мобилизует экзоскелет. Пассивные экзоскелеты чисто механические, поэтому их гораздо легче носить на себе (с точки зрения веса). Обычно они имеют газовые пружины или эластомеры, которые поглощают энергию во время определенных движений и возвращают ее пользователю во время встречного движения. Например, если рабочий наклоняется вперед, механические узлы помогают ему сохранять это положение или выпрямлять тело при подъеме предмета. Пассивные и активные типы экзоскелета также могут быть

реализованы в виде гибрида. Это метод, при котором электрические управляющие импульсы, вызванные, например, мозговыми волнами, передаются экзоскелету и, таким образом, создают искусственное движение.

Независимо от того, идет ли речь о производстве или складской грузопереработке, некоторые виды работ можно автоматизировать лишь в небольшой степени. Это в основном связано с аспектами качества и вопросами практичности, например, в случае относительно небольших количеств или разнообразного ассортимента продукции. Здесь требуется загруженность и умение концентрироваться, но в то же время большое количество мелкой работы утомляет относительно – время восстановления таким образом влияет на эффективность работы всех сотрудников склада.

На самом складе с помощью экзоскелета можно лучше контролировать следующие ситуации:

- поддержка монотонных или опасных поз;
- более равномерное распределение нагрузки при подъеме и перемещении тяжелых предметов;
- снижение рисков безопасности благодаря сочетанию функциональности и защиты;
- уменьшение случаев, повышающих риск заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Таким образом, экзоскелет повышает надежность работы, снижает износ на многих отдельных этапах работы и в то же время повышает эффективность в соответствующем подсегменте.

Данные и методы

Мировой рынок экзоскелетов неуклонно растет. В 2021 году объём 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 [5]. Продажи с 2015 по 2017 год увеличивались примерно на 40% ежегодно – с 2500 шт. единиц, проданных в 2015 году до

около 5 000 единиц в 2017 г. По данным Statista к 2025 году ожидается увеличение объема продаж экзоскелетов во всем мире до 1 100 000 единиц.

Существуют экзоскелеты, в которых рабочий может придать жесткость механике, закрепленной на бедрах и ногах, в любом положении и получить сиденье, точно адаптированное к соответствующей ситуации. Этот вариант, так называемое кресло без кресла, используется, например, в Audi на заводе в Неккарзульме, Германия. Поставщик логистических услуг Geodis в Венло, Нидерланды, полагается на пассивные экзоскелеты, которые поддерживают спину и, таким образом, помогают работнику склада поднимать и переносить грузы во время комплектования заказов. В настоящее время костюмы используются сотрудниками, которым приходится перемещать более 4000 килограммов в день. Рабочие завода BMW в Спартанбурге, США, также получают механическую поддержку. Они носят жилеты, которые поддерживают верхнюю часть тела с помощью механизма, специально разработанного для сборки над головой [6].

Одним из первых интеллектуальных экзоскелетов на мировом рынке является экзоскелет от German Bionic (Германия) Cray X – управляемый программным обеспечением, он берет на себя до 60% мышечной активности, в основном, когда человек встает. В таких экзоскелетах, к примеру, работают сотрудники аэропорта Штутгарта, Германия, и ИКЕА.

Такой интеллектуальный робот – экзоскелет можно легко интегрировать в любую среду Интернета вещей и любое умное производство. Он может собирать и считывать данные, его можно обслуживать удаленно и постоянно обучать с помощью искусственного интеллекта. Его можно индивидуально адаптировать к процессам и пользователю с помощью данных о движении и весе. Как и в случае с мобильными телефонами, обновления можно загружать в одночасье. Cray X может сигнализировать владельцу, что он поднимает слишком большой

вес или что ему следует сделать перерыв. Несмотря на относительно высокий вес (7 кг), активный экзоскелет Cray X в некоторых случаях снижает мышечную активность почти на 50% [7].

По данным statista.com объем продаж сервисных роботов с экзоскелетом человека по всему миру с 2017 по 2021 год по регионам постоянно возрастал. К примеру, в 2018 году объем продаж в Северной и Южной Америке составил 91,58 млн долларов США, а в Азиатско-Тихоокеанском регионе – 20,48 млн долларов США (рис. 2).

Существует множество производственных и логистических задач, которые машины не могут выполнять автоматически, хотя бы потому, что такие задачи требуют гибкости, которую может обеспечить только человеческий интеллект. Средний работник физического труда поднимает и перемещает более 180 000 кг товаров, пакетов или других предметов всего за одну рабочую неделю. Это эквивалентно весу Boeing 747. На мо-

бильных рабочих местах, таких как комплектация заказов по принципу «человек-товар», всегда возникают ситуации, в которых не преобладают эргономические условия труда. Например, на самом нижнем уровне полки или при размещении товаров на поддоне.

Полная или хотя бы частичная автоматизация логистических процессов на складах могла бы решить проблемы с травматизацией работников. Но это не всегда возможно с технической и экономической точек зрения. В логистике лишь некоторые ручные операции могут быть разумно заменены решениями автоматизации. Во многих областях человек превосходит машину с точки зрения гибкости. Когда компании хотят улучшить эргономику работникам склада при грузопереработках, часто в дело вступают такие инструменты, как краны, подъемники и конвейерные ленты. Однако это статические решения, которые постоянно устанавливаются на определенных рабочих станциях.

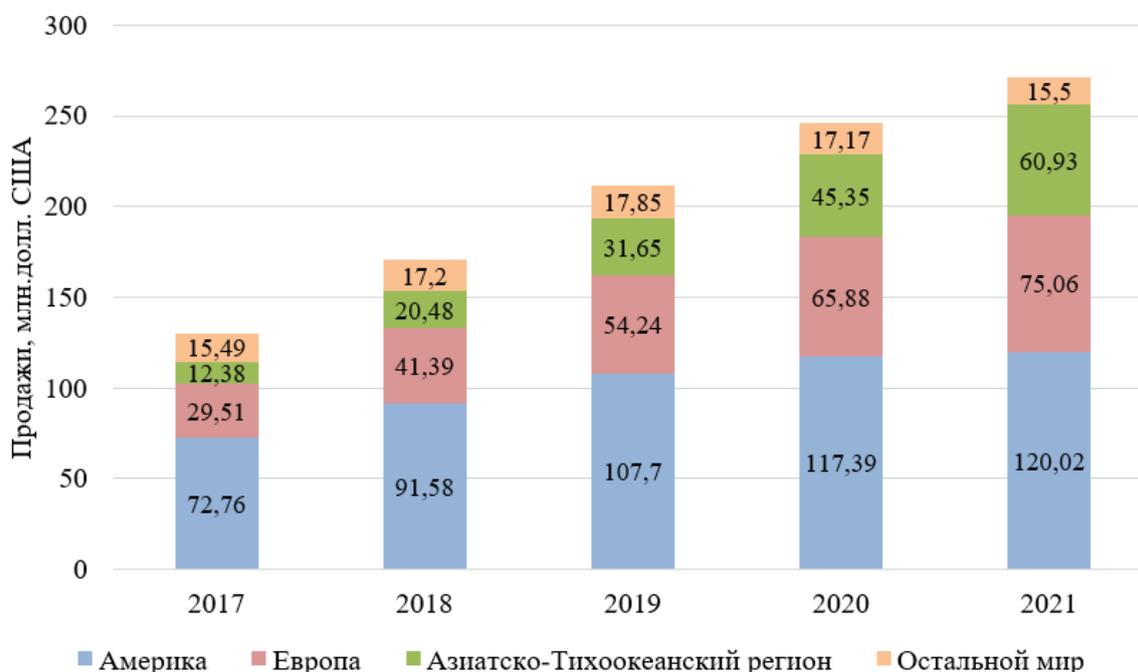


Рис. 2. Объем продаж сервисных роботов с экзоскелетом человека с 2017 по 2021 год по регионам мира, млн. долл. США (составлено авторами на основе [8])

Fig. 2. Sales volume of service robots with a human exoskeleton from 2017 to 2021 by regions of the world, USD million (compiled by the authors based on [8])

С экзоскелетами в качестве гибких вспомогательных средств сотрудникам складской отрасли значительно легче работать. Экзоскелеты можно отнести к системам активной поддержки, мощность которых можно индивидуально адаптировать к человеку и его стандартным операциям. Меньшая утомляемость и более высокая концентрация в равной степени влияют на удовлетворенность сотрудников и качество работы. Экзоскелеты помогают значительно улучшить условия труда. В дополнение к эргономичным рабочим местам они предназначены для помощи работникам склада в подъеме и повороте тела. При работе в экзоскелете поясничные позвонки и мышцы спины избавлены от полной нагрузки. В условиях склада сотрудники часто по-прежнему несут ответственность за выполнение физически сложных задач, таких как поднятие грузов из упаковки или удаление товаров с пола в зоне комплектования. Применение экзоскелетов позволяет осуществлять общие подъемные операции, т.е. экзоскелет сочетает в себе мощность машины с моторикой человека.

В складской логистике одним из ключевых показателей эффективности является производительность труда. Ее можно контролировать с помощью целенаправленных мер. Использование экзоскелетов в складской логистике – одна из таких мер, которая может оказать положительное влияние на производительность, когда доля операций, выполняемых людьми, уменьшается из-за оцифровки, но все еще значительна. На большинстве складов комплектования в качестве ключевого показателя используется производительность как планируемая дневная выработка. Например, при комплектовании среднее количество единиц, обрабатываемых в час, используется в качестве показателя для расчета возможного дневного вы-

пуска комплектованных поддонов. Использование экзоскелетов положительно влияет на фактические и эксплуатационные требования человека. Интеграция экзоскелетов в работу склада положительно влияет на продуктивность. Это не означает, что количество перерабатываемой или отгружаемой продукции увеличивается, это просто уменьшает нагрузку, необходимую для выполнения работы, без уменьшения количества продукции.

Зачастую деятельность склада характеризуется очень разнородным ассортиментом изделий. Каждая партия груза отличается по весу, размеру, устойчивости, центру тяжести и т. д. Это затрудняет надежную и экономичную автоматизацию процессов обработки. Экзоскелеты могут предложить возможное решение для защиты работников от заболеваний опорно-двигательного аппарата (в основном проблем со спиной), а также предложить перспективу работникам с пониженной работоспособностью. Однако доказательств его эффективности на практике нет.

В таблице 1 отражены основные преимущества и недостатки применения экзоскелетов с учетом концепции человек-технология-производство, т.е. с учетом социально-технического анализа, оценки и концепции проектирования, в которой люди, технология и организация находятся в зависимых отношениях взаимодействия в отношении выполнения рабочей задачи. Рабочая задача связывает социальную с технической частью системы труда и соединяет людей с организационными структурами. Рабочая задача играет центральную роль в том, что она объединяет социальную и техническую подсистемы, а также людей с организационными процессами.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки применения экзоскелетов
с учетом концепции человек-технология-производство
Table 1 - Advantages and disadvantages of using exoskeletons
taking into account the concept of man-technology-production

Ресурс	Преимущества	Недостатки
Человек	- легко применимы в эксплуатации; - снижают нагрузки на тело; - положительное влияние на здоровье и трудоспособность	- повышенный риск травм (несчастные случаи от спотыкания, падения, подскользывания); - невозможно использование рядом с токарными, фрезерными станками и т.д. ввиду выступающих элементов
Технология	- индивидуальная адаптация к человеческой антропометрии и подлежащей выполнению задачи; - более гибкое устройство, чем другие погрузочно-разгрузочные устройства	- нет стандартизированной оценки рисков, т.к. они не были должным образом исследованы
Производство	- уменьшение простоев, связанных с болезнями сотрудников; - уменьшение последствий от несчастных случаев, связанных со спотыканиями, падениями и подскользываниями во время работы; - повышение производительности труда за счет повышения мотивации и сокращения прогулов	- высокое технологическое разнообразие приводит к проблемам в планировании; - в настоящее время нет доступных долгосрочных исследований

* Составлено авторами на основе [9]

Следует отметить, что поскольку в течение длительного времени не существовало экзоскелетов, пригодных для продажи, и, следовательно, не было долгосрочных исследований в реальном промышленном использовании, все еще существуют некоторые неопределенности. К ним относятся возможный распад мышц в активных экзоскелетах или повышенная нагрузка на сердечно-сосудистую систему в системах для работы над головой. Некоторые пассивные экзоскелеты перераспределяют нагрузку в теле при добавлении веса. Влияние на биомеханику до сих пор неизвестно, поэтому нет возможности включить экзоскелеты в оценку эргономики.

В дополнение к этим возможным рискам существуют проблемы при эксплуатации. К

ним относятся, например, время, необходимое для того, чтобы одеться и раздеться, потливость, проблемы с принятием или неосведомленность сотрудников о необходимости принятия мер для обеспечения долгосрочной охраны здоровья.

Заключение

Если знать, какой эффект экзоскелеты оказывают на конкретную деятельность, можно разработать концепции для их использования на основе потребностей. Сюда можно отнести организационные факторы, такие как предоставление вспомогательных средств или время одевания и раздевания. В Логистике 4.0 эти понятия используются для распределения как инструментов, так и заказов в зависимости от физического состояния

сотрудников. Для этого записывается напряжение, которое анализируется в режиме реального времени.

Использование экзоскелетов в производстве и логистике повышает безопасность труда, особенно в тех видах деятельности, которые требуют подъема тяжестей, вынужденного положения или длительной работы над головой, и где из-за их рабочей ситуации до настоящего времени нельзя было использовать никакие технические средства или их можно было использовать только в ограниченном количестве.

Экзоскелеты открывают возможность улучшения охраны труда и техники безопасности, особенно для видов деятельности, в которых из-за специфики рабочей ситуации (например, доступности рабочей зоны, типа рабочего оборудования или рабочего объекта) отсутствуют или недостаточны технические средства, которые ранее были доступны, например, при подъеме тяжестей или работе в вынужденной позе. В результате экзоскелеты могут обеспечить большую разгрузку опорно-двигательного аппарата во время определенных видов деятельности в будущем. Однако соответствующие сопутствующие научные исследования, например, в области медицины труда, биомеханики/физиологии труда и техники безопасности, только начинаются.

Не каждый экзоскелет является универсальным. Решающими критериями при выборе экзоскелета для конкретной сферы деятельности являются пространство, в котором будет работать человек, вес экзоскелета, радиус движения на рабочем месте и гибкость управления устройством. Однако в современных компаниях, где в любом случае создаются новые производственные площади, экзоскелеты уже являются частью планирования. По мере старения рабочей силы возрастает важность эргономичной рабочей среды. Задача экзоскелета состоит в том, чтобы облегчить работу и предотвратить производственные и людские потери.

Библиографический список

1. Головенчик, А.С. Анализ возможностей применения экзоскелетов в складской логистике / А.С. Головенчик, Е.А. Ящиковская // 78-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета : материалы конф. В 3 ч. Ч. 3, Минск, 10–21 мая 2021 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2021. – С. 84-87.

2. Грановская, А.С. Проблемы развития складской логистики в современном машиностроении и пути их решения / А.С. Грановская, Л.В. Бутор // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. материалов VII Междунар. науч. конф. молодых ученых, Гродно, 12 мая 2023 г. / ГрГУ им. Янки Купалы ; редкол.: А. С. Воронцов (отв. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2023. – с. 285-293.

3. Exoskelett: Die intelligente Lösung zur Minimierung von Arbeitsbelastungen in der Logistik? [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://www.prologistik.com/logistiklexikon/exoskelett/>– Дата доступа: 12.07.2023.

4. Exoskelette: Zu extremer Kraft mit innovativen Roboteranzügen [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://www.hintsteiner-group.com/blog/exoskelette/>– Дата доступа: 13.07.2023.

5. Back Solutions from Ottobock Bionic Exoskeletons [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://ottobockexoskeletons.com/exoskeleton-in-logistics/?lang=en&lang=en> – Дата доступа: 20.03.2023.

6. Exoskelette in Logistik und Produktion [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://logistikknowhow.com/kommissionierung/exoskelette-in-logistik-und-produktion/>– Дата доступа: 12.07.2023.

7. Exoskelett für Baustelle, Produktion und Logistik [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://www.werkzeugforum.de/exoskelett->

fuer-baustelle-produktion-und-logistik/– Дата
доступа: 13.07.2023.

8. Sales value of powered human exoskeleton service robots worldwide from 2017 to 2021, by region [Электронный источник]. – Режим
доступа: <https://www.statista.com/statistics/1019968/powered-human-exoskeleton-service-robotics-sales-value-worldwide/>– Дата
доступа: 11.07.2023.

9. Hold, Philipp. Exoskelette in production und logistik. Grundlagen, Morphologie und Vorgehensweise zur Implementierung / Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold, Fabian Ranz MSc., Fabian Holly BSc – Fraunhofer Austria : TÜV Austria Geschäftsfeld Industry & Energy, 2020. – 40 s.

Поступила в редакцию – 12 июня 2023 г.
Принята в печать – 15 сентября 2023 г.

Bibliography

1. Golovenchik, A.S. Analysis of the possibilities of using exoskeletons in warehouse logistics / A.S. Golovenchik, E.A. Yashchikovskaya // 78th Scientific Conference of Students and Postgraduates of the Belarusian State University: Proceedings of the Conf. At 3 p.m. Part 3, Minsk, May 10–21, 2021 / Belarus. state un-t; editorial board: V. G. Safonov (editor-in-chief) [and others]. - Minsk: BSU, 2021. - S. 84-87.

2. Granovskaya, A.S. Problems of development of warehouse logistics in modern engineering and ways to solve them / A.S. Granovskaya, L.V. Butor // Engineering and economic support of the activities of transport and mechanical engineering: Sat. materials of the VII Intern. scientific conf. young scientists, Grodno, May 12, 2023 / GrGU im. Yankee Kupala; editorial board: A. S. Vorontsov (editor-in-chief) [and others]. - Grodno: GrGU im. Yanka Kupala, 2023. - p. 285-293.

3. Exoskelett: Die intelligente Lösung zur Minimierung von Arbeitsbelastungen in der Logistik? [Electronic source]. – Access mode: <https://www.prologistik.com/logistik-lexikon/exoskelett/> – Access date: 07/12/2023.

4. Exoskelette: Zu extremer Kraft mit innovativen Roboteranzügen [Electronic source]. – Access mode: <https://www.hintsteiner-group.com/blog/exoskelette/> – Access date: 07/13/2023.

5. Back Solutions from Ottobock Bionic Exoskeletons [Electronic source]. – Access mode: <https://ottobockexoskeletons.com/exoskeleton-in-logistics/?lang=en&lang=en> – Access date: 03/20/2023.

6. Exoskelette in Logistik und Produktion [Electronic source]. – Access mode: <https://logistikknowhow.com/kommissionierung/exoskelette-in-logistik-und-produktion/> – Access date: 07/12/2023.

7. Exoskelett für Baustelle, Produktion und Logistik [Electronic source]. – Access mode: <https://www.werkzeugforum.de/exoskelett-fuer-baustelle-produktion-und-logistik/> – Access date: 07/13/2023.

8. Sales value of powered human exoskeleton service robots worldwide from 2017 to 2021, by region [Electronic source]. – Access mode: <https://www.statista.com/statistics/1019968/powered-human-exoskeleton-service-robotics-sales-value-worldwide/> – Access date: 07/11/2023.

9. Hold, Philipp. Exoskelette in production and logistik. Grundlagen, Morphologie und Vorgehensweise zur Implementierung / Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold, Fabian Ranz MSc., Fabian Holly BSc – Fraunhofer Austria : TÜV Austria Geschäftsfeld Industry & Energy, 2020. – 40 p.

Received for publication - June 12, 2023.
Accepted for publication – September 15, 2023.