

ЭКЗОСКЕЛЕТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А. В. МЕСРОПЯН¹, А. В. ВОРОБЬЁВА²

¹avm_74@mail.ru, ²89174943516@mail.ru

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

Аннотация. Рассмотрена классификация экзоскелетных устройств с учетом назначения, характерных признаков принципиальных, конструктивных и схемных решений. Приведены данные исследований организаций, таких как Global Markets Insight, Markets&Markets, Web of Science Core Collection, а также Wintergreen Research.

Ключевые слова: классификация; экзоскелетные устройства; экзоскелеты; медицина; пневмомускулы; псевдоантропоморфная схема; нарушение опорно-двигательного аппарата.

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

Экзоскелет (рис. 1) повторяет биомеханику человека для пропорционального увеличения развиваемых усилий опорно-двигательного аппарата пользователя [1]. Интенсификация исследовательских работ в этом направлении в сочетании с современными достижениями 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.

На основе данных исследований Global Markets Insight и Markets&Markets объем поставок экзоскелетов к 2024 году превысит 86000 единиц (рис.2) [2].

Размер рынка мобильных экзоскелетов оценивался более чем в \$70 млн в 2016 году и, как ожидается, в течение прогнозируемого периода будет иметь самый высокий показате

тель CAGR 51% [2]. Данный показатель означает среднегодовой темп роста с учетом сложного процента.



Рис. 1. Экзоскелет Phoenix

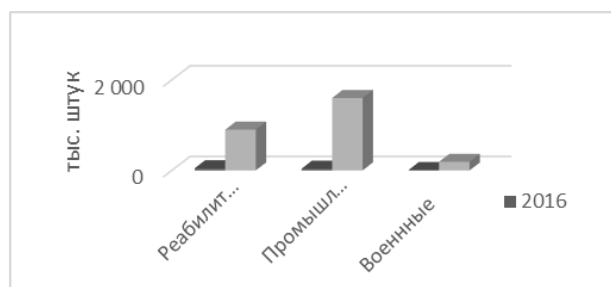


Рис. 2. Прогноз посегментного развития рынка экзоскелетов [2]

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.3) [3].

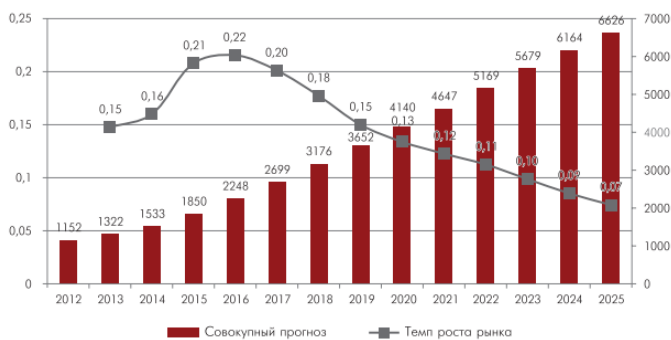


Рис.3. Прогноз мирового рынка роботизированных хирургических систем [3]

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 [3].

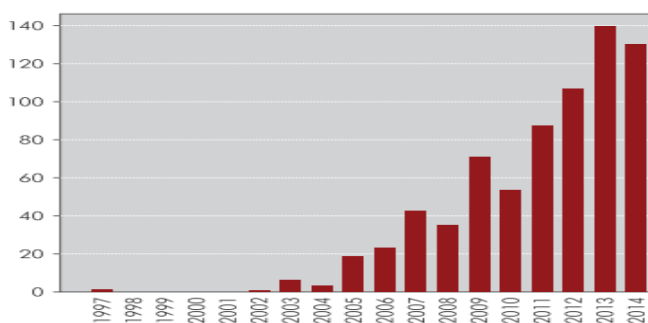


Рис. 4. Динамика публикационной активности

По количеству патентов лидирующими странами являются США, Китай и Республика Корея, в то время как Россия находится на 11-м месте по количеству патентов, полученных резидентами страны, при этом

доля национальных патентов составляет всего 1% от общемировой по данному направлению (рис. 5).

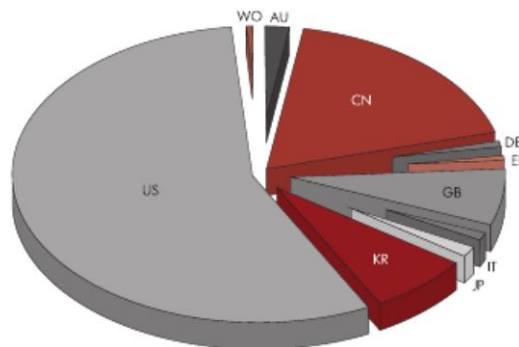


Рис. 5. Распределение патентов по направлению «технологии создания робота-экзоскелета для реабилитации людей с нарушениями опорно-двигательных функций» по странам приоритета [3]

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 представлена на рис. 6.



Рис. 6. Классификация экзоскелетов

Классификация экзоскелетов по следующим признакам: источник энергии и принцип работы привода (рис. 7), по точке приложения/локализации (рис. 8), область применения (рис. 9), наличие бортового ис-

точника энергии (рис. 10), тип силовых приводов (рис. 11), способ получения управляющих сигналов (рис. 12) и тип силовой установки и источника энергии (рис. 13).



Рис. 7. Классификация экзоскелетов по источнику энергии и принципу работы привода

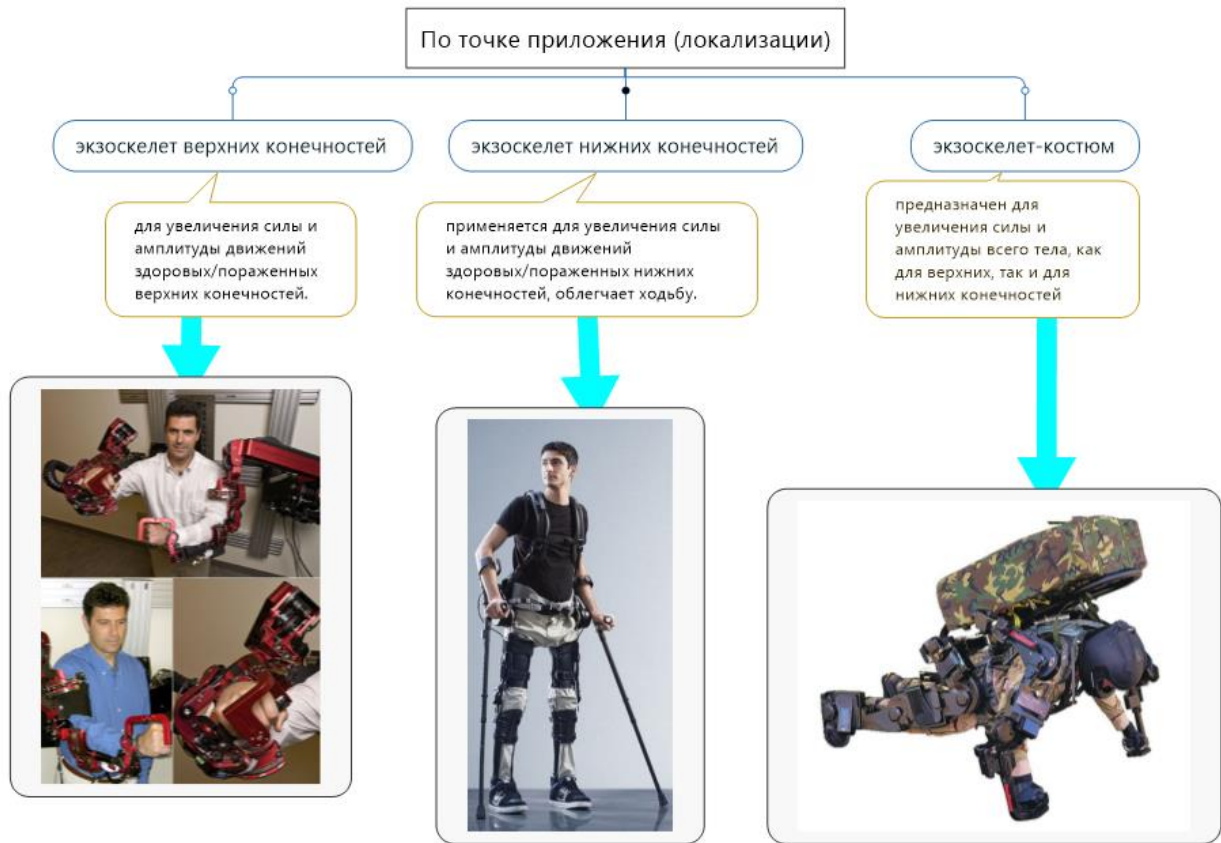


Рис. 8. Классификация экзоскелетов по точке приложения/локализации [7-9].

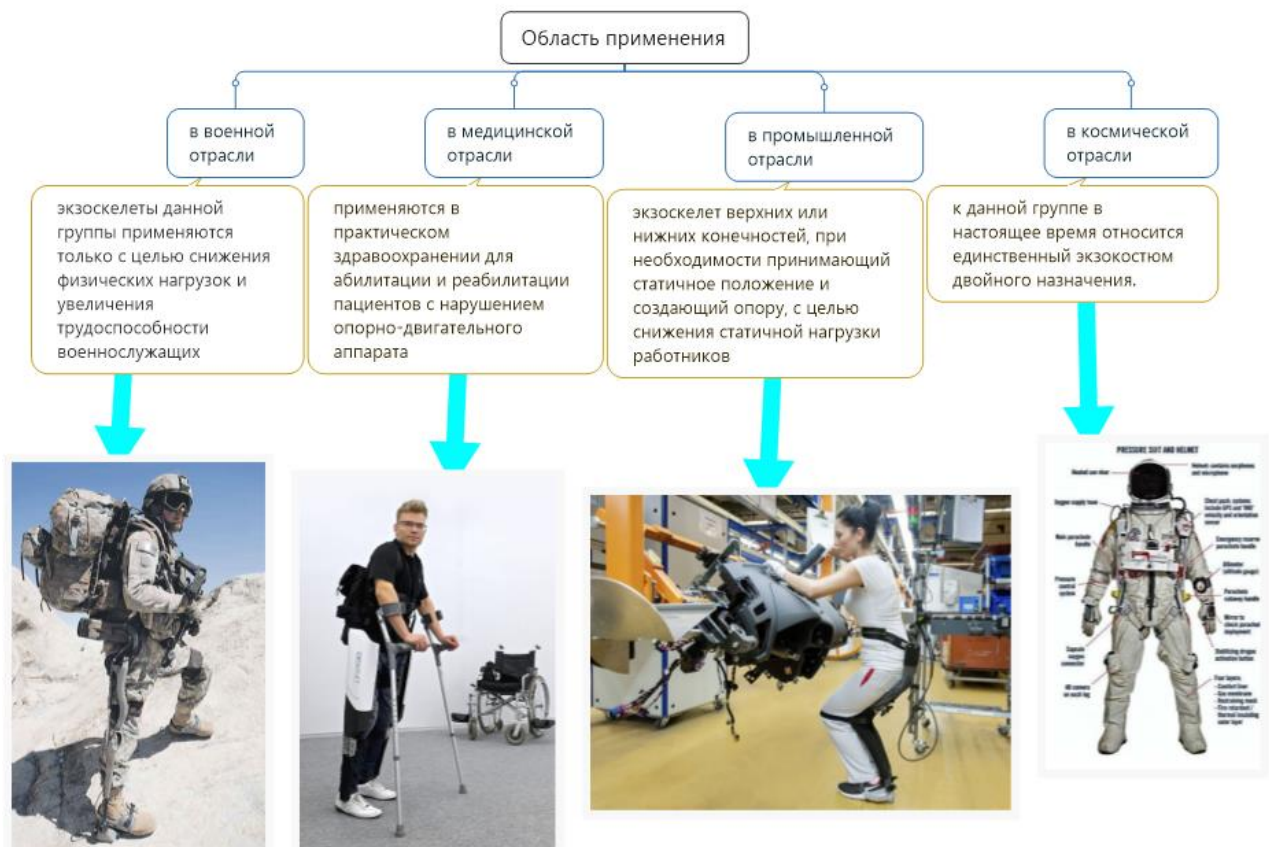


Рис. 9. Классификация экзоскелетов по области применения.



Рис. 10. Классификация экзоскелетов по виду бортового источника энергии [10].



Рис. 11. Классификация экзоскелетов по типу силовых приводов [11].



Рис. 12. Классификация экзоскелетов по способу получения управляющих сигналов

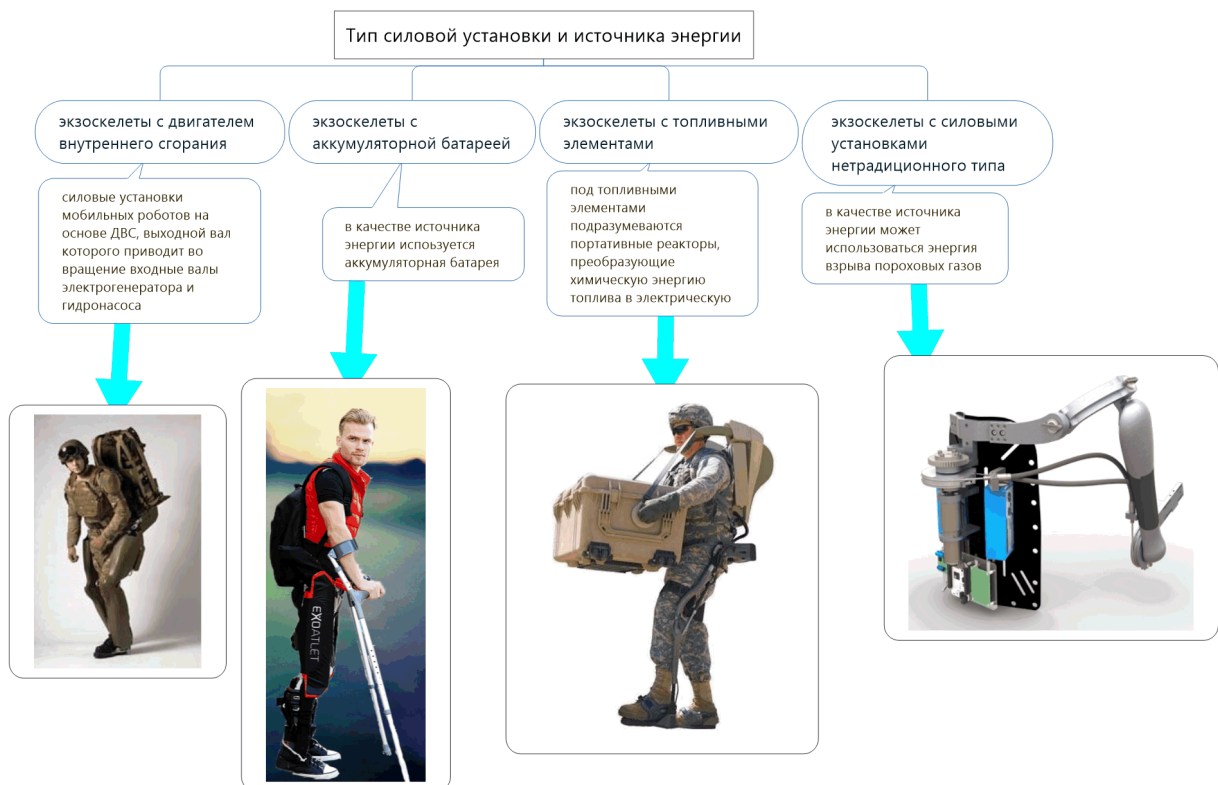


Рис. 13. Классификация экзоскелетов по типу силовой установки и источника энергии

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

В медицинской отрасли для реабилитации и абилитации маломобильных групп граждан востребованы экзоскелеты с пневмомускулами, поскольку они обеспечивают более линейные, по сравнению с пневмоцилиндрами, силовые характеристики и отличаются малыми габаритами и весом.

Практическая реализация перспективных схемных решений экзоскелетных устройств во многом определяется моделированием рабочих процессов в экзоскелетных устройствах на основе иерархических математических моделей. Учитывающих основные нелинейные факторы, характерные для данного типа систем, а также апробация предложенных схемных компоновочных решений экзоскелетов.

Таким образом, развитие теоретических и экспериментальных исследований в области создания и совершенствования псевдоантропоморфных 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. **Юферев 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>]
10. **More** on the perseus exoskeleton concept. [Электронный ресурс]. URL: <http://soldiersystems.net/2014/02/20/perseus-exoskeleton-concept/> (дата обращения 15.11.2018). [More on the perseus exoskeleton concept. (2018, Nov. 15) *NoSQL databases* [Online]. Available: <http://soldiersystems.net/2014/02/20/perseus-exoskeleton-concept/>]
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 Magazine, 2008. Vol. 15, Iss. 3. pp. 52-59. DOI: 10.1109/MRA.2008.927697

ОБ АВТОРАХ

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.

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

METADATA

Title: Exoskeleton. Classification and development prospects

Authors: A. V. Mesropyan¹, A. V. Vorobyeva²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

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

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 76-83, 2020. 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:

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

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