

УДК 531

РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКЗОСКИЛЕТОВ

Романов И.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,
Нижний Новгород, e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru*

В настоящее время в мире идут активные разработки экзоскелетов, которые предназначены для переноски тяжелых грузов, помощи людям с ограниченными физическими возможностями, применения в ходе аварийно-спасательных работ, ликвидации последствий стихийных бедствий или техногенных катастроф. Отдельным направлением развития экзоскелетов является применения их в военных целях, как для операций с боекомплектом и оборудованием в условиях базы или корабля, так и для непосредственного участия в боевых действиях. Предполагается что внедрение экзоскелета приведет к снижению потерь личного состава и увеличению мобильности. В статье описана история создания и приведены примеры разработок экзоскелетов. Кратко рассматриваются технические данные и особенности образцов. Целью работы является показать типичные элементы конструкций и основные разработки, а также затраты необходимые для разработки экзоскелета.

Ключевые слова: Пассивный экзоскелет, активный экзоскелет, инвалид, боевые действия

DEVELOPMENT AND CURRENT STATE OF EXOSKELETONS

Romanov I.D., Chernyshov E.A., Romanova E.A.

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: nil_st@nntu.nnov.ru*

Now in the world there is active development of exoskeletons which are intended for carrying of heavy freights, the help to physically disabled people, application during a wrecking, natural disaster response or technogenic catastrophes. The certain direction of development of exoskeletons is their applications in the military purposes, as for operations with a unit of fire and the equipment in the conditions of base or the ship, and for direct participation in military operations. It is supposed that introduction of an exoskeleton will lead to decrease in losses of staff and increase in mobility. In article the history of creation is described and examples of development of exoskeletons are given. Briefly specifications and features of samples are considered. The purpose of work is to show typical elements of designs and the main development, and also expenses necessary for development of an exoskeleton.

Keywords: Passive exoskeleton, active exoskeleton, disabled person, military operations

Человек всегда хотел увеличить силу своих мышц, тренировки практически достигли своего предела. Поэтому осталось 2 пути – медикаментозный или хирургический путь улучшения или усиление за счет внешних мышц. Эти пути имеют свои преимущества и недостатки [1].

Экзоскелет в целом представляет собой устройство, предназначенное для снижения нагрузки на человека и/или увеличения мускульной силы человека за счет использования внешнего прочного каркаса. Первыми подобными изобретениями стали рычаг, потом костыли или трость; ряд полных доспехов позволял частично компенсировать вес брони. Один из первых патентов на экзоскелет (эластипед) получил в 1890 году Nicholas Yagn (рис. 1.) [2].

В литературе впервые концепция брони с экзоскелетом была изложена в цикле книг о Томе Свифте (Tom Swift and His Jet Marine) опубликованном в 1954 году, затем в романах Ивана Ефремова «Туманность Андромеды» (1957) и Роберта Хайнлайна «Звёздный десант» (1959).

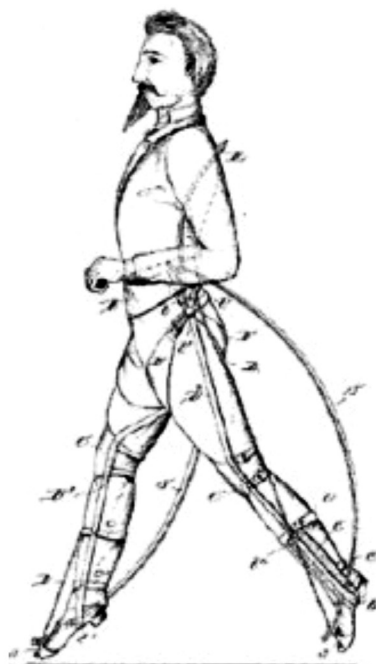


Рис. 1. Эластипед



Рис. 2. «Человеческий расширитель»
Electric Upper Extremity Exoskeleton

Пассивный экзоскелет не имеет активных приводов и не нуждается в источниках энергии и системе управления. Активный экзоскелет (*powered exoskeleton* или *suit*) имеет свою активную мускулатуру и, по сути, является управляемым роботом, дублирующим движения человека, для обеспечения работы необходимы источники энергии и управляющие системы и пр.

В практическом применении экзоскелеты первыми попытались взять на вооружение военные. Попытки применить данные конструкции в медицине, промышленности и в качестве специального снаряжения спасателей начались позднее.

Первый рабочий активный экзоскелет *Hardiman* был изготовлен компанией *General Electric* в шестидесятые годы двадцатого века. Конструкция предназначалась в частности для работы на складах и авианосцах при загрузке бомб и ракет. Однако гидравлика подразумевала насосы, и без того массивный *Hardiman*, зависел от еще больших размеров периферии – электрогенераторов и вспомогательной аппаратуры.

Одним из первых, кто начал заниматься разработкой экзоскелета, был профессор Миомир Вукобратович, который построил в Белградском институте имени Михайло Пупина экзоскелет на пневматических приводах. Для доработки и более детального исследования своего изобретения, Миомир Вукобратович обратился к своим советским коллегам. Испытания и исследования экзоскелета проводились в НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова командой совет-

ских ученых. Одновременно проводились и клинические исследования данного экзоскелета специалистами из Центрального Государственного Института Ортопедии и Травматологии [3].

После нескольких попыток создать эффективный экзоскелет наступило долгое затишье. В середине 1980-х было представлено несколько научно-исследовательских работ для переноски грузов названных «*human extenders*» или «человеческие расширители» (рис. 2) [4–5].



Рис. 3. Экзоскелет *HULC* с установленной системой «*Lift Assist Device*»

Начиная с 2000 года, компания *Sacros*, которую затем поглотила *Raytheon*, начала разработку экзоскелета. Разработанный экзоскелет *XOS* с питанием от внешнего источника рассчитан на военных. Оператор может без существенных усилий поднимать груз массой до 91 кг (при собственном весе конструкции 70 кг, для модели *XOS* – 68 и 90 кг соответственно). *XOS 2* предлагается сегодня в двух вариантах – облегченном боевом (экзоскелет облегает только ноги и таз и предназначен преимущественно для облегчения переноски снаряжения) и полном (для логистических подразделений). Предполагается что дальнейшим развитием станет *XOS 3*, он будет более легким, надежным и мобильным, чем две предыдущие разработки, и будет требовать еще менее мощного источника питания.

В 2005 году компания, *Berkeley Bionics*, которую затем поглотила *Lockheed Martin*, представила экзоскелеты *Berkeley Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX)* и *ExoHiker*. При этом создание *BLEEX* финансировалось

DARPA по проекту DAAD19-01-1-0509. В дальнейшем, после переделки, BLEEX стал HULC (Human Universal Load Carrier exoskeleton или Универсальное транспортно-ровочное устройство для человека).

Данный экзоскелет весит 55 фунтов (25 кг) и позволяет переносить груз до 90 кг в течение 1 часа со средней скоростью почти 5 км/ч и возможностью кратковременных ускорений до 16 км/ч. Питается он от литий-полимерной батареи, которая весит два килограмма. Планируется оснастить HULC топливным генератором (топлива JP8, в дальнейшем вероятно «единое топливо» [6] что позволит увеличить срок работы «костюма» до 72 часов). Причем экзоскелет можно надеть (снять) за 30 секунд. Основные элементы крепятся к ногам оператора, отдельные конструкции охватывают тело военнослужащего в районе пояса и нижней части спины. Однако HULC не оборудован системой увеличивающей силу рук, можно лишь поднимать и переносить крупногабаритные грузы с помощью Lift Assist Device (рис. 3).

В июле 2010 года Исследовательский инженерный центр СВ США (US Army Natick Soldier Research Development and Engineering Center) подписал с корпорацией «Локхид Мартин» контракт стоимостью 1,1 млн долларов на проведение испытаний нового, модернизированного экзоскелета HULC.



Рис. 4. Экзоскелет EKSO GT

В 2007 компания Ekso Bionics выиграла грант на 2 млн долларов для создания медицинского экзоскелета. В 2010 был представлен прототип Ekso (рис. 4–5). В 2012 Ekso, первый коммерческий экземпляр, сде-

лал 1 миллион шагов, к 2014 Ekso прошел уже 15 миллионов шагов.

Разработанный в 2008 году Honda Fundamental Technology Research Center экзоскелеты Honda Walking Assist Device позиционируются как устройства для людей с проблемами опорно-двигательного аппарата. Он производится в трёх размерах – малый, средний, большой. Литий-ионный аккумулятор обеспечивает работу в течении 2 часов.



Рис 5. Промышленный экзоскелет

Power Loader Light представленный подразделением Activelink японской Panasonic разрабатывается компанией еще с 2009 года. Благодаря встроенным в педали датчикам экзоскелет определяет движения и перемещает конечности, а также способен перераспределять вес с ноги на ногу. Отличительной особенностью новинки является то, что вся система работает под управлением Linux 2.6.

Другая японская компания, «Cyberdyne», разработала и уже поставляет малыми сериями различные экзоскелетные конструкции семейства HAL («Hydraulic Assisted Limbs»). Так аппарат HAL 5 позволяет увеличить силовые возможности человека в 10 раз. Отличительной особенностью экзоскелетов марки HAL является то, что они практически не ограничивают движения оператора, позволяют человеку поднимать груз, масса которого не менее чем в пять раз больше обычного.

Подобный проект также разработан новозеландской компанией Robotic Exoskeleton Legs/ Rex Bionics Robotic Exoskeleton (REX). Он имеет массу 38 кг. Управляется с помощью джойстика.

Аналогичными разработками занимаются и европейские компании. В частности, компания Sagem, входящая в группу Safran, подписала соглашение с лабораторией Percro (Perceptual Robotics Laboratory) из итальянского университета Sant'Anna School of Advanced Studies of Pisa по совместному проектированию экзоскелета. Французы будут отвечать за оценку с точки зрения физиологии человека и биомеханики. Sant'Anna School of Advanced Studies of Pisa в свою очередь сосредоточится на исследованиях в области контроля, прикладной механики и мехатроники. Совместная работа должна привести к началу сборки опытных образцов в 2017 году. Финансирование проекта будет осуществляться за счет общеевропейской научной программы Horizon 2020, а также средств группы Safran.

Однако наибольшие усилия в настоящее время затрачиваются на разработку экзоскелетов для применения в вооруженных силах для обеспечения лучшей защиты военнослужащих и снижения потерь, а также для увеличения автономности. Предполагается что экзоскелеты дополнят робототехнические комплексы [7] и позволят снизить потери личного состава [8]. В частности командование ВС США, рассматривает возможность включения экзоскелетных костюмов в состав снаряжения, создаваемого по программе Future Force Warrior. Срок реализации в районе 2030–2032 годов. Программа Warrior Web, разрабатываемая DARPA, охватывает всех американских военнослужащих. Однако большая часть испытаний девяти опытных образцов в первой фазе программы и четырех образцов на втором этапе проходит в центре сухопутных войск (Soldier Performance and Equipment Advanced Research), расположенном на Абердинском полигоне.

Начиная с 2001 года американское агентство DARPA инвестировало в создание военных экзоскелетов, в рамках программы «Concepts of Operations for Exoskeletons for Human Performance Augmentation», более 50 млн. долларов. Конечный опытный образец позволит сократить давление на военнослужащего груза массой 40 килограммов на 25 процентов, предполагается что экзоскелет позволит солдату без экипировки и снаряжения пробежать одну милю за четыре минуты (это немногим уступает мировому рекорду 3 мин. 43,13 сек.), длительность работы но-

симого бесшумного источника питания не должна быть менее 24 часов. Костюм должен автоматически адаптироваться к скорости и типу передвижения. Предполагается, что экзоскелет будет обеспечивать дополнительную защиту, должен быть при этом легким, вентилируемым и удобным в ношении, а также способным обрабатывать биометрические данные без подключения внешней ЭВМ. Проведение испытаний в условиях, максимально приближенных к боевым, запланировано на 2016 год.

В опытном образце Soft Exosuite разработки гарвардского института WBIE (Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering) применена технология подвижных блоков.

В образце Air Legs, разработки университета Аризоны, вместо подвижных блоков применяется давление воздуха. В настоящее время разработчики Air Legs добились снижения давления груза на военнослужащего примерно на 10 процентов.

Аналогичные работы ведутся в рамках программы Tactical Assault Light Operator Suit (TALOS) по заказу U.S. Special Operations Command (SOCOM). В частности на программу в 2014 году было затрачено 4 млн долларов [9].

В Китае также созданы образцы экзоскелетов предназначенные для военных. Так в главном госпитале Нанкинского военного округа прошли испытания образца. При тестировании опытной модели неподготовленному человеку предлагалось перенести на несколько десятков метров 35-килограммовый ящик с боеприпасами, преодолеть ряд препятствий. Испытуемый справился с заданием и движения не были скованными. Основные части тела солдата при помощи чувствительных датчиков подключены к центральной системе управления модулями. Это позволяет механической оболочке костюма точно повторять движения человека. Экзоскелет станет базой для унифицированной экипировки с интегрированной системой боевого управления, защиты, связи.

В Советском Союзе – во второй половине XX века также велись исследования, посвященные разработке экзоскелетов. В последние годы, в России работы посвященные построению экзоскелета, проводятся в Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН совместно с МГТУ им. Н.А. Баумана, а также в МГУ им. М.В. Ломоносова. В 70-х, 80-х годах прошлого века этот механизм испытывался в НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова [3, 10].

Экзоскелет пассивной модификации EchoAtlet P разработан группой российских ученых НИИ Механики МГУ

в рамках Государственного контракта № 07.524.11.4012 шифр заявки «2011-2.4-524-024-016» [11]. Он позволяет человеку переносить большие грузы (70–100 кг.), модификация экзоскелета – EchoAtlet P-1 – создана для снятия нагрузки с бойцов при переноске штурмового щита весом 35 кг. Производство экзоскелетов готовится на заводе Специальных материалов инновационного Научно-производственного объединения Специальных материалов.

Также в России подобные задачи решаются в Юго-Западном госуниверситете (Курск) под руководством доктора технических наук Яцуна С.Ф. при финансировании Российского научного фонда (грант 14-39-00008 «Создание научно-исследовательской лаборатории современных методов и робототехнических систем для улучшения среды обитания человека») [12]. Планируется, что образец будет обладать грузоподъемностью 100 килограммов, иметь возможность подниматься по лестницам, бегать и прыгать.

Ученые Нижегородского нейронаучного центра и Научно-исследовательского физико-технического института ННГУ имени Н.И. Лобачевского разрабатывают экзоскелет в рамках выигранного в 2014 году гранта на 26 млн р. Предполагается что экзоскелет позволит встать на ноги людям с нарушением опорно-двигательного аппарата.

По мнению экспертов, проблемы в проведении замеров с учетом метаболизма, в частности индивидуальную походку, существенно задержат поставки экзоскелетов в войска. Одна из целей DARPA – создание экзоскелета, который под униформой могли бы носить 9 процентов военнослужащих. В случае адаптации этого оборудования к оператору необходимо также разработать соответствующую методику обучения.

В наше время большой преградой для начала постройки полноценных экзоскелетов является отсутствие подходящих источников энергии, которые могли бы в течение длительного времени позволить машине работать автономно.

Кроме того боец в экзоскелете с трудом будет помещаться в «стандартной», существующей технике. В случае ранения и/или повреждения экзоскелета доступ к ране может быть ограничен.

Список литературы

1. Max Michaud-Shields Personal Augmentation – The Ethics and Operational Considerations of Personal Augmentation in Military Operations Vol. 15, No. 1, Winter 2014 • Canadian Military Journal 25–34 p.
2. Herr, Hugh. «Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions.» Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 6.1 (2009): 21. <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-6-21>.
3. Аведиков Г.Е., Жмакин С.И., Ибрагимов В.С., Иванов А.В., Кобрин А.И., Комаров П.А., Костенко А.А., Кузнецов А.С., Кузмичев А.В., Лавровский Э.К., Мартыненко Ю.Г., Митрофанов И.Е., Письменная Е.В., Формальский А.М. Экзоскелет: конструкция, управление // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Москва 16–19 июня 2014 г. С. 84–90.
4. Kazerooni H. Human-Robot Interaction via the Transfer of Power and Information Signals, IEEE Trans. on Systems and Cybernetics, V. 20, No. 2, Mar. 1990.
5. Kazerooni H. Extenders: Human/Machine Interaction via the Exchange of Power and Information Signals, IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Tokyo, Japan, October 1988.
6. Романов А.Д., Романов И.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А. Развитие концепции «единого топлива» в странах НАТО Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9. – С. 34–37.
7. Романов И.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А., Романов А.Д. Автономные и дистанционно управляемые машины поддержки пехотного отделения и непосредственного обеспечения боевых действий // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 3. – С. 71–75.
8. Чернышов Е.А., Абросимов А.А., Романов И.Д., Романов А.Д., Романова Е.А. Современная боевая травма и развитие средств индивидуальной бронезащиты // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9. – С. 42–46.
9. Armor & Mobility and Unmanned Tech Solutions May 2014. – № 9.
10. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семёнов Е.А., Суханов А.Н. Применение разгрузочных элементов в конструкции робота-экзоскелета // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 11. – С. 20–23.
11. [Электронный ресурс] Сайт министерства образования и науки РФ. URL: <http://old.mon.gov.ru>.
12. [Электронный ресурс] Сайт Российского научного фонда. URL: <http://rscf.ru>.