

УДК617.3:615.47

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АССИСТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО И МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ROBOTIC SYSTEMS FOR SPECIAL AND MEDICAL INTELLIGENT ASSISTANCE

Дудоров Е.А.
Богданов А.А.
Пермяков А.Ф.

Dudorov EA
Bogdanov AA
Permyakov AF

АО «Научно-производственное объединение
«Андроидная техника»

Scientific production association
"Android technics"

Повышение уровня жизни граждан является одной из прерогатив государства. В случае утраты части физических функций человеком государство стремится вернуть его к качественному существованию либо восполнить утраченные функции. В настоящее время разработаны комплексы, в том числе экзоскелеты, которые активно развиваются, используя современные технологии трёхмерной печати, микроприводов, источников энергии, вычислительных мощностей. Экзоскелеты постепенно входят во все сферы деятельности человека: от строительства домов до спорта, от медицины до военного применения. Активное участие в разработке экзоскелетных комплексов принимают российские исследователи, и их результаты ничем не уступают результатам конкурентов из других стран. У таких коллективов есть возможность стать лидерами рынка экзоскелетных технологий для самого разного спектра задач.

Цель — анализ состояния и определения ключевых направлений отечественных разработок в сфере создания роботизированных комплексов интеллектуального ассистирования специального и медицинского назначения.

Метод. При проведении исследований был использован комплекс методов конструирования робототехнических систем и исследования их механических характеристик и принципов управления, метод моделирования движения, метод управления робототехническими комплексами по биологически адекватным принципам, разработаны метод автоматического взаимодействия роботизированного устройства с интерфейса «мозг-компьютер», метод удаленного управления роботизированными устройствами и др. Все это позволило разработать оптимальные варианты конструкций роботизированных устройств экзоскелетного типа.

Выводы. Ключевыми проблемами отечественных разработчиков роботизированных комплексов интеллектуального ассистирования являются технологическая зависимость от зарубежных поставщиков комплектующих и недостаток квалифицированных кадров. Ключевыми направлениями дальнейшего развития являются: разработка экзоскелетов нижних конечностей, создание экзоскелетных комплексов в специализированном исполнении.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, экзоскелет, реабилитация, мультимодальный интерфейс, интерфейс «мозг-компьютер».

Exoskeletons gradually come to all spheres of human activities — from building houses to sports, from medicine to military usage. Exoskeleton complexes are rapidly developing with the help of 3D printing, microwires, new sources of energy and computing power.

Russian developers are actively participating in this process, and their results keep up with the results of their foreign competitors. So these teams have a good chance to become market leaders in exoskeleton technologies for a wide range of applications.

Aim. Analysis of condition and determination of the main directions of development of robotic systems for special and medical intelligent assistance.

Methods. The study involved a complex of methods of designing of robotic systems and evaluation of their mechanic characteristics and managing principles, such as method of movement modeling, method of managing robotic systems based on biologically suitable principles, method of automatic interaction between robotic device and BCI, method of remote control of robotic systems etc. All these methods helped to develop the best possible models of exoskeleton robotic systems.

Conclusion. The key problems of Russian developers of robotic systems for intelligent assistance are the technological dependence on foreign suppliers and a lack of qualified personnel. The most promising directions of development are the development of lower-extremity exoskeleton and specific exoskeleton complexes.

Keywords: robotic complex, exoskeleton, rehabilitation, multimodal interface, brain-computer interface.

■ ВВЕДЕНИЕ

Ведущие страны мира проводят исследования, посвященные созданию различных роботизированных комплексов ассистирования на основе экзоскелетных модулей с различными системами управления. Исследования в области создания экзоскелетов ведутся в нескольких направлениях:

1) разработка устройств для работы с большими физическими нагрузками (такие экзоскелеты можно отнести к индустриальным);

2) исследования, направленные на повышение физических возможностей военнослужащих при выполнении боевых задач (экзоскелеты специального назначения);

3) разработка комплексов, способствующих реабилитации пациентов с ограниченными возможностями при различных уровнях парезов (реабилитационные экзоскелеты).

В целом у экзоскелетных разработок существуют потенциальные ограничения в виде отсутствия компактных высокоэффективных источников энергии и ограниченности вычислительных мощностей системы управления. Однако эти ограничения почти не распространяются на медицинские экзоскелеты [1], предназначенные для реабилитации пациентов с ограниченными возможностями: реабилитационные экзоскелетные комплексы, как правило, стационарны, в экзоскелетах этого типа предусмотрена возможность подключения внешних серверов и источников питания.

■ ЭКЗОСКЕЛЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

За прошедшие три десятка лет сформировался и получил развитие целый кластер реабилитационного роботизированного оборудования с функцией ассистирования на основе экзоскелетных модулей [2]. Направления исследований в области медицинских экзоскелетов для восстановления двигательной активности самые разнообразные — от частных экзоскелетов для приведения единичной степени свободы [3] до систем с возможностью реабилитации какой-либо части тела [4–12]. Наибольшая потребность в реабилитационных экзоскелетах существует в сфере восстановления двигательных функций у лиц, перенесших инсульт. Задача восстановления или замещения утраченной двигательной функции у таких пациентов требует использования интеллектуальных алгоритмов [13], интерпретирующих реакцию опорно-двигательной системы на действие внешнего устройства. Разрабатываемые алгоритмы должны учитывать многофакторность и мультимодальность информации [14], анализируемой центральной и периферической нервной системой. Помимо традиционных механических параметров (направление движения, угол поворота привода, скорость, сила движения), необходимо анализиро-

вать в реальном масштабе времени и биологические параметры: биоэлектрическую активность мышц, вовлеченных в данное движение, сопротивление движению, наличие и величину удлинения /сокращения основных мышц-антагонистов для данного движения. Более того, наряду с измерением прямых механических и биомеханических параметров имеет значение вычисление таких комплексных характеристик, как текущий режим работы мышцы (изометрический, концентрический, эксцентрический и др.), соотношение между миоэлектрической активностью и развиваемым мышцей усилием при данном положении сустава.

Ещё 2–3 года назад оборудование с подобным набором функционала приобрести в России было невозможно. В настоящее время ситуация изменилась, и в России появились компании, способные разрабатывать реабилитационные экзоскелеты для лиц с ограниченными возможностями, имеющих различные уровни парезов. Одна из таких организаций — НПО «Андроида техника», коллектив которой обладает большим опытом в разработке роботизированных устройств различного назначения [15–23], в том числе устройств для реабилитации.

Созданный компанией ряд задающих устройств копирующего типа (УКТ) с обратной силомоментной связью и без нее (рис. 1) позволил сформировать задел для будущих разработок экзоскелетных комплексов медицинского назначения.

Одно из первых устройств, созданных НПО «Андроидная техника» для медицинских учреждений, — экзоскелетное копирующее устройство с обратной силомоментной связью (УКТ-7) для виртуального обучения студентов проведению хирургических операций (рис. 2). Устройство разработано совместно с СамГМУ.

Задачи, решаемые при использовании УКТ-7:

- обеспечение управления 3D-моделью антропоморфной рукой виртуального хирурга;
- определение углов поворота в суставах оператора;
- создание сопротивления движению руки оператора;
- использование в качестве учебного пособия;

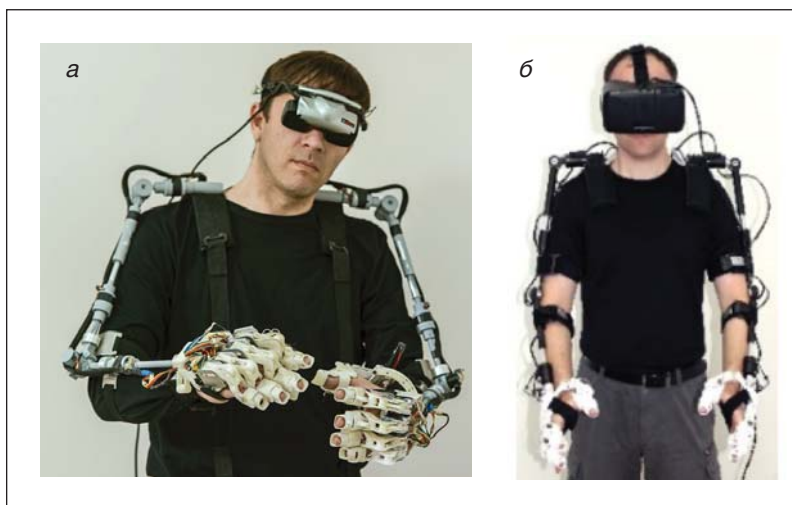


Рисунок 1. Задающие устройства копирующего типа: а — без обратной силомоментной связи (УКТ-1); б — с обратной силомоментной связью (УКТ-4).



Рисунок 2. Задающее устройство с обратной силомоментной связью.



Рисунок 3. Реабилитационный экзоскелет верхних конечностей.

— осуществление контроля работы систем, прием и формирование выходной информации о проделанной работе.

УКТ-7 представляет собой фиксируемую на теле оператора рычажную конструкцию из пластика и легких сплавов, выполненную аналогично скелетной схеме человека, с совпадением положения осей подвижности и суставов. В основе управления элементами подвижности виртуального хирурга устройством управления УКТ-7 лежит интерактивный способ, реализующий принцип «подобия», осуществляемый оператором.

В период с 2014 по 2016 г. в рамках сотрудничества НПО «Андроидная техника» и РНИМУ им. Н.И. Пирогова был проведен ряд работ по созданию экзоскелетных роботизированных комплексов руки и кисти человека. Комплекс создан для применения в медицинских учреждениях и исследовательских медицинских университетах. Конечными пользователями комплекса являются преподаватели медицинских вузов, врачи и другие медицинские специалисты.

■ РЕАБИЛИТАЦИОННЫЙ ЭКЗОСКЕЛЕТ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Специалистами НПО «Андроидная техника» ведутся исследования по разработке экзоскелета руки человека (рис. 3), управляемого по биологически адекватным принципам, для функционирования в комплексе с интерфейсом «мозг-компьютер» (ИМК) [24]. Задача заключается в разработке технологической платформы многозвенных антропоморфных экзоскелетов, управляемых по биологически адекватным принципам с учетом задержек и величины коэффициентов в петле управления по обратной связи, характерных для управления движениями человека.

Назначение экзоскелетного комплекса этого типа — медицинская реабилитация пациентов, имеющих двигательные нарушения верхнего пояса в результате инсульта, а также социальная реабилитация, направ-

ленная на улучшение качества жизни людей, утративших двигательную активность верхних конечностей в результате травмы головного или спинного мозга.

Технические характеристики устройства: длина — 750 мм; масса — 7 кг; количество степеней подвижности — 7.

Управление данным экзоскелетным комплексом осуществляется за счет обработки сигналов головного мозга, получаемых методом электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Оператор (человек с ограниченными возможностями) помещается в специальное кресло перед монитором, на голову ему надевается 128-канальная шапочка ЭЭГ (рис. 4а), на руке (правой / левой — в зависимости от диагноза) фиксируют экзоскелетное устройство (рис. 4б).

Сущность реабилитационного процесса заключается в ассистировании экзоскелетом функционала воображаемого движения. То есть, если оператору предлагается нарисовать в своем воображении движение руки вверх, он интерпретирует эту команду в управляющий паттерн, а устройство его обрабатывает. При этом, если через определенное количество циклов реабилитационных тренировок оператор способен оказать противопоставляющее действие выполняемой экзоскелетом команды, устройство сразу остановится и изменит направление движения вслед за рукой оператора.

В настоящее время устройство проходит испытания в лаборатории РНИМУ им. Н. И. Пирогова под руководством д.б.н. А. А. Фролова.

■ РЕАБИЛИТАЦИОННЫЙ ЭКЗОСКЕЛЕТ КИСТИ

Экзоскелет кисти с двумя степенями свободы и внешним программным управлением предназначен для процедуры реабилитации постинсультных больных. Кинематика экзоскелетного комплекса представлена на рисунке 5, общий вид устройства — на рисунке 6.

Рычажный механизм экзоскелета кисти состоит из приводимых в движение электроприводами соединен-

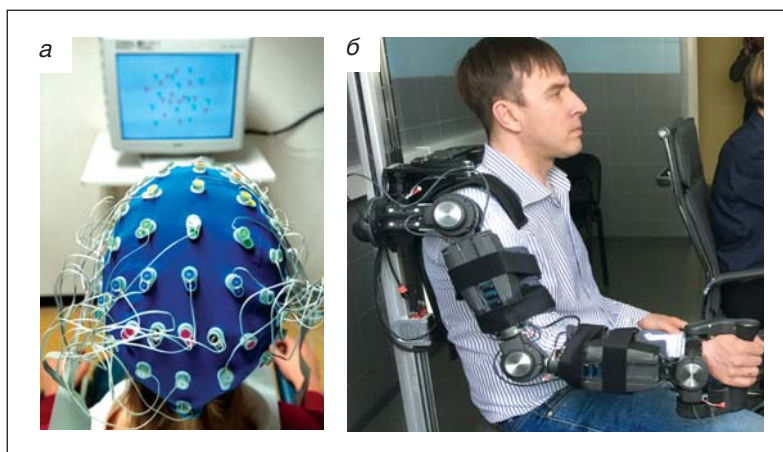


Рисунок 4. Реабилитационный экзоскелет верхних конечностей: а) ЭЭГ; б) экзоскелет руки, зафиксированный на операторе.

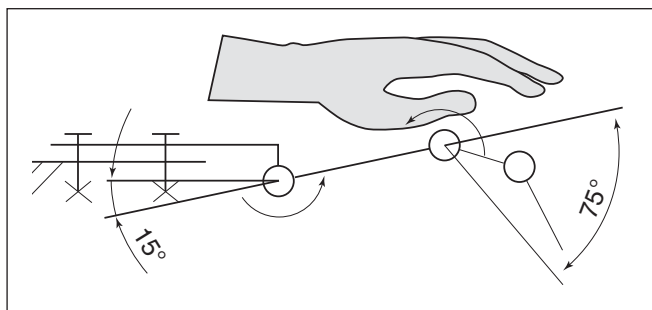


Рисунок 5. Кинематическая схема экзоскелета кисти.

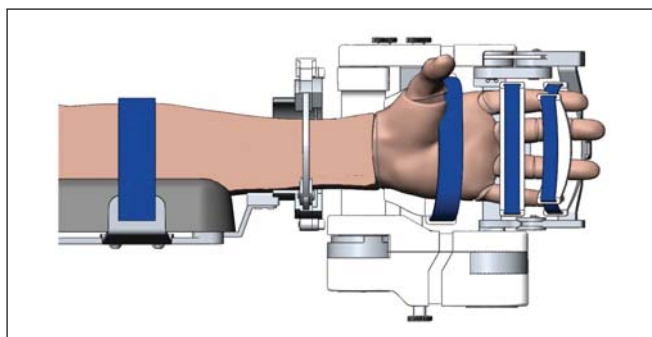


Рисунок 6. Общий вид экзоскелета кисти.

ных между собой трёх вращательных пар звеньев: 1) локтемент с фиксатором запястья и захват кисти; 2) захват кисти и захват проксимальных фаланг пальцев; 3) захват проксимальных фаланг пальцев и захват средних, дистальных фаланг пальцев.

Звенья первой и второй кинематической пары приводятся в движение электроприводами, приводное звено третьей кинематической пары связано рычажной передачей с приводным звеном второй кинематической пары.

Изделие обеспечивает:

- пассивное раскрытие кисти руки человека на основании команд от интерфейса «мозг-компьютер» с целью предоставления проприоцептивной и тактильной обратной связи при воображении раскрытия кисти.

- движения расслабленной кисти человека на сжатие и раскрытие по командам, посылаемым врачом посредством интерфейса специализированного программного обеспечения.

Общий вид устройства, зафиксированного на операторе, представлен на **рисунке 7**.



Рисунок 7. Общий вид экзоскелета кисти, зафиксированного на операторе.

Данное устройство в настоящее время проходит испытания в лаборатории РНИМУ им. Н. И. Пирогова под руководством д.б.н. А. А. Фролова.

■ ИНТЕРФЕЙС УПРАВЛЕНИЯ

У данных устройств есть одно общее — использование интерфейса «мозг-компьютер» для интерпретации воображаемого движения в фактическое [25]. Применение экзоскелетов руки, управляемых посредством интерфейса «мозг — компьютер», является новой и обещающей технологией нейрореабилитации. В основе этой технологии лежит явление нейропластичности, благодаря которому двигательные функции человека могут восстановиться даже через несколько лет после инсульта или травмы. Многократное воспроизведение состояния, связанного с воображаемым действием, подкрепляется обратной связью от классификатора ЭЭГ активности мозга. Таким образом, с помощью ИМК закрепляется связь между намерением и соответствующей активностью мозга. В случае, когда конечность полностью обездвижена, ИМК, основанный на воображении движения, — единственное средство восстановления двигательных функций с активным участием пациента.

Если идентификация специфической активности мозга стимулирует соответствующее ей движение, процесс закрепления связи между воображением движения и активностью мозга становится особенно эффективным. Пассивное движение, осуществляемое с помощью экзоскелета, обеспечивает стимуляцию сенсомоторных областей мозга, которая дополнительно стимулирует пластичность, что в конечном итоге должно привести к улучшению качества двигательного управления.

■ ВЫВОДЫ

Сформировавшиеся в настоящее время в России исследовательские коллективы способны создавать устройства, обеспечивающие повышение качества жизни людей с ограниченными возможностями. И, как правило, в таких коллективах формируется тандем технических специалистов и специалистов медико-биологической направленности. Во многих технических решениях российские коллективы находятся в начале пути, что обусловлено несколькими факторами: тотальная зависимость от импортных комплектующих, низкий уровень роботизации предприятий и профильных образовательных центров, а следовательно, низкий уровень специалистов.

Однако российская индустрия роботостроения в ближайшие годы будет очень активно развиваться, преодолевать проблемы зависимости от импорта и выстраивать новую направленность — от разработки реабилитационных экзоскелетов верхних конечностей в сторону экзоскелетов нижних конечностей, ожидается разработка перспективных устройств ассистирования специального и космического назначения. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Воробьев А.А., Петрухин А.В. Экзоскелет – новые возможности абилитации и реабилитации (аналитический обзор). *Вопросы конструктивной и пластической хирургии*. 2015. №2 (53):52-62.
Vorobiev AA, Petruhin AV. Exoskeleton – new opportunities for habilitation and rehabilitation (Analytical Review). *Voprosy konstruktivnoi i plasticheskoi khirurgii*. 2015. No.2 (53): P.52-62. (In Russ.).
2. Отчёт о прикладных научных исследованиях и экспериментальных разработках. №115122310008. Разработка комплекса научно-технических решений, направленных на создание роботизированных реабилитационных систем с функциями интеллектуального ассистирования движениям пациентов с неврологическими патологиями. Н. Новгород, 2015. <https://xpir.ru/conference2015/theses/14.578.21.0107>
Report on the application of scientific research and experimental development. №115122310008. GAP-processing complex of scientific and technical solutions directed at the creation of rehabilitation robotic systems with functions of intelligent assistance in the movements of patients with neurological disorders. Nizhny Novgorod, 2015. (In Russ.). <https://xpir.ru/conference2015/theses/14.578.21.0107>
3. Павловский В.Е. Платонов А.К. Биомеханический комплекс нейрореабилитации – конструкция, модели, управление. *XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014*. М., 2014: 3671-3680.
Pavlovsky VE, Platonov AK. Biomechanical complex neurorehabilitation — design, model management. *XII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014*. M., 2014: 3671-3680. (In Russ.).
4. Nef T, Mihelj M, Kiefer G, Perndl C, Müller R, Riener R. ARM in Exoskeleton for Arm Therapy in Stroke Patients. *Proceedings of the 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics (June 12-15, Noordwijk, The Netherlands)*. 2007: 68-74.
5. Gupta A, O'Malley MK, Patoglu V, Burgar C. Design, Control and Performance of Rice Wrist: A Force Feedback Wrist Exoskeleton for Rehabilitation and Training. *International Journal of Robotics Research in 2008 (27)*:233-251.
6. Nef T., Guidali M, Riener R. ARM in III — arm therapy exoskeleton with an ergonomic shoulder actuation. *Applied Bionics and Biomechanics*. June 2009. Vol. 6(2):127-142.
7. Schabowsky CN, Godfrey SB, Holley RJ, Lum PS. Development and pilot testing of HEXORR: Hand EXOskeleton Rehabilitation Robot. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*. 2010:7-36.
8. Zoss AB, Kazerooni H, Chu A. Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX). *Asme Transactions On Mechatronics*. 2006. V.11(2):128-137.
9. Perry JC, Rosen J, Burns S. Upper-Limb Powered Exoskeleton Design. *IEEE. As me Transactions on Mechatronics*. 2007. V. 12.(4):408-417.
10. Tsagarakis NG, Galdwell DG. Development and Control of a "Soft-Actuated" Exoskeleton for Use in Physiotherapy and Training. *Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands. Autonomous Robots* 15.2003:21-33.
11. Veneman JF, Kruidhof R, Hekman EG, Ekkelenkamp R, Van Asseldonk EHF, Kooij H. Design and Evaluation of the LOPES Exoskeleton Robot for Interactive Gait Rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2007. V.15(3):379-386.
12. Walsh CJ, Endo K, Herr H. AQUASI-PASSIVELEG Exoskeleton for Load-carrying Augmentation. *International Journal of Humanoid Robotics*. 2007. V. 4(3):487-506.
13. Турлапов Р.Н. Модели и алгоритмы управления движением экзоскелета для реабилитации и расширения функциональных возможностей человека. Дис...канд. технических наук. Курск, 2016. <http://www.dslib.net/med-pribory/modeli-i-algoritmy-upravleniya-dvizheniem-jekzoskeleta-dlja-vertikalizacii-i.html>
Turlapov RN. Modeli i algoritmy upravleniya dvizheniem ekzoskeleta dlya reabilitatsii i rasshireniya funktsional'nykh vozmozhnostei cheloveka. Dis...kand. tekhnicheskikh nauk. Kursk, 2016. (In Russ.). <http://www.dslib.net/med-pribory/modeli-i-algoritmy-upravleniya-dvizheniem-jekzoskeleta-dlja-vertikalizacii-i.html>
14. Баловнев Д.А. Мультимодальные интерфейсы управления современными техническими средствами реабилитации. *Материалы VII международного конгресса «Нейрореабилитация – 2015»*. М., 2015:16-18. <http://rehabrus.ru/Docs/neyroreabilitacia-2015-25may.pdf>
Balovnev DA. Multimodal user interfaces with modern technical means rehabilitation. *Materialy VII mezhdunarodnogo kongressa «Neiroreabilitatsiya – 2015»*. M., 2015:16-18. (In Russ.). <http://rehabrus.ru/Docs/neyroreabilitacia-2015-25may.pdf>
15. Пат. 115712 РФ, МПК7B25J15/12. Полезная модель «Захват манипулятора». Богданов А.А., Канаева Е.И., Кияткин Д.В., Кутлубаев И.М., Пермяков А.Ф. <http://www1.fips.ru>
Pat. 115712 Russian Federation, МПК7 B25J15 / 12. The utility model «Hand grip»/ Bogdanov AA, Kanayeva EI, Kiyatkin DV, Kutlubaev IM, Permyakov AF. (In Russ.). <http://www1.fips.ru>
16. Пат. 125508 РФ, МПК7B25J3/04. Полезная модель «Дистанционный манипулятор». Богданов А.А., Кияткин Д.В., Пермяков А.Ф. <http://www1.fips.ru>
Pat. 125508 Russian Federation, МПК7 B25J3 / 04. The utility model «Remote Manipulator». Bogdanov AA, Kiyatkin DV, Permyakov AF (in Russ.). <http://www1.fips.ru>
17. Пат. 86685 РФ, МКПО (9) 15-99. Промышленный образец SAR-400. Богданов А.А., Иксанов М.Р., Кияткин Д.В., Пермяков А.Ф. <http://www1.fips.ru>
Pat. 86685 Russian Federation, IPCI (9), 15-99. Industrial design SAR-400. Bogdanov AA, Ixanov MR, Kiyatkin DV, Permyakov AF. (In Russ.). <http://www1.fips.ru>
18. Пат. 129867 РФ, МПК7 B25J9/08. Полезная модель «Исполнительный модуль манипулятора». Богданов А.А., Жиденко И.Г., Кутлубаев И.М., Кияткин Д.В., Пермяков А.Ф. <http://www1.fips.ru>
Pat. 129867 Russian Federation, МПК7 B25J9 / 08. The utility model «Executive manipulator module». Bogdanov AA, Zhydenko IG, Kutlubaev IM, Kiyatkin DV, Permyakov AF. (In Russ.). <http://www1.fips.ru>
19. Пат. 135958 РФ, МПК7 B25J17/00. Полезная модель «Исполнительный модуль манипулятора». Сычков В.Б., Жиденко И.Г., Кутлубаев И.М., Кияткин Д.В., Пермяков А.Ф. <http://www1.fips.ru>
Pat. 135958 Russian Federation, МПК7 B25J17 /00. The utility model «Executive manipulator module». Sychkov VB, Zhydenko IG, Kutlubaev IM, Kiyatkin DV, Permyakov AF. (In Russ.). <http://www1.fips.ru>

20. Пат. 135956 РФ, В25J3/00. Полезная модель «Копирующий манипулятор». Богданов А.А., Жиденко И.Г., Кутлубаев И.М., Кияткин Д.В., Пермяков А.Ф. <http://www1.fips.ru>

Pat. 135956 Russian Federation, B25J3 / 00. The utility model «Master-slave manipulator». Bogdanov AA, Zhydenko IG, Kutlubaev IM, Kiyatkin DV, Permyakov AF. (in Russ.). <http://www1.fips.ru>

21. Пат. 145920 РФ, В25J15/10. Полезная модель «Захват манипулятора». Пермяков А.Ф., Кутлубаев И.М., Жиденко И.Г. <http://www1.fips.ru>

Pat. 145920 Russian Federation, B25J15 / 10. The utility model «Hand grip». Permyakov AF, Kutlubaev IM, Zhydenko IG. (in Russ.). <http://www1.fips.ru>

22. Пат. 144196 РФ, В25J15/10. Полезная модель «Захват (протеза кисти)». Пермяков А.Ф., Богданов А.А., Кутлубаева Ю.И. <http://www1.fips.ru>

Pat. 144196 Russian Federation, B25J15 / 10. The utility model «Gripper (hand prosthesis)». Permyakov AF, Bogdanov AA, Kutlubaeva YI. (in Russ.). <http://www1.fips.ru>

23. Пат. 146552 РФ, В25J3/00. Полезная модель «Антропоморфный манипулятор». Пермяков А.Ф., Богданов А.А., Кутлубаев И.М., Сычков В.Б. <http://www1.fips.ru>

Pat. 146552 Russian Federation, B25J3/00. The utility model «Anthropomorphic manipulator». Permyakov AF, Bogdanov AA, Kutlubaev IM, Sychkov VB. (in Russ.). <http://www1.fips.ru>

24. Бабушкина Н. А. Определение репертуара движения многосуставного экзоскелета руки, управляемого интерфейсом «мозг-компьютер» (ИМК). *Материалы VII международного конгресса «Нейрореабилитация – 2015»* (Москва, 9–10 июня 2015) М., 2015:12-13. <http://rehabrus.ru/Docs/neuroreabilitacia-2015-25may.pdf>

Babushkina NA. Defining repertoire of motions of multiarticular hand exoskeleton managed by brain-computer interface (BCI). *Proceedings of the VII International Congress "Neurorehabilitation - 2015"* (Moscow, June 9-10, 2015). M., 2015:12-13. (in Russ.). <http://rehabrus.ru/Docs/neuroreabilitacia-2015-25may.pdf>

25. Бирюкова Е.В., Павлова О.Г. Восстановление двигательной функции руки с помощью экзоскелета кисти, управляемого интерфейсом «мозг-компьютер». Случай пациента с обширным поражением мозговых структур. *Физиология человека*. 2016. Т. 42(1):19–30. Biryukova EV, Pavlova OG. Recovery of motor function of the hand using hand exoskeleton managed by brain-computer interface. The case of a patient with extensive lesions of the brain structures. *Fiziologiya cheloveka*. 2016, V. 42(1):19-30. (in Russ.).

■ Участие авторов:

Концепция, дизайн исследования: Дудоров Е.А.

Программирование и статистическая обработка: Богданов А.А.

Написание текста: Дудоров Е.А., Пермяков А.Ф.

Конфликт интересов отсутствует.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дудоров Е.А. — к.т.н., и. о. технического директора АО «НПО «Андроидная техника».
E-mail: dudorov@npo-at.com

Богданов А.А. — главный конструктор АО «НПО «Андроидная техника»
E-mail: bogdanov@npo-at.com

Пермяков А.Ф. — генеральный директор АО «НПО «Андроидная техника».
E-mail: director@rusandroid.com

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dudorov EA — PhD, CTO of JSC "SPA "Android Technics".
E-mail: dudorov@npo-at.com

Bogdanov AA — chief designer of JSC "SPA "Android Technics".
E-mail: bogdanov@npo-at.com

Permyakov AF — CEO of JSC "SPA "Android Technics".
E-mail: director@rusandroid.com

■ КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Дудоров Евгений Александрович
Адрес: кв. 187, ул. Зелёный лог,
г. Магнитогорск, 445008.
E-mail: dudorov@npo-at.com
Тел.: + 7 (964) 246 44 55

■ CONTACT INFORMATION

Dudorov Evgenii Aleksandrovich
Address: ap. 187, 35 Zelenyi log st.,
Magnitogorsk, Russia, 445008.
E-mail: dudorov@npo-at.com
Tel.: + 7 (964) 246 44 55