

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья

УДК 621.865.8

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-3-10

Садовец Владимир Юрьевич^{1*}, Тургенев Илья Александрович¹, Садовец Роман Владимирович²

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

²Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный Исследовательский Университет)

*E-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ЭКЗОСКЕЛЕТУ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ



Информация о статье

Поступила:

30 ноября 2021 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 ноября 2022 г.

Принята к печати:

15 февраля 2023 г.

Опубликована:

09 марта 2023 г.

Ключевые слова:

Профессиональные заболевания, активные экзоскелеты, пассивные экзоскелеты, требования к экзоскелетам на горном предприятии.

Аннотация.

В статье отмечена необходимость уменьшения вредных условий труда, в частности, на горнодобывающих предприятиях. Уменьшение вредных условий отмечается в ряде нормативных документов Российской Федерации. Приведен ряд болезней, связанных с условиями труда рабочих на горнодобывающих предприятиях. Для достижения поставленной цели существует решение в виде использования экзоскелетов. Отмечена общая тенденция развития экзоскелетов. Рассмотрены перспективные виды экзоскелетов без использования источника дополнительной энергии и с используемыми дополнительными источниками энергии. Оценена возможность применения их на горнодобывающих предприятиях для всех категорий рабочих. Проведен анализ преимуществ и недостатков экзоскелетов для использования их в каждой отрасли горной промышленности. Анализ характеристик существующих конструкций экзоскелетов, а также учет сложных условий труда на горнодобывающем предприятии позволил сформулировать требования к разрабатываемой конструкции экзоскелета для подземных и открытых горных работ. На основании материала статьи отмечено, что внедрение использования экзоскелетов при ведении горных работ в перспективе может привести к снижению числа профессиональных заболеваний таких как артроз, остеохондроз, и повышению производительности персонала путем распределения и снижения нагрузки на тело персонала.

Для цитирования: Садовец В.Ю., Тургенев И.А., Садовец Р.В. Разработка требований к экзоскелету для проведения горных работ // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 1 (165). С. 3-10. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-3-10

С 1 марта 2022 года вступили в силу изменения Трудового кодекса Российской Федерации (ТК РФ). Законом № 311-ФЗ изменена структура раздела X ТК РФ «Охрана труда». В частности, добавились основные принципы обеспечения безопасности труда.

Два основных принципа обеспечения безопасности труда сформулированы в новой ст. 209.1 ТК РФ [1]:

1) предупреждение и профилактика опасностей. Работодатель должен систематически осуществлять мероприятия по улучшению условий труда, включая ликвидацию или снижение уровней профессиональных рисков или недопущение повышения их уровней с соблюдением приоритетности реализации таких мероприятий.

2) минимизация повреждения здоровья работников. Работодатель должен принять меры, обеспечивающие постоянную готовность к локализации (минимизации) и ликвидации последствий профессиональных рисков.

Профессиональным рискам особенно подвержены работники опасных производственных объектов. Опасный производственный объект (ОПО) – это предприятие или их цеха, участки, площадки, а также иные производственные объекты, имеющие признаки опасных факторов, идентифицируемых по данному закону. К ОПО относятся предприятия по добыче полезных ископаемых.

При проведении горных работ для добычи полезных ископаемых, как открытым, так и подземным способами часто при выполнении технологических операций требуется установка и перемещение крупногабаритных и тяжелых изделий с ис-



Рис. 1. Военный экзоскелет HULC
Fig. 1. HULC military exoskeleton

пользованием ручного труда. Физический труд человека применяется как при проведении основных технологических операций горных работ, так и на вспомогательных. Это приводит не только к риску получения производственных травм и несчастных случаев, но и к профессиональным заболеваниям [2]. По статистике каждый шестой случай возникновения профессионального заболевания в России регистрируется у людей, работающих в горнодобывающей отрасли.

Программа развития угольной промышленности РФ на период до 2030 г. предусматривает сокращение использование человеческого труда во вредных условиях производства до 40%.

Таблица 1. Технические характеристики военного экзоскелета HULC

Table 1. Specifications for the HULC military exoskeleton

Свойство	Значение
Вспомогательная сила	90 кг
Вес	Около 24 кг
Скорость передвижения	Около 8 км/ч

В настоящее время с увеличением объемов добычи полезных ископаемых возрастают требования к безопасности ведения горных работ, а темпы внедрения механизации и автоматизации технологических работ остаются на прежнем уровне [3-6]. Вследствие этого увеличивается рост производственного травматизма и развития профессиональных заболеваний у людей, занятых в горнодобывающей промышленности.

У рабочих горных предприятий могут возникать множество профессиональных болезней, таких как радикулопатия, артроз, остеохондроз. Болезни обусловлены тяжелыми физическими нагрузками. Одно из решений для снижения физических нагрузок на работников горных предприятий в процессе добычи полезных ископаемых, а, следовательно, и снижения процента роста профессиональных заболеваний – это применение экзоскелетов для выполнения операций технологического цикла.

Экзоскелет предназначен для воссоздания потерянных функций человека, увеличения физической силы оператора и возможных движений за счет дополнительной внешней конструкции и приводов. В дополнение экзоскелет позволяет перераспределять нагрузки при транспортировке груза из дополнительной внешней конструкции в опорную площадку стопы экзоскелета [7, 8].

Данное устройство повторяет биомеханику человека, позволяя передвигаться без значительных стеснений движений. Предполагается, что данные функции будут способствовать снижению профессиональных заболеваний у работников горной промышленности.

Экзоскелет только набирает популярность. Уже существует множество опытных и серийных производств для различных сфер промышленности и назначения. В данный момент экзоскелеты уже используются в таких сферах деятельности человека, как военная, строительная, медицинская, промышленная и т.д. [9]

Технические характеристики военного экзоскелета HULC представлены в Таблице 1.

Внешний вид военного экзоскелета HULC компании Lockheed Martin представлен на Рис. 1, а его основные технические характеристики – в Таблице 1.



Рис. 2. Пассивный экзоскелет SuitX ShoulderX
Fig. 2. SuitX ShoulderX passive exoskeleton

Разработкой собственных экзоскелетов занимаются многие ведущие страны, такие как Россия, (Exorise, EvoHeaver, PocTex), США (Lockheed Martin), Нидерланды (Skelex), Германия (Ottobock), Италия (Comau), Япония (Archelis).

В данный момент есть общая тенденция в развитии экзоскелетов:

- уменьшение веса комплекта;
- уменьшение габаритов комплекта;
- установка систем управления и адаптации экзоскелета под различные режимы работы;
- установки систем анализа состояния оператора;
- уменьшение себестоимости комплекта.

По классификации профессора Воробьева А.А. есть несколько признаков, по которым можно классифицировать экзоскелеты.

1. По источнику энергии и принципу работы привода:

- пассивные экзоскелеты;
- активные экзоскелеты;

2. По точке приложения (локализации):

- экзоскелет верхних конечностей;
- экзоскелет нижних конечностей;
- экзоскелет-костюм.

3. По весу конструкции:

- легкие – до 5 кг;
- средней весовой категории – от 5 до 30 кг;
- тяжелые – более 30 кг.

4. По количеству выполняемых функций:

- экзоскелеты простого назначения;
- экзоскелеты двойного назначения;
- экзоскелеты с расширенными функциями.

5. По мобильности:

- мобильные;
- фиксированные (стационарные).

Таблица 2. Технические характеристики пассивного экзоскелета SuitX ShoulderX
Table 2. Passive Exoskeleton Specifications SuitX ShoulderX

Свойство	Значение
Вспомогательная сила	1,4 ÷ 5,5 кг на руку
Вес	3,17 кг
Поддержка тела	Поднятые руки
Распределение давления по частям тела	Поднятые руки, плечи, бедра.
Рекомендуемый уровень задачи	Работа от груди до вытянутых рук

Пассивные экзоскелеты (Рис. 2) – это комплекты оборудования, которые не требуют дополнительного источника энергии для функционирования, но есть комплектации с системами контроля положения для создания полуактивного экзоскелета. Принцип действия пассивных экзоскелетов базируется на основных принципах механики и основан на применении противовесов и рычагов. Компонентные решения конструкции пассивного экзоскелета разрабатываются с учетом перераспределения действующей нагрузки на части тела. Использование подобных конструкций экзоскелетов снижает нагрузку на опорно-двигательный аппарат человека в среднем на 30%. Пассивные экзоскелеты крепятся с помощью систем ремней с пряжками и «липучек». Один из представителей пассивного экзоскелета компании SuitX ShoulderX показан на Рис. 2, а его характеристики – в Таблице 2 [10, 11].

В настоящее время существует два типа пассивных экзоскелетов:

1. Персональные вспомогательные подъемные устройства (PLAD). Дополнительная внешняя конструкция распределяет нагрузки между позвоночником и другими конечностями, что позволяет снизить нагрузочные центры [12].

Они могут выполняться для 3 основных точек приложения и в общем составляют общий костюм.

Принцип работы всех персональных вспомогательных подъемных устройств схож и заключается в следующем. Груз давит на плечевые блоки, через них нагрузка передается на заблокированный узел спинного кардана и далее на поясничный отдел. В поясничном узле нагрузка распределяется на две нижние конечности в пропорции, зависящей от наклона корпуса вправо или влево. От нижних конечностей нагрузка передается на опорные площадки, интегрированные в обувь, и уже через подошву взаимодействует с поверхностью, на которой стоит человек [12].

2. Устройства возврата без необходимости изгиба (BNDR) (Рис. 3). Внешняя конструкция такого



Рис. 3. Пассивный экзоскелет BNDR
Fig. 3. BNDR passive exoskeleton



Рис. 4. Активный роботизированный экзоскелет Sarcos Guardian XO
Fig. 4. Sarcos Guardian XO active robotic exoskeleton

экзоскелета покрывает туловище и таз, а также крепится на бедра, что позволяет увеличить точки крепления конструкции.

Таблица 3. Достоинства и недостатки пассивных экзоскелетов

Table 3. Advantages and disadvantages of passive exoskeletons

Достоинства	Недостатки
Простая конструкция, имеющая небольшие габариты и вес	Не разгружает опорно-двигательный аппарат человека от нагрузки
Дешевле в изготовлении и эксплуатации	Максимальные нагрузки зависят от физической подготовки человека
Конструкция не требует дополнительной внешней энергии большой емкости для работы	Невысокая производительность
Направлены на разгрузку различных отделов позвоночника и конечностей человека	
Есть потенциальная возможность использовать при работе во взрывоопасных средах	

Данный вид экзоскелетов состоит из рамы, которая накапливает упругую энергию при движениях и в дальнейшем используется для удержания данного положения или для уменьшения затрачиваемой энергии оператора на подъем груза. Достоинства и недостатки таких конструкций экзоскелетов представлены в Таблице 3.

Активные экзоскелеты – это комбинация нескольких экзоскелетов, зачастую это костюмы, при работе которых требуется дополнительная энергия. Принцип работы основан на преобразовании электрической энергии в механическую или другие в зависимости от требуемых параметров и мест эксплуатации. Такие экзоскелеты оснащены приводами, которые получают энергию от внешних источников питания, закрепленных на внешней конструкции.

Такие экзоскелеты подходят для выполнения работ по перемещению крупногабаритных или тяжелых конструкций или предметов.

Пример активного роботизированного экзоскелета **Sarcos Guardian XO** американской компании Sarcos Robotics представлен на Рис. 4, а его технические характеристики – в Таблице 4 [13].

Достоинства и недостатки таких конструкций экзоскелетов представлены в Таблице 5.

Анализ характеристик существующих конструкций экзоскелетов, а также учет сложных условий труда на горном предприятии позволяет сформулировать требования к разрабатываемой

Таблица 4. Технические характеристики активного экзоскелета SuitX ShoulderX
Table 4. Specifications for the SuitX SholderX active exoskeleton

Свойство	Значение
Вспомогательная сила	90 кг
Вес	Около 70 кг
Соотношение усиления человека	1 к 20
Скорость передвижения	1,3 м/с
Время работы на 1 заряде	До 2 часов

Таблица 5. Достоинства и недостатки активных экзоскелетов
Table 5. Advantages and disadvantages of active exoskeletons

Достоинства	Недостатки
Может разгрузить полностью человека от нагрузки	Сложная конструкция и значительный вес
Большая производительность (возможность переносить грузы массой больше рабочего)	Имеет габариты больше, чем у пассивных экзоскелетов
	Конструкция требует дополнительной внешней энергии большой емкости для работы
	Требуется дополнительное дорогостоящее оборудование для зарядки экзоскелета или его батарей
	Дороже в производстве и эксплуатации
	Не могут работать во взрывоопасных средах
	Зачастую у них отсутствует телескопичность и они имеют ограниченные параметры телосложения

конструкции экзоскелета для подземных горных работ.

Экзоскелет для подземных горных работ должен иметь:

1. Минимально возможные габариты.

2. Максимальную автономность.
3. Взрывобезопасное исполнение.
4. Минимально возможный вес.
5. Телескопичность элементов конструкции.
6. Мобильность.
7. Высокую защиту от механических повреждений.

8. Высокую коррозионную стойкость.

9. Низкую стоимость комплекта.

При добыче полезных ископаемых подземным способом лучше всего подходит конструкция мобильного пассивного экзоскелета-костюма легкой или средней весовой конструкции.

Для открытых горных работ можно рассмотреть возможность применения экзоскелетов как с силовым оборудованием, так и без него, и использовать их для различных целей.

По выполняемым работам на горнодобывающем предприятии можно выделить следующие группы:

– для обслуживающего технику персонала, помощников машинистов, слесарей и т.д. возможно использовать экзоскелеты с силовым оборудованием, так как в обязанности работников входит ручное транспортирование тяжелых конструкций и их элементов.

– для управляющего персонала низшего звена, мастеров участков, маркшейдеров, машинистов, водителей карьерных самосвалов и т.д. можно использовать экзоскелеты без силового оборудования, так как в их обязанности не входит тяжелая работа и постоянные передвижения или у них сидячий режим работы, и такой подход снизит общую стоимость комплектов для укомплектования всего рабочего состава предприятия.

На основании этого возможно сформулировать требования к экзоскелетам для обслуживающего персонала на открытых горных работах:

1. Минимально возможные габариты.
2. Создание станции зарядки для батарей экзоскелета.
3. Высокая грузоподъемность.
4. Минимально возможный вес.
5. Высокая энергоэффективность силового оборудования для обеспечения максимального времени работы на 1 заряде батареи.

6. Высокая защита от механических повреждений.

7. Быстрая зарядка/заправка/смена энергетических модулей.

Экзоскелеты для управляющего персонала должны соответствовать следующим требованиям:

1. Минимально возможные габариты.
2. Максимальная автономность.
3. Минимально возможный вес.
4. Телескопичность – возможность одеть экзоскелет на работников разного телосложения.
5. Высокая мобильность.
6. Высокая защита от механических повреждений.
7. Низкая стоимость комплекта.

Выводы.

Для подземных горных работ наиболее подходящими являются легкие, мобильные, пассивные

экзоскелеты – костюмы с расширенным функционалом, выполненные из композитных материалов и имеющие высокую механическую прочность и телескопическую конструкцию.

Для обслуживающего персонала открытых горных работ подходят активные силовые экзоскелеты – костюмы с внутренним источником энергии и расширенными функциями средней весовой категории.

Для управляющего персонала открытых горных работ подходят легкие, мобильные, пассивные экзоскелеты – костюмы с расширенным функционалом, имеющие высокую механическую прочность и телескопическую конструкцию.

Из выше предложенного материала можно сделать вывод о том, что введение ношения экзоскелетов на горных работах в перспективе может привести к снижению числа профессиональных заболеваний такие как, артроз, остеохондроз, и повышению производительности персонала путем распределения и снижения нагрузки на тело персонала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые требования по охране труда с 2022 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.audit.ru/articles/personnel/a134855/1043131.html> (дата обращения 20.10.2021).
2. Дубинкин Д. М., Пашков Д. А. Условия труда диспетчера автономного карьерного самосвала // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Кемерово, 23–25 ноября 2021 года. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. С. 207-2079.
3. Аксенов В. В., Магазов С. В., Хорешок А. А. [и др.] Центр испытаний проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 4(150). С. 65-70. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-4-65-70.
4. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Бегляков В. Ю., Пашков Д. А. Геодинамика проходческих подземных аппаратов. Геосреда, форма и поверхности // Горное оборудование и электромеха-

ника. 2021. № 3(155). С. 39-47. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47.

5. Li, S., Shi, Y., Hu, L., & Sun, Z. A generalized model predictive control method for series elastic actuator driven exoskeleton robots. *Computers and Electrical Engineering*, 94. 2021. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2021.107328

6. Medrano R. L., Thomas G. C., & Rouse E. J. Can humans perceive the metabolic benefit provided by augmentative exoskeletons? *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1). 2022. DOI: 10.1186/s12984-022-01002-w.

7. Dežman M., Asfour T., Ude A., Gams A. Mechanical design and friction modelling of a cable-driven upper-limb exoskeleton. *Mechanism and Machine Theory*, 171. 2022. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2022.104746

8. Fatka O., Budil P., Zicha, O. Exoskeletal and eye repair in *dalmanitina socialis* (trilobita): An example of blastemal regeneration in the ordovician? *International Journal of Paleopathology*. 2022. 34. 113-121. DOI: 10.1016/j.ijpp.2021.05.011

9. Экзоскелет [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82> (дата обращения 05.02.2022)

10. Экзоскелеты: принцип действия, конструкция, применение [Электронный ресурс]. URL: <https://top3dshop.ru/blog/exoskeleton-explained-review.html> (дата обращения 05.08.2021).

11. Экзоскелет SuitX ShoulderX [Электронный ресурс]. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/ekzoskelet-suitx-shoulderx> (дата обращения 17.08.2021).

12. Экзоскелеты не костюм из будущего, а необходимость. [Электронный ресурс]. URL: <https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2020/02/28/ekzoskelet-1420-ne-kostyum-iz-buduschego-a-neobhodimost.aspx> (дата обращения 31.08.2021).

13. Активные роботизированные экзоскелеты Sarcos Guardian XO [Электронный ресурс]. URL: https://logist.today/dnevnik_logista/2019-12-13/v-ssha-predstavili-robotizirovannyj-jekzoskelet-dlja-perenosatjzhelyh-gruzov (дата обращения 25.08.2021).

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Садовец Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Тургенев Илья Александрович, студент гр. АГС-171, техник научного центра «Цифровые технологии», Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Садовец Роман Владимирович, студент гр. См7-116, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный Исследовательский Университет), (105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1)

Заявленный вклад авторов:

Садовец В.Ю. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных выводы; написание текста.
Садовец Р.В. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.
Тургенев И.А. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-3-10

Vladimir Yu. Sadovets^{1,*}, Илья А. Тургенев¹, Roman V. Sadovets²

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

²Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

*E-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

DEVELOPING REQUIREMENTS FOR AN EXOSKELETON FOR MINING OPERATIONS



Article info

Received:

30 November 2021

Accepted for publication:

01 November 2022

Accepted:

15 February 2023

Published:

09 March 2023

Keywords: Occupational diseases, active exoskeletons, passive exoskeletons, requirements to exoskeletons at mining enterprises.

Abstract.

The article notes the need to reduce harmful working conditions, in particular at mining enterprises. The reduction of harmful conditions is noted in a number of regulatory documents of the Russian Federation. A number of diseases related to the working conditions of workers at mining enterprises are given. To achieve this goal, there is a solution in the form of using exoskeletons. The general trend of the development of exoskeletons is noted. Promising types of exoskeletons without the use of an additional energy source and with additional energy sources used are considered. The possibility of their application at mining enterprises for all categories of workers is evaluated. The advantages and disadvantages of exoskeletons for their use in each branch of the mining industry are analyzed. The analysis of the characteristics of existing exoskeleton designs as well as the consideration of difficult working conditions at the mining enterprise allowed us to formulate requirements for the developed exoskeleton design for underground and open-pit mining. Based on the material of the article, it is noted that the introduction of the use of exoskeletons in the mining operations in the future can lead to a decrease in the number of occupational diseases such as osteoarthritis, osteochondrosis, and to an increase in staff productivity by distributing and reducing the load on the body of a worker.

For citation: Sadovets V.Yu., Turgenev I.A., Sadovets R.V. Developing requirements for an exoskeleton for mining operations. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2023; 1(165):3-10 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-3-10

REFERENCES

1. New requirements for labor protection from 2022 [Electronic resource]. URL: <https://www.audit.ru/articles/personnel/a134855/1043131.html> (date of appeal 20.10.2021).
2. Dubinkin D.M., Pashkov D.A. Working conditions of the dispatcher of an autonomous mining dump truck. *Life safety of enterprises in industrially developed regions: COLLECTION OF MATERIALS OF the XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC and PRACTICAL CONFERENCE, Kemerovo, November 23-25 2021.* -

Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev. 2021. Pp. 207-2079.

4. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Koperchuk A.V. [et al.]. Creation of tunneling underground apparatuses interacting with the geo-environment. Areas of research. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 2(148):3-12. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-3-12.

5. Aksenov V.V., Horeshok A.A., Beglyakov V.Yu., Pashkov D.A. Geodynamics of tunneling underground mines. *Geomedia, form and surfaces. Min-*

ing equipment and electromechanics. 2021; 3(155):39-47. DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47.

7. Li S., Shi Y., Hu L., Sun, Z. A generalized model predictive control method for series elastic actuator driven exoskeleton robots. *Computers and Electrical Engineering*. 2021. 94. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2021.107328

8. Medrano R.L., Thomas G.C., Rouse, E.J. Can humans perceive the metabolic benefit provided by augmentative exoskeletons? *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2022. 19(1) DOI: 10.1186/s12984-022-01002-w.

9. Dežman M., Asfour T., Ude A., Gams, A. Mechanical design and friction modelling of a cable-driven upper-limb exoskeleton. *Mechanism and Machine Theory*. 2022. 171 DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2022.104746

10. Fatka O., Budil P., Zicha O. Exo-skeletal and eye repair in *dalmanitina socialis* (tri-lobita): An example of blastemal regeneration in the ordovician? *International Journal of Paleopathology*. 2021; 34:113-121. DOI: 10.1016/j.ijpp.2021.05.011

11. Exoskeleton [Electronic resource]. URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%B7%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%82> (accessed 05.02.2022)

12. Exoskeletons: principle of operation, design, application [Electronic resource]. URL:<https://top3dshop.ru/blog/exoskeleton-explained-review.html> (accessed 05.08.2021).

13. SuitX ShoulderX exoskeleton [Electronic resource]. URL:<http://robotrends.ru/robopedia/ekzoskelet-suitx-shoulderx> (accessed 17.08.2021).

14. Exoskeletons are not a suit from the future, but a necessity. [electronic resource]. URL:<https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2020/02/28/ekzoskelet-1420-ne-kostyum-iz-budushego-a-neobhodimost.aspx> (accessed 31.08.2021).

15. Active robotic exoskeletons Sarcos Guardian XO [Electronic resource]. URL: https://logist.today/dnevnik_logista/2019-12-13/v-ssha-predstavili-robotizirovannyj-jekzoskelet-dlja-perenosatjzhelyh-gruzov (accessed 25.08.2021).

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Vladimir Yu. Sadovets, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russia)

Ilya A. Turgenev, student, gr. AGs-171, technician of the scientific center "Digital technologies", T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russia)

Roman V. Sadovets, student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), (105005, Moscow, st. second Baumanskaya, 5 str.1.)

Contribution of the authors:

Vladimir Yu. Sadovets – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Ilya A. Turgenev – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Roman V. Sadovets – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Author have read and approved the final manuscript.

