

УДК 621.85.05-034

Б. Г. Шахазизян, аспирант кафедры механики и машиноведения.
Национальный политехнический университет Армении, Ереван, Армения.
Тел./Факс: +374 (93) 822288; E-mail: bshahaziz@yahoo.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ НАДЕВАЕМЫХ АССИСТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И МЕТОДОВ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В статье приведены общие сведения об ассистирующих устройствах двигательных функций человека: ортезах и экзоскелетонах их сравнительный анализ, статически уравновешенных одеваемых ассистирующих устройств для ходьбы и приседания человека, указаны их преимущества, недостатки и перспективы усовершенствования. Представлен обзор по классификации, эволюции и последним разработкам реабилитационной и вспомогательной робототехники.

Ключевые слова: ассистирующее устройство, реабилитационное устройство, экзоскелетон, ортез, статическое уравновешивание, динамическое моделирование.

В. Н. Shahazizyan

COMPARATIVE ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF SUPPORTING ASSISTANT DEVICES AND METHODS OF THEIR MODELING AND DESIGN

Provides general information about the assisting devices of human motor functions: orthoses and exoskeletons and a comparative analysis of statically balanced clothing assisting devices for walking and squatting, their advantages, disadvantages and prospects for improvement. A review of methods for the classification, evolution and latest developments of rehabilitation and auxiliary robotics is presented.

Keywords: assistance device, rehabilitation device, exoskeleton, orthosis, static balancing, dynamic modeling.

1. Введение

Реабилитационные и вспомогательные роботы основаны на силовых экзоскелетонах (также известных как силовая броня, силовой костюм, экзофрейм, жесткий костюм или экзокостюм). Это носимые мобильные машины, приводимые в действие системой электродвигателей, пневматики, рычагов, гидравлики или комбинации технологий, обеспечивающие движение конечностей с повышенной силой и выносливостью.

Ортез (греч. ὀρθός - прямой, равный) - медицинское приспособление, предназначенное для изменения структурных и функциональных характеристик нервно-мышечной и скелетной системы: разгрузки, фиксации, активизации и коррекции функций повреждённого сустава или конечности. Ортезы могут применяться также для: управления, направления, ограничения и/или обездвиживания конечности, сустава или части тела по определённой причине; ограничения подвижности в заданном направлении; помощи движению в целом; уменьшения с определённой целью силы, прикладываемой ногой для переноса веса тела; помощи при реабилитации от трещин костей после снятия гипса; коррекции формы и/или функции организма, с целью облегчения передвижения или уменьшения боли. Область разработки и применения ортезов как медицинское направление сочетает в себе знания анатомии и физиологии, патофизиологии, биомеханики и инжиниринга.

Экзоскелетон (от греч. ἔξω - внешний и σκελετός - скелет) - это мобильная, носимая, роботизированная, электрифицированная или механизированная (меха-

тронная) структура, разработанная для компенсации (восполнения утраченных) физических возможностей пользователя, увеличения силы его мышц и расширения амплитуд движений за счёт наличия внешнего каркаса и приводных активных элементов. Экзоскелетоны также называют "носимыми роботами". Они служат для разгрузки скелета и мышц здорового человека, позволяя ему выполнять различный физический труд не уставая, либо усиливая физические возможности человека за пределами возможностей среднеразвитого человека. Экзоскелетоны используются также для восстановления утраченной мышечной активности человека после травм или операций, для восстановления подвижности людей с ограниченной мобильностью, для предупреждения травм при заболеваниях типа остеопороза и т.п.

Экзоскелетоны, как правило, повторяют биомеханику человека для пропорционального увеличения усилий при движениях, а также могут повышать защищённость человека от внешних воздействий. В биомеханической (биомехатронной) системе человек-экзоскелетон часть функций, например, контроль и поддержание равновесия, остаётся за человеком, тогда как тяжесть груза или большие усилия, общая уравновешенность сегментов системы ложатся на механизм экзоскелетона.

2. Основное содержание и результаты работы

Поскольку, как было уже сказано экзоскелетоны - это носимые роботы, то суть их проектирования в том, чтобы не пациент носил их, а наоборот, чтобы они несли пациента. Вот почему одной из важных задач проектирования ассистирующих устройств является уравновешивание биомеханических систем человека-экзоскелетон.

Ввиду того, что в большинстве случаев реабилитационные устройства проектируются для пациентов с ограниченными двигательными возможностями, то для уравновешивания биомеханических систем от гравитационных сил достаточно применение статических и квазистатических методов исследования экзоскелетонов.

Решение задач при этом достигается применением противовесов, пружин, дополнительных параллельных механизмов, способов распределения масс звеньев и/или введением специальных уравновешивающих устройств.

Как и во многих областях, первоначальная идея и развитие вспомогательной робототехники были также обусловлены огромным потенциалом ее военного применения, и проводимые научные исследования преследовали ту же основную цель.

Экзоскелетон, в смысле мобильной машины, интегрированной с движениями человека имеет большой потенциал для медицинских применений, поэтому они начали разрабатываться и в медицинских лабораториях, поскольку они могут улучшить качество жизни людей, потерявших свои ноги, позволяя системную ходьбу. Экзоскелетоны начали разрабатываться также и для здоровых людей, особенно для работников промышленности, где они подвержены большим физическим нагрузкам из-за подъемных задач, повторяющихся движений и неэргономичности позы. Применение приводов в экзоскелетонах позволяет не только осуществлять двигательные функции, но и обеспечивать динамическое уравновешивание конечностей и усиливать их функции, тем самым расширяя области применения разработанных устройств (рис. 1).



Рисунок 1. Примеры экзоскелетов различного назначения

Проанализируем классификации реабилитационных и вспомогательных роботов и методов их моделирования [1-18]. Наука и техника сильно изменились со времени появления первых экзоскелетов и, следовательно, их методы проектирования стали более продвинутыми.

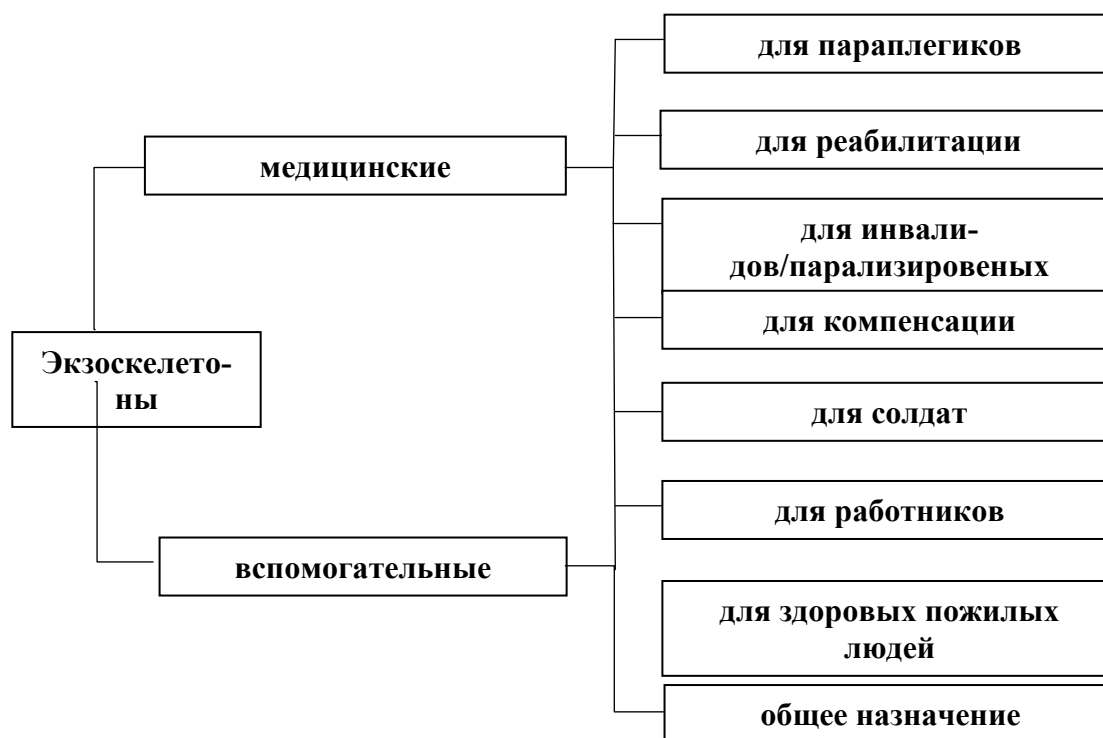


Рисунок 2. Классификация экзоскелетов.

В настоящее время экзоскелеты намного разнообразнее и сложнее, и для экономии времени и усилий исследователей и дизайнеров их методы обзора нуждаются в определенной систематизации. Полезна классификация экзоскелетов (рис. 2) по их отношению к конечным пользователям. Исследования показывают, что существует необходимость в разработке новых типов многофункциональных реабили-

тационных и вспомогательных роботизированных устройств с улучшенными энергозатратными, весовыми, эргономическими и другими функциональными характеристиками, методов их численного моделирования и оптимального проектирования, а также создания тестовых моделей проектируемых перспективных устройств. Усовершенствование методов моделирования и исследования реабилитационных устройств с упругими звеньями и приводными элементами создает основу для проектирования и разработки устройств следующего поколения, обеспечивающих улучшенные технические характеристики, востребованных как в клинических, так и в промышленных, военных и бытовых приложениях.

Ниже представлена классификация методов моделирования и проектирования реабилитационных и вспомогательных роботизированных устройств.



Рисунок 3. Классификация методов моделирования и проектирования реабилитационных устройств

Разработка и развитие новых методов и алгоритмов динамического моделирования реабилитационных устройств с учетом упругости звеньев и приводных элементов, существенно упрощают вычислительный процесс и позволяют производить сравнительный анализ результатов.

Решение задач оптимального проектирования и управления реабилитационного устройства с электроактивными полимерметаллическими актуаторами открывает возможность создания универсальных систем с избыточным числом актуаторов с управляемыми жесткостями, которые подобно натуральным мышцам обеспечивают множественные степени свободы конечности, повышая эффективность их функционирования. Применение математической теории дифференциальных игр дает возможность решения задач оптимального управления реабилитационных устройств с избыточным числом взаимодействующих актуаторов по критерию минимальных энергозатрат.

Реабилитационные и вспомогательные роботы востребованы в армии: из-за горных условий солдатам часто приходится преодолевать труднодоступные районы с тяжелым оружием и багажом, а также и на производстве: при отсутствии современного автоматизированного оборудования усилия людей также должны быть сведены к минимуму. В течение последнего десятилетия исследовательской группой ученых лаборатории «Робототехника» Национального политехнического университета Армении выполнено большое количество работ по разработке различных схем механизмов, технических решений модулей ассистирующих устройств и экзоскелетов, способов их уравнивания и методов статического и динамического моделирования [1-8, 15-18].

3. Заключение

Таким образом, выполненный обзор известных работ, классификация современных экзоскелетов и ассистирующих роботизированных устройств методов, их моделирования и проектирования позволили выявить основные направления технического прогресса в исследуемой области, а также наиболее эффективные методы моделирования и проектирования устройств, в частности, разработки новых типов многофункциональных устройств с улучшенными энергетическими, весовыми, эргономическими и другими функциональными характеристиками, а также методов их численного моделирования и оптимального проектирования.

Работа выполнена в рамках проекта 18Т-2D236, финансируемого Государственным комитетом по науке при Министерстве образования и науки Республики Армения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Arakelian V., Ghazaryan S. Gravity balancing of the human leg taking into account the spring mass // Proceedings of the 9th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR). – Brussels, Belgium, 12-14 September, 2006. – P. 630-635.
2. Казарян С., Аракелян В. Проектирование уравнивающих устройств для роботизированной реабилитации [Текст] / XVIII Международная Интернет-конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС Пробмаш-2006): Материалы конференции, 27-29 ноября, 2006 г. – М., 2006. – С. 56.
3. Казарян С., Аракелян В., Арутюнян М. Проектирование реабилитационных систем и оптимизация их параметров [Текст] / XIX Международная Интернет-конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС Пробмаш - 2007): Материалы конференции, 05-07 ноября, 2007г. – М., 2007. – С. 93.
4. Ghazaryan S., Harutyunyan M., Arakelyan V. Spring static balancing and optimization of parameters of the biomechanical system // Annual Scientific Conference of SEUA: Collection of Materials, 19-23.11.2007, V.1.-Yerevan, 2008. – P.406-410 (Arm.).
5. Ghazaryan S., Harutyunyan M., Arakelyan V. The optimization of parameters of the biomechanical system by means of spring composition during static balancing // Annual Scientific Conference of SEUA: Collection of Materials. 19-23.11.2007, V.1.-Yerevan, 2008. – P.410-414(Arm.).
6. Arakelian V., Ghazaryan S. Improvement of balancing accuracy of robotic systems: Application to leg orthosis for rehabilitation devices // International Journal of Mechanism and Machine Theory. – Elsevier, 2008. – 43(5). – P. 565-575.

7. Ghazaryan S. Gravity balancing and optimization of the parameters of the bio-mechanical system of a human leg and the rehabilitation device // Proceedings of Engineering Academy of Armenia (PEAA).-Yerevan, Armenia, 2008. – V.5, No.1. – P. 119-122.
8. Казарян, С. Д. Динамический анализ статически уравновешенного приводного ортопедического устройства ноги / С.Д. Казарян, В. А. Аракелян, М. Г. Арутюнян // Вестник Инженерной академии Армении (ВИАА). – 2008. – Т.5. – № 3. – С. 420-423.
9. Fattah A., Agrawal S.K. Design and Modeling of classes of spatial Reactionless Manipulators Text] // Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation.- Taipei, Taiwan, September 14-19.2003. – P. 3225-3230.
10. Agrawal S., Fattah A. Reactionless Space and Ground Robots: Novel Designs and Concepts Studies Text] // Mechanism and Machine Theory. – 2004. – Vol. 39, No.1. – P. 25-40.
11. Agrawal A., Agrawal S.K. Design of Gravity Balancing Leg Orthosis Using Non-Zero Free Length Springs Text] // Mechanisms and Machine Theory. – 2005. – Vol. 40, issue 6. – P. 693-709.
12. Agrawal S., Fattah A. Gravity-Balancing of Spatial Robotic Manipulators Text] // Mechanism and Machine Theory. – 2004. – Vol.39, No.12. – P.1331-1344.
13. Ebert-Uphoff I., Gosselin C.M., Laliberté T. Static balancing of spatial parallel mechanisms // ASME Trans. Journal of Mechanical Design. – 2000. – Vol. 122. – P. 43-51.
14. Herder J. L. Energy-free systems. Theory, conception and design of statically balanced mechanisms, PhD thesis. – Delf University of Technology, 2001.
15. N. B. Zakaryan. Dynamic Analysis of the Plain Biped Walking Mechanism Taking Into Account the Elasticity of Links and Joints / SEUA Proceedings, Machine Science-2014. – Issue 17, №2. – P. 49-55.
16. N. B. Zakaryan. Modelling of Universal Active Module of Human Motor Function Rehabilitation Device / NPUA Proceedings, Machine Science-2015. – №2. – P. 72-77.
17. Арутюнян, М. Г. Учет упругости приводных элементов при разработке робототехнических реабилитационных устройств / М.Г. Арутюнян, Н. Б. Закарян // Сб. трудов XXIII Межд. научно-техн. конф. “Машиностр. и техносфера XXI века”. – Донецк-Севастополь, 2016. – Том 1. – С. 10-13.
18. N. B. Zakaryan, M. G. Harutyunyan, Y. L. Sarkissian. Optimal design of active orthosis with redundant composite polymer-metal controllable stiffness actuators // Coll. works XXIII international scientific and technical conference “Машиностроение и Техносфера XXI века”.-Doneck-Sevastopol, 2016. – Т. 1. – С. 86-91.

Поступила в редколлегию 16.05.2019 г.