

УДК 621.85.05-034

**С. Д. Казарян**, канд. техн. наук, **М. Г. Арутюнян**, канд. техн. наук, доцент,  
**Н. Б. Закарян**, канд. техн. наук, ассистент, **Ю. Л. Саргсян**, д-р техн. наук, проф.,  
Национальный Политехнический Университет Армении, НПУА, Ереван, Армения  
Тел./Факс: +374 (099) 240799; E-mail: [sarik.ghazaryan@polytechnic.am](mailto:sarik.ghazaryan@polytechnic.am)

## ПОРТАТИВНОЕ ПАССИВНО УРАВНОВЕШЕННОЕ АССИСТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ИНДУСТРИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*В статье изложена концепция проектирования статически уравновешенного реконфигурируемого ассистирующего устройства промышленного назначения. Приведена конструктивная схема, показаны возможности устройства. Портативность и компактность устройства достигнуты путем оптимизации конструкции и избирательности выполняемых задач, что расширяет возможности проектируемого устройства. Предложенная концепция устройства, обеспечивающая выполнение ассистирования двигательной системе верхних конечностей человека, может быть применена для проектирования экзоскелетов как промышленного, так и бытового, медицинского и военного назначения. Более того, примененный метод статического пружинного уравновешивания универсален и может быть использован при проектировании не только ассистирующих, но и подобных манипуляционных устройств с рычажными качающимися звеньями.*

**Ключевые слова:** ассистирующее устройство, статическое уравновешивание, экзоскелетон, пружина,

**S. D. Ghazaryan, M. G. Harutyunyan, N. B. Zakaryan, Yu. L. Sargsyan**

### PORTABLE PASSIVE BALANCED ASSISTIVE DEVICE FOR INDUSTRIAL PURPOSE

*The article describes the designing concept of a statically balanced reconfigurable assistive device for industrial purposes. A constructive schema is given; capabilities of the device are shown. The portability and compactness of the device are achieved by optimizing the design and selectivity of the task performing, which expands the capabilities of the designed device.*

*The proposed concept of the device, which provides assistance to the locomotors system of the upper limbs of a person, can be used to design exoskeletons for industrial, as well as for and household, medical and military purposes. Moreover, the applied method of static spring balancing is universal and can be used in the design of not only assistive but also similar manipulation devices with swinging lever links.*

**Keywords:** assistive device, static balancing, exoskeleton, spring,

### 1. Введение

За последние десятилетия существенно прогрессировало не только проектирование ассистирующих устройств, таких как экзоскелетоны и подвижные ортезы применяемые в медицине и здравоохранении и предназначенные для поддержания и реабилитации функций опорно-двигательной системы человека, но их диверсификация в отраслях индустрии, обороны и космонавтики. Предложенные разработки реально позволяют человеку не только усиливать опорно-двигательные функции, но и расширять и умножать его возможности. С силовой точки зрения современные экзоскелетоны разделяются на два типа: пассивные и активные. Первые не имеют источников питания и работают благодаря усилиям оператора. Активные же конструкции функционируют за счет дополнительных двигателей и актуаторов. Экзоскелетоны условно можно также разделить на «локальные» и «общие». Первые не берут на себя физическую нагрузку, а распределяют ее по телу пользователя, а вторые имеют упор на земле, за счет чего позволяют человеку поднимать большие тяжести (рис. 1).



Рисунок 1. Ассистирующие устройства промышленного назначения: а и б - с распределением масс на спину («локальные»), в и г - с упором на землю («общие»).

С точки зрения механики рассматриваемые ассистирующие устройства представляют собой рычажные механизмы [1-16], с действующими на звенья гравитационными нагрузками, уравнивание которых важно как при проектировании, так и эксплуатации этих устройств. Авторами предложен ряд уравновешенных устройств-ассистентов ходьбы [7,8], приседания [9], а также ходьбы и приседания [10-16], в которых использованы пружины растяжения, по причине их беспорной эффективности при решении подобных задач. [6-16].

В настоящей статье предложена новая схема реконфигурируемого портативного пассивно-уравновешенного устройства, предназначенного для удержания тяжелых и неудобных предметов и инструментов в нужном положении (рис. 2). В нем использованы телескопические звенья для регулировки геометрии устройства, а также цилиндрические пружины и механизмы регулировки силовых характеристик для удобства использования устройства (см. рис. 2).

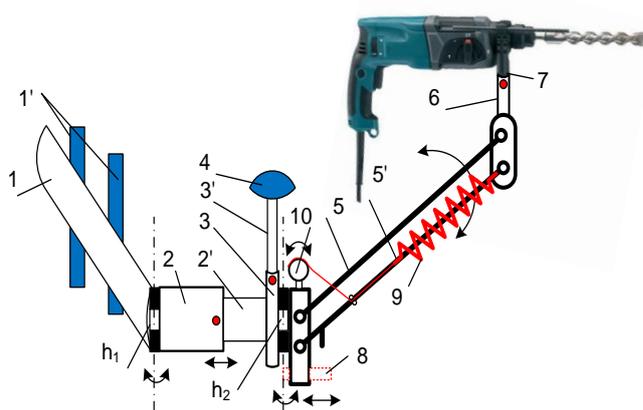


Рисунок 2. Ассистирующее реконфигурируемое устройство промышленного назначения для верхней конечности человека.

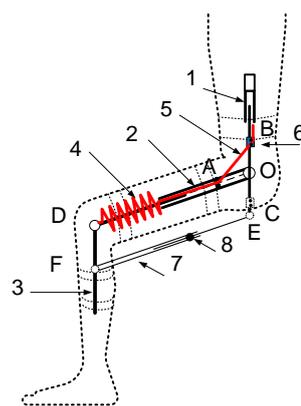


Рисунок 3. Ассистирующее реконфигурируемое устройство медицинского назначения для нижней конечности человека.

Подобная локальная схема может быть интегрирована с одной из схем устройств ассистирования нижних конечностей ранее спроектированных авторами (рис. 3) [13,14], для создания нового общего экзоскелетона.

Интегрирование подвижных локальных ортезов для ходьбы или приседания человека ранее позволило авторам предложить универсальные и уникальные схемы общих экзоскелетонов для ходьбы и приседания человека, его фиксации в положении стоя, а также и тренажеров для мышц системы локомоции человека [12-14, 16].

## 2. Ассистирующее реконфигурируемое устройство: экзоскелетон-опора

Разработана конструктивная схема реконфигурируемого устройства-ассистента для поддержания руки, с небольшими массами, либо инструментов (рис. 4).

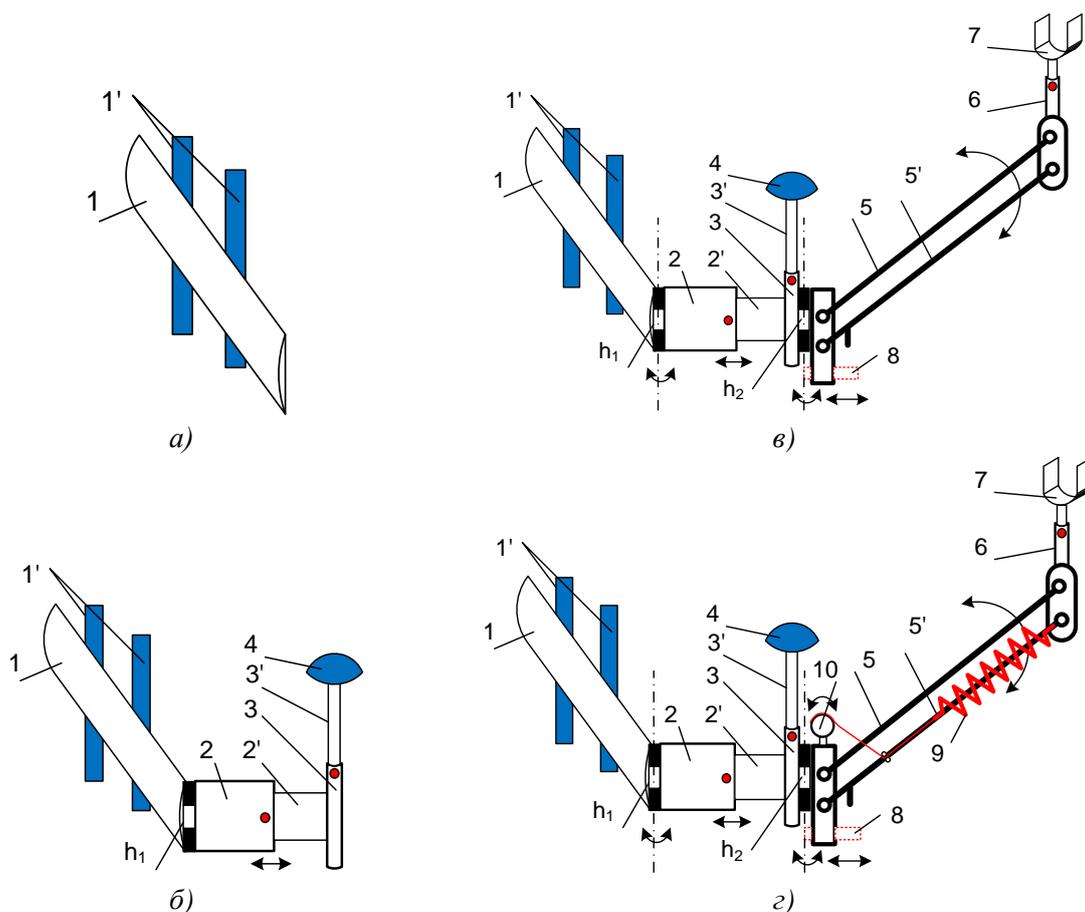


Рисунок 4. Ассистирующее реконфигурируемое устройство для распределения добавочных масс на спину оператора:

а - поясничная опора, б - боковая и локтевая опоры, в - система «3-я рука», г - уравнивание системы.

Поясничное жесткое звено 1 с подушками распределения веса 1' крепятся на пояснице оператора при помощи ремня и/или жилет-корсета (см. рис. 4а). После, на поясничное жесткое звено 1 справа для правой, или слева для левой, посредством петли  $h_1$ , крепятся телескопические звенья: 2-2' - горизонтально (боковая опора) и 3-3' - вертикально (локтевая опора) (см. рис. 4б). На звено 3' насаживается локтевая подушка 4.

Такая опорная конструкция имеет право на индивидуальное существование, и может найти применение не только в индустрии, но также в военном деле для поддержания руки и оружия либо амуниции и, также, в медицине для поддержания травмированной или прооперированной руки.

В отличие от похожих носимых экзоскелетов (см. рис. 1), при необходимости, предплечье легко можно снять с локтевой опоры, освободившись от необходимости ассистирования.

Если к боковой опоре, посредством петли  $h_2$ , закрепить пантограф 5, который, в свою очередь тоже может быть телескопическим, с регулируемым телескопическим звеном 6, то можно реконфигурировать систему (см. рис. 4в). На звене 6 могут быть закреплены различные насадки-захваты, спроектированные для требуемого назначения.

Способы уравнивания пантографа цилиндрическими пружинами (см. рис. 4г) представлялись авторами в опубликованных ранее работах [13,14]. Пантограф может уравновешенно качаться в диапазоне угла  $\varphi \in [0^\circ; 180^\circ]$ , при необходимости можно лимитировать его опущение при помощи фиксатора 8.

В устройстве используется соединение линейной цилиндрической пружины растяжения ненулевой начальной длины 9 [6-8] при помощи троса с роликовым регулятором предварительного натяжения пружины 10 [11,12,14,16]. Такое соединение позволяет варьировать силовые характеристики уравнивающей пружины и добиться точного статического уравнивания системы.

### 3. Заключение

Предложена новая реконфигурируемая схема портативного экзоскелетона опоры пассивно уравновешенного линейной цилиндрической пружины растяжения (локально), ориентированного на поддержание тяжелых и неудобных предметов и инструментов в требуемом положении или диапазоне. Показаны ее преимущества, недостатки и перспективы развития.

Для регулировки геометрии устройства, использованы телескопические звенья, а для силовой регулировки уравновешенности и удобного использования устройства, применены цилиндрические пружины и механизмы регулировки их силовых характеристик. Использование в конструкции цилиндрической пружины растяжения обеспечивает возможность реализации точной статической уравновешенности системы при работе.

По сравнению с существующими экзоскелетами, такая схема не требует жесткой фиксации конечности человека к ассистирующему механизму. В дальнейшем будут представлены также конструктивные решения с более компактной конструкцией, позволяющие складывать устройство за спиной.

Предложенная концепция проектирования устройства, обеспечивающего выполнение ассистирования опорно-двигательной системе человека, может быть применена как для проектирования экзоскелетов промышленного назначения, так и проектирования экзоскелетов бытового, медицинского и военного назначений. Более того, примененный метод статического пружинного уравнивания универсален и может быть использован при проектировании не только ассистирующих, но и подобных манипуляционных устройств с рычажными качающимися звеньями.

Основными преимуществами разработанных устройств являются их универсальность, компактность, регулируемость и комфортность, а также, обеспечение реконфигурируемости и регулируемости уравнивания и диапазонов угловых перемещений.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Экзоскелет X-RISE. <https://exoskeletonreport.com/product/x-rise/>.
2. Экзоскелет SuitX ShoulderX <https://www.suitx.com/shoulderx>.
3. Экзоскелет SuitX MAX <http://www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton>.
4. Экзоскелет SuitX LegX <https://www.suitx.com/legx>.
5. Экзоскелет SuitX BackX <https://www.suitx.com/backx>.
6. Agrawal Sunil K., Fattah Abbas. Gravity Balancing of a Human Leg using an External Orthosis // IEEE International Conference on Robotics and Automation.-Roma, Italy, 10-14 April, 2007. – P. 3755-3760.
7. 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.
8. 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.
9. Казарян, С.Д. Проектирование экзоскелетона-ассистента приседания и вставания человека / С.Д. Казарян, С.А. Саргсян, В.Г. Аракелян, М.Г. Арутюнян // Известия Национальной Академии Наук Армении и ГИУА (Политехник). – Ереван, Армения, 2011. – LXIV. – №.2. – С. 121-128.
- 10 Арутюнян, М.Г. Уравновешивание экзоскелетона-ассистента ходьбы и приседания / Арутюнян М.Г., Казарян С.Д., Саргсян С.А., Аракелян В.А. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2011 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – Т. 4. – С 37-40.
11. Казарян, С.Д. Разработка портативного ортеза для ходьбы и приседания человека / Казарян С.Д., Арутюнян М.Г. // Вестник НПУА. Сборник научных статей. – Ереван, 2018. – N2. – С. 435-439.
12. Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G. The Design of Multi-purpose Portable Movable Orthosis // ROMANSY 2018. 22nd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, June 25-28, 2018, Rennes, France. – P. 296-303.
13. Zakaryan N.B., Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Sargsyan Yu. L., Shahinyan S.S., Shahazizyan B.H., Multi-purpose exoskeleton / Invention patent N 3299 A. – 12.02.2019.
14. Ghazaryan S.D, Harutyunyan M.G., Zakaryan N. B., Arakelian V. Design Concepts for Human Walking and Sitting Wearable Exoskeletons // Intelligent Technologies in Robotics October 21-23,2019, Moscow, Russia. pp. 63-71.
15. Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Arakelian V.H. Actual aspects of manipulation mechanism's swinging links spring balancing // XXVI International Scientific and Technical Conference "Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI Century", September 23-29, 2019, Sevastopol, – P. 450-454.
16. Казарян, С. Д. Развитие методов уравновешивания биомеханических систем применительно к проектированию реконфигурируемых экзоскелетонов-ассистентов с улучшенными функциональными характеристиками / С.Д. Казарян, Н.Б. Закарян, М.Г. Арутюнян, Ю.Л. Саргсян, С.В. Верлинский // Вестник НПУА. Механика, Машиноведение, Машиностроение. – Ереван, 2020. – №1. – С. 55-68.

Поступила в редколлегию 15.02.2021 г.