

ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЭКСОСКЕЛЕТНЫХ УСТРОЙСТВ

А. В. Ворожьёва¹, А. В. Месропян²

¹ 89174943516@mail.ru, ² avm_74@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Рассматривается классификация экзоскелетных устройств и их актуальность на основе данных Global Markets Insight и Markets&Markets. В ходе анализа экзоскелетных устройств установлены перспективные направления и рассмотрен патент РФ №2565101 от 09.12.2014.

Ключевые слова: экзоскелетные устройства; пневмомускулы; пневмодвигатели; абилитация маломобильных групп граждан; электропневматическая система управления.

Широкое распространение получили экзоскелетные устройства, предназначенные для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и амплитуды движений разрабатываемых суставов за счет внешнего каркаса и приводящих частей [1].

Экзоскелет повторяет биомеханику человека для пропорционального увеличения развиваемых усилий опорно-двигательного аппарата пользователя. Интенсификация исследовательских работ в этом направлении в сочетании с современными достиже-

ниями в области искусственного интеллекта, нейрокомпьютерных технологий и создания перспективных образцов источников питания делает это направление весьма популярным и создает все предпосылки для обеспечения синергетического эффекта от реализации и внедрения инноваций в области создания интегрированных человеко-машинных комплексов [2].

На основе данных исследований Global Markets Insight и Markets&Markets объем поставок экзоскелетов к 2024 году превысит 86000 единиц (рис. 1) [3].

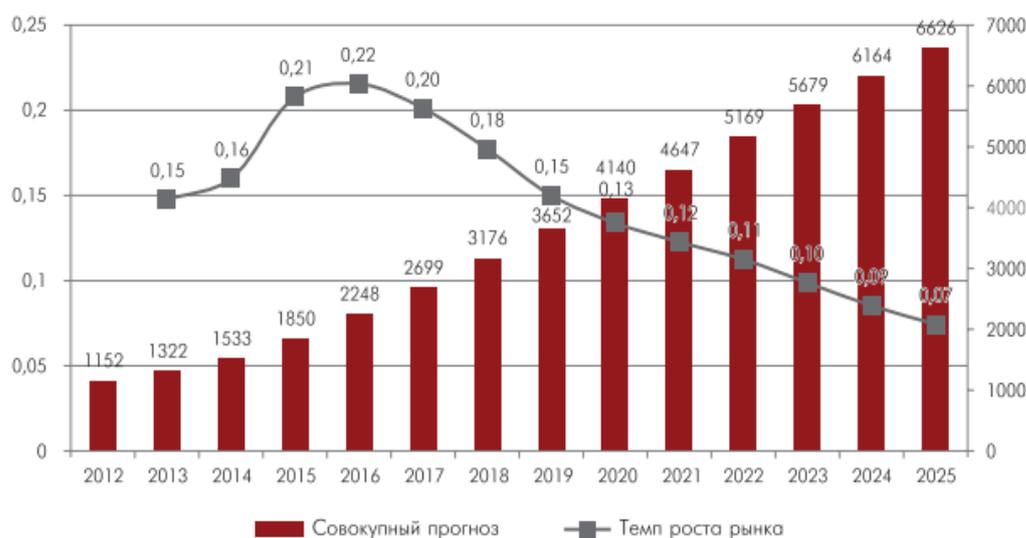


Рис. 1. Прогноз мирового рынка роботизированных хирургических систем [4]

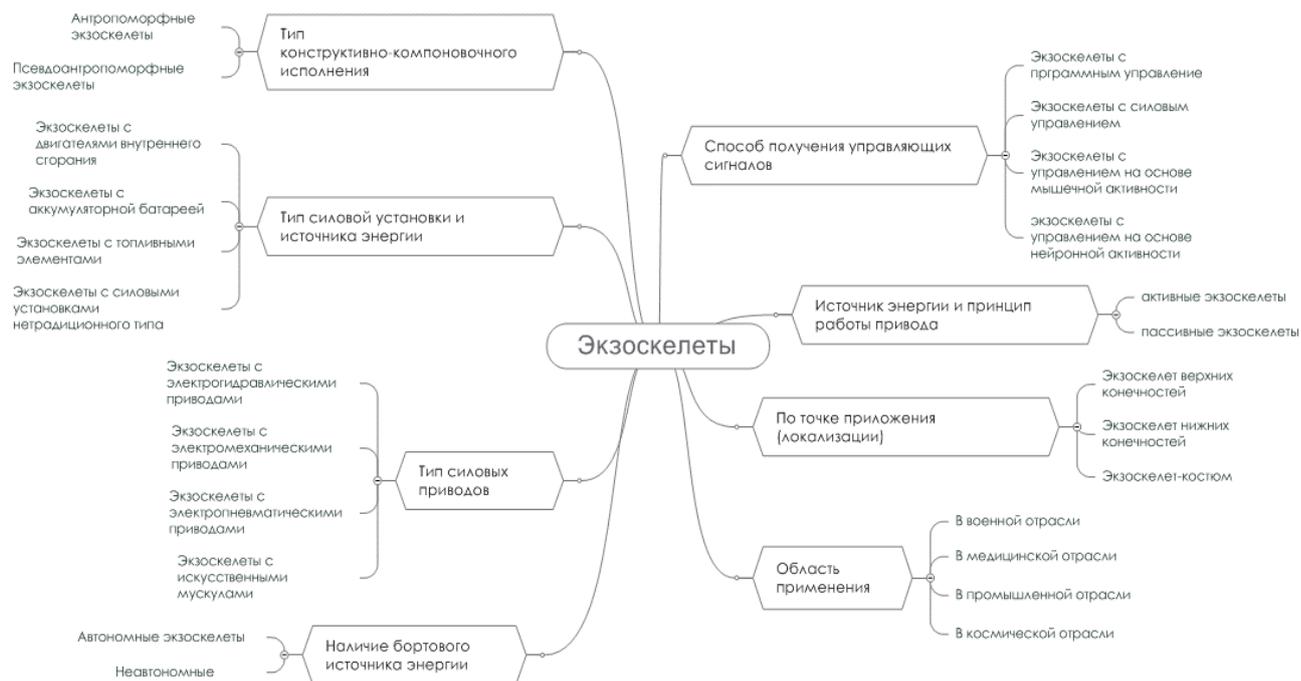


Рис. 2. Классификация экзоскелетов

Согласно исследованию «Реабилитационные роботы: рынок акций, стратегии и прогнозы по всему миру с 2015 по 2021 годы» от Wintergreen Research, опубликованному в Research and Markets, объем рынка медицинских реабилитационных роботов и механизмов в 2014 г. составлял \$203,3 млн и по прогнозам к 2021 г. достигнет прибыли в \$1,1 млрд (рис. 1) [4].

По данным международного индекса Web of Science Core Collection, объем публикаций в области исследования и разработки экзоскелетных устройств экспоненциально растет (рис. 4), что свидетельствует об интенсификации работ в этой области в ведущих экономиках мира

По количеству патентов лидирующими странами являются США, Китай и Республика Корея, в то время как Россия находится на 11-м месте по количеству патентов [4], полученных резидентами страны, при этом доля национальных патентов составляет всего 1% от общемировой по данному направлению.

Отчасти это объясняется сравнительно малым периодом активных разработок

в этой области и недостаточным стимулированием разработок институтами развития на федеральном уровне, другим фактором, определяющим текущее отставание России в этой области, является отсутствие свободного доступа, в условиях санкционного давления, к высоким технологиям стран-лидеров, обладающих, к тому же, весомым заделом в области робототехники, нейронных сетей и искусственного интеллекта.

Формирование научно-технического задела в этой области для научно-технологического прорыва неразрывно связано с обобщением, систематизацией и структуризацией информации по экзоскелетной тематике, которая в настоящее время характеризуется довольно большим разнообразием схемных компоновочных решений экзоскелетных устройств, что, в свою очередь, определяется возлагаемым на экзоскелет функционалом, особенностями эксплуатации и требуемыми характеристиками на статических и динамических режимах работы.

Классификация экзоскелетов [5–12] представлена на рис. 2.

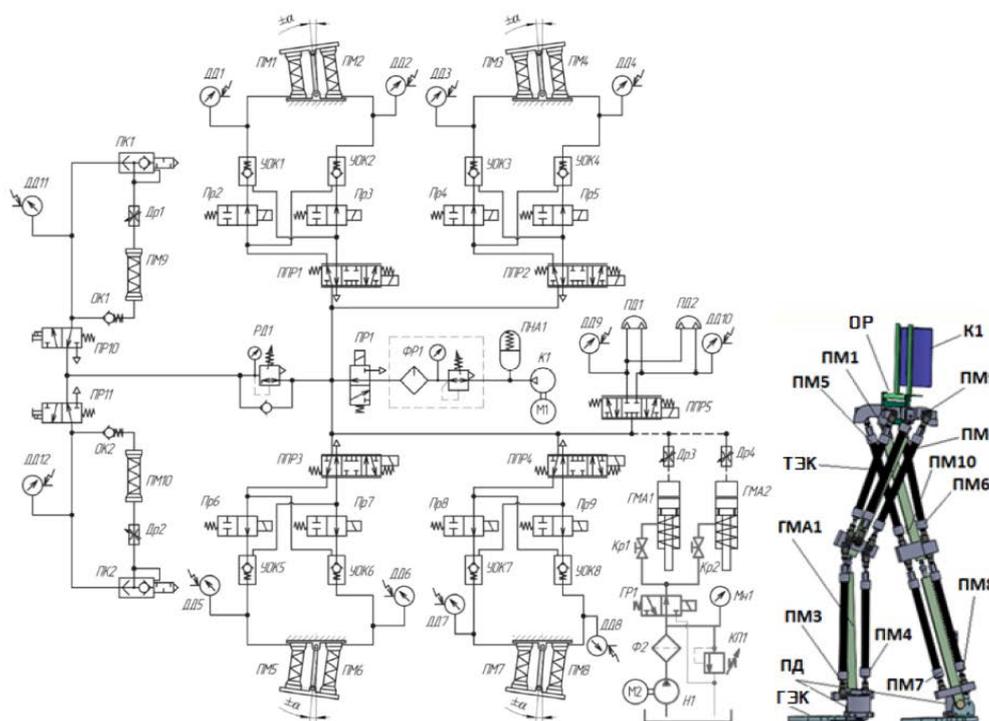


Рис. 3. Принципиальная гидропневматическая и компоновочная схемы экзоскелета

В ходе анализа конструктивных и компоновочных схемных решений экзоскелетных устройств установлено, что одним из наиболее перспективных направлений являются медицинские экзоскелеты для реабилитации и абилитации маломобильных групп граждан с пневмомускулами, поскольку они обеспечивают более линейные, по сравнению с пневмоцилиндрами, силовые характеристики и отличаются малыми габаритами и весом.

Одним из таких экзоскелетных устройств является экзоскелет с электропневматической системой управления (рис. 3) (патент РФ №2565101 от 09.12.2014). Отличительными особенностями рассматриваемого схемного решения являются применение «мягких» бескаркасных пневмодвигателей и пропорционального электропневматического управления, что позволяет увеличить количество рабочих режимов устройства, обеспечить улучшенные динамические характеристики механико-приводной части ЭС, повысив качество переходных процессов (быстродействие, перегулирование, нечувствительность и т.д.), а также снизить массогабаритные

параметры и добиться требуемого уровня безопасности для человека.

Гидропневматическая система ЭС включает в себя следующие подсистемы: систему стабилизации движения, систему передвижения, систему поворота ЭС вокруг центральной оси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам обзора научно-технической литературы и патентных источников были определены критерии и проведена классификация экзоскелетных устройств по следующим признакам: способ получения управляющих сигналов, наличие бортового источника, точка приложения, тип конструктивно-компоновочного исполнения, источника энергии и принцип работы привода, тип силовой установки, область применения, тип привода.

В ходе анализа конструктивных и компоновочных схемных решений экзоскелетных устройств установлено, что наиболее перспективными являются активные, автономные, псевдоантропоморфные экзоскелеты нижних конечностей с управ-

лением на основе нейронной активности, поскольку они имеют ряд преимуществ перед остальными экзоскелетными устройствами.

Таким образом, развитие теоретических и экспериментальных исследований в области создания и совершенствования псевдо-антропоморфных экзоскелетных устройств с управлением на основе нейронной активности является важной научной задачей, имеющей важные прикладные значения для развития постиндустриального общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Экзоскелет** // Википедия. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Экзоскелет> (дата обращения 13.11.2018). [Exoskeleton// Wikipedia (2018, Nov. 13) [Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Exoskeleton>]
2. **Verma V., Agarwal A.** NoSQL databases [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/exoskeleton-market> (дата обращения 15.11.2018). [V. Verma, A. Agarwal (2018, Nov. 15) *NoSQL databases* [Online]. Available: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/exoskeleton-market>]
3. **Роботоассистирующая** хирургия и роботы-экзоскелеты [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/80/226/20267.php> (дата обращения 15.11.2018). [Robot assisted surgery and exoskeleton robots (2018, Nov. 15) *NoSQL databases* [Online]. Available: <https://pandia.ru/text/80/226/20267.php>]
4. **Бедняк С. Г., Еремина О. С.** Роботизированные экзоскелеты HAL (почувствуй себя HAL'ком) // Сборник научных трудов Sworld.— 2014,—Т.2, №1.—С. 49-51. [S. Bednyak, O. Eremina “ HAL robotic exoskeletons (feel yourself like a hulk)” (in Russian) in collection of scientific papers Sworld.— 2014,—Т.2, №1.—С. 49-51.]
5. **HULC.** Lockheed Martin // Retrieved/ 2011-08-02
6. **Rahman T., Sample W., Jayakumar S., King M. M., Wee J.Y., Seliktar R., Alexander M., Scavina M., Clark A.** Passive exoskeletons for assisting limb movement//J Rehabil Res Dev.—2006.—Aug.-Se: 43(5): 583-590
7. **Попов А.** EXO-UL7. Подробное описание проекта. NoSQL databases [Электронный ресурс]. URL: <http://myexs.ru/2012/02/ехо-ul7-подробное-описание-проекта/> (дата обращения 15.11.2018). [A. Popov “EXO-UL7. Detailed description of the project”. (2018, Nov. 15) *NoSQL databases* [Online]. Available: <http://myexs.ru/2012/02/ехо-ul7-подробное-описание-проекта/>]
8. **PHOENIX** Medical Exoskeleton [Электронный ресурс]. URL: <https://www.suitx.com/phoenix-medical-exoskeleton> (дата обращения 15.11.2018). [**PHOENIX** Medical Exoskeleton (2018, Nov. 15) *NoSQL databases* [Online]. Available: <https://www.suitx.com/phoenix-medical-exoskeleton>]
9. **Юфев С.** Экзоскелет XOS 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://topwar.ru/19303-ekzoskelety-i-umnaya-ekipirovka.html> (дата обращения 15.11.2018). [S. Yuferev “Exoskeleton XOS 2” (2018, Nov. 15) *NoSQL databases* [Online]. Available: <https://topwar.ru/19303-ekzoskelety-i-umnaya-ekipirovka.html>]

umnaia-ekipirovka.html]10. More on the perseus exoskeleton concept. [Электронный ресурс]. URL: <http://soldiersystems.net/2014/02/20/perseus-exoskeleton-concept/> (дата обращения 15.11.2018).

11. **Конрад А.** Экзоскелет на искусственных мышцах [Электронный ресурс]. URL: <https://quibll.com/tech/ekzoskelet-na-iskusstvennyh-myshtsah/17792/> (дата обращения 15.11.2018). [A. Conrad “Artificial Muscle Exoskeleton”. (2018, Nov. 15) *NoSQL databases* [Online]. Available: <https://quibll.com/tech/ekzoskelet-na-iskusstvennyh-myshtsah/17792/>]

12. **Au S.K., Herr H.** Powered ankle-foot prosthesis // IEEE Robotics & Automation Mag-azine, 2008. Vol. 15, Iss. 3. pp. 52-59. DOI: 10.1109/MRA.2008.927697

ОБ АВТОРАХ

ВОРОБЬЕВА Анастасия Валерьевна, магистрант 1-го курса каф. ПГМ. Дипл. бакалавр по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительного производства» (УГАТУ, 2018).

МЕСРОПЯН Арсен Владимирович, проф. каф. прикл. гидромеханики. Дипл инженер-механик (УГАТУ, 1996). Д-р техн. наук по гидромашинам и гидропневмоагрегатам (УГАТУ 2010). Иссл. в обл. гидроприводов систем управления ЛА и гидрофицированных систем испытаний и вскрытия нефтеносных пластов.

METADATA

Title: Exoskeleton. Classification and development prospects

Authors: A. V. Vorobyeva¹, A. V. Mesropyan²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹89174943516@mail.ru, ²avm_74@mail.ru

Language: Russian

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 26-29, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The classification of exoskeleton devices is considered, taking into account the purpose, the characteristic features of principal, design and circuit design. The research data from organizations such as Global Markets Insight, Markets & Markets, Web of the Core Collection, and Wintergreen Research.

Key words: classification, exoskeleton devices, exoskeletons, medicine, pneumo-muscles, pseudo-anthropomorphic scheme, impaired locomotor system.

About authors:

VOROBYEVA, Anastasiya Valerievna, undergraduate 1st course of the same department. Bachelor of arts in design and technological support for machine-building production (USATU, 2018).

MESROPYAN, Arsen Vladimirovich, Professor of Applied Hydromechanics. Graduated Mechanical Engineer (USATU, 1996). Doctor of Technical Sciences in Hydromachines and Hydropneumatic Units (USATU 2010). Ex. in the region hydraulic actuators of aircraft control systems and hydraulic test systems and the opening of oil-bearing formations.