

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2020)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и  
теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/OMVA8100>

**Н. Т. Жетенбаев<sup>1</sup>, Г. К. Балбаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А. Буркитбаева, Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Институт космической инженерии и телекоммуникаций, Республика Казахстан, г. Алматы

## **ПОСЛЕДНИЕ РАЗРАБОТКИ И ПРОБЛЕМЫ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

*В статье рассматриваются экзоскелеты – это носимые роботизированные системы, которые объединяют человеческий интеллект и силу робота. Эта статья впервые вводит общую концепцию экзоскелетов и рассматривает несколько типичных экзоскелетов нижних конечностей в трех основных приложениях (реабилитация походки, помощь в локомотивном движении человека и увеличение силы человека), а также обеспечивает системный обзор приобретения намерения движения владельца и стратегий контроля за экзоскелетов нижних конечностей.*

*Ключевые слова: экзоскелет; реабилитация походки; локомоция человека помощь; медицинское устройство.*

### **Введение**

Экзоскелет – это носимое бионическое устройство, которое оснащено мощными приводами в суставах человека и объединяет человеческий интеллект и силу робота. С помощью встроенной мультисенсорной системы экзоскелет может воспринимать интенсивность движения владельца и соответственно оказывать ему помощь движение владельца. Он может прикладывать внешнюю силу, крутящий момент к конечностям владельца под контролем и, следовательно, обеспечивать мобильность, иницируемую пользователем. Экзоскелет повышает прочность суставов владельца.

За последние несколько десятилетий прогресс в разработке экзоскелетов был замечательным. Университеты, научно-исследовательские институты и промышленные компании активно проводят исследования в этой области, особенно в последние годы. Было разработано и испытано несколько

экзоскелетных систем. Основываясь на части человеческого тела, которую поддерживает экзоскелет, экзоскелеты можно классифицировать как экзоскелеты верхних конечностей, экзоскелеты нижних конечностей, экзоскелеты всего тела и специфические экзоскелеты поддержки суставов.

### **Материалы и методы**

В этой статье основное внимание уделяется, и обсуждаются некоторые типичные экзоскелеты нижних конечностей, которые были разработаны во всем мире. Эти экзоскелетные системы подразделяются на три категории в зависимости от их различных применений и целевых пользователей. Кроме того, обсуждаются ограничения существующих экзоскелетов нижних конечностей и соответствующие направления исследований и разработок.

Экзоскелеты нижних конечностей в основном разрабатываются для трех типов применений. Первое приложение фокусируется на реабилитации походки (помогает пациентам с нарушениями подвижности в восстановлении опорно-двигательного аппарата, двигательного контроля и походки). Реабилитация на основе экзоскелета также освобождает тяжелое время терапевтов в традиционной физиотерапии. Второе применение – это система локомоции человека, которая предназначена для парализованных пациентов, потерявших двигательную и сенсорную функцию в нижних конечностях. Использование экзоскелетов позволяет этим пациентам вновь обрести способность вставать, садиться и ходить, как и подобает здоровому человеку. Третье применение экзоскелетов направлено на повышение физических способностей трудоспособных людей (увеличение силы человека).

#### *Экзоскелеты нижних конечностей для реабилитации походки*

Пожилые люди с ослабленной мышечной силой могут быть не в состоянии ходить так часто, как раньше, а также могут потерять свою устойчивость во время ходьбы. Потеря двигательного контроля может произойти из-за многих других заболеваний.

Неврологические травмы, такие как церебральный паралич, инсульт, инфекционные заболевания, могут привести к значительной мышечной слабости и нарушению двигательного контроля. Ортопедическая реабилитационная тренировка обычно включает в себя формирование специфических движений, которые провоцируют двигательную пластичность и в конечном итоге улучшают двигательное восстановление. Для пациентов крайне важно улучшить свою опорно-двигательную силу и двигательный контроль, а также свести к минимуму функциональные дефициты.

В традиционной реабилитационной терапии следует задействовать интенсивный курс, а физиотерапевты должны обеспечивать пациентов сильно повторяющимися тренировками, которые обычно неэффективны. Экзоскелеты нижних конечностей, разработанные для реабилитации,

могут обеспечить пациентам интенсивные повторяющиеся движения, и, следовательно, терапевты могут быть освобождены от тяжелой работы в физиотерапии. В этой ситуации терапевты могут больше сосредоточиться на анализе показателей походки пациента, чтобы обеспечить более эффективную реабилитацию. Кроме того, с помощью экзоскелетов можно количественно оценить уровень двигательного восстановления пациентов с помощью сил взаимодействия или крутящих моментов, измеряемых датчиками. Новый вид роботизированной реабилитации также является экономически эффективным по сравнению с традиционной трудоемкой реабилитацией.

Роботизированный Ортез Lokomat был разработан компанией Носома (Цюрих, Швейцария) для реабилитации походки и обеспечивает функциональную тренировку ходьбы у пациентов с нарушениями подвижности нижних конечностей (рис. 1А) [1]. Вся система Lokomat состоит из роботизированного ортеза походки, системы поддержки веса тела и беговой дорожки. Пациент тренируется в среде виртуальной реальности с постоянной аудиовизуальной обратной связью. Ортез имеет 4 вида: степени свободы в целом, а тазобедренные и коленные суставы приводятся в действие линейными приводами для обеспечения вспомогательного крутящего момента в сагиттальной плоскости. Датчики силы, установленные между приводами и ортезом, измеряют крутящий момент тазобедренного и коленного суставов. Эффективность Lokomat-а как вмешательства в реабилитацию походки для улучшения функции надземной ходьбы у неврологических пациентов была подтверждена в ходе Всемирных клинических исследований [1–5].

Banala и др. из University of Delaware (Ньюарк, США) разработали активный экзоскелет ног (ALEX) для реабилитации походки пациентов с нарушениями подвижности [1]. У ALEX-а есть семь степеней свободы: три в поясничном суставе, два степени свободы в тазобедренном суставе (сгибание, разгибание и отведение, приведение), один степени свободы в коленном суставе (сгибание, разгибание) и один степени свободы в голеностопном суставе. Тазобедренные и коленные суставы в сагиттальной плоскости приводятся в действие линейными приводами, в то время как другие степени свободы пассивно удерживаются пружинами. Эффективность ALEX-а была продемонстрирована в ходе клинических испытаний с участием выживших после инсульта. После тренировки с ALEX-ом характер походки пациентов становится ближе к здоровому образцу походки с увеличенными размерами походки и скоростью ходьбы.

Экзоскелет Ekso GT, разработанный компанией Ekso Bionics (Richmond, Калифорния, США), представляет собой носимый экзоскелет-костюм, предназначенный для оказания помощи и реабилитации пациентам с различными уровнями слабости нижних конечностей [5] (рис. 1В). Он подходит для широкого круга пациентов, таких как парализованные пациенты и другие

пациенты с более низким уровнем нарушения подвижности, такие как выжившие после инсульта. Экзоскелет Ekso GT имеет в общей сложности шесть степени свободы (три степени свободы на ногу). Его тазобедренные и коленные суставы активны и могут оказывать помощь в сагиттальной плоскости. Голеностопные суставы пассивны и пружинят. Для реабилитационного применения он имеет функцию «вариативного ассистента», который может регулировать уровень помощи, предоставляемой экзоскелетом, исходя из потребности отдельного пациента. Клинические исследования подтвердили, что тренировка походки с помощью экзоскелета Ekso GT помогает пациентам заново научиться правильному шаговому паттерну и позволяет им делать большее количество шагов с более высокой скоростью по сравнению с традиционной реабилитацией.

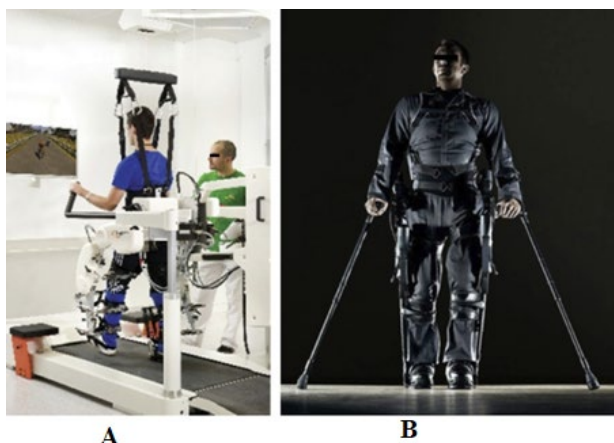


Рисунок 1 – Экзоскелеты для реабилитации походки. (А) роботизированный Ортез Lokomat (В) экзоскелет Ekso GT

Экзоскелеты нижних конечностей для помощи человеку в локомоции

Экзоскелеты нижних конечностей, разработанные для помощи человеку в локомотивном движении, в основном используются для помощи парализованным пациентам, которые полностью потеряли подвижность в нижних конечностях. Экзоскелеты могут обеспечить внешний крутящий момент в положениях суставов человека, чтобы заменить недостаточную двигательную функцию пациентов, и тем самым дать этим пациентам большую силу, чтобы восстановить способность выполнять основные повседневные движения, такие как стояние, сидение и ходьба [6].

Экзоскелет ReWalk, разработанный компанией ReWalk Robotics (Marlborough, MA, USA; рис. 2А), представляет собой осадок, который

обеспечивает мощное движение бедра и колена, чтобы люди с травма спинного мозга могли стоять прямо и ходить [1]. Это первый экзоскелет, разрешен управлением по контролю за продуктами и лекарствами США в 2014 году для использования в качестве личного устройства дома и в общине. Экзоскелет управляется бортовыми компьютерами с датчиками движения, восстанавливает самопроизвольную ходьбу, чувствуя наклон вперед верхней части тела, и имитирует естественную походку здорового человека. Основываясь на результатах клинических исследований экзоскелета ReWalk [5], парализованные пациенты могут практически стоять прямо и ходить с повышенной независимостью, а качество их жизни значительно улучшается. Эти результаты также указывают на то, что пациенты испытали снижение вторичных осложнений, возникающих в результате жизни в инвалидном кресле, таких как депрессия и невропатическая боль [7].

Экзоскелет Vanderbilt, разработанный Goldfarb и др. [2], является еще одним средством, позволяющим парализованным пациентам выполнять основные движения, такие как ходьба, сидение, стояние и хождение вверх и вниз по лестнице. Он принимает модульную конструкцию, которую сами парализованные пациенты могут быстро собрать и надеть или разобрать. Каждый сегмент бедра спроектирован с двумя бесщеточными прямыми двигателями постоянного тока, которые используются для приведения в действие тазобедренных и коленных суставов. Его общий вес составляет всего 12 кг, что относительно мало по сравнению с другими подобными экзоскелетами. Этот экзоскелет был реализован у пациента с полной двигательной и сенсорной травмой, и экзоскелет может обеспечить повторяемую походку с амплитудами коленных и тазобедренных суставов, которые аналогичны тем, которые наблюдаются при неинвазивной ходьбе. С помощью экзоскелета пациент может вставать и садиться, ходить, поворачиваться, подниматься и спускаться по лестнице [7–8].

Экзоскелет нижних конечностей, разработанный в Китайском университете Гонконга (СУНК-ЕХО) также нацелен на помощь в локомотивном движении парализованным пациентам (рис. 2 В). Экзоскелет имеет в общей сложности шесть степени свободы, среди которых сгибание, разгибание бедра и колена приводятся в действие двигателями постоянного тока, а голеностопные суставы пассивны. Пара умных костылей, оснащенных датчиками силы и ориентации, была разработана для системы экзоскелета для удобной и стабильной помощи. Приложение для смартфонов также было разработано для того, чтобы облегчить пациентам и терапевтам изучение и использование системы экзоскелета. Разработчики набрали четырех парализованных пациентов для проведения соответствующих клинических испытаний [3].

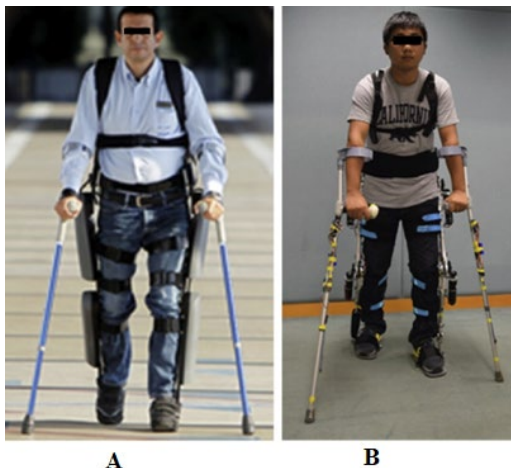


Рисунок 2 – Экзоскелеты для помощи передвижения. (А) носимая система ReWalk, (В) экзоскелет нижних конечностей, разработанный в Китайском университете Гонконга.

#### *Экзоскелеты нижних конечностей для увеличения силы человека*

Экзоскелеты нижних конечностей, разработанные для увеличения силы человека, могут повысить его силу и выносливость во время локомоции и позволяют людям выполнять задачи, которые они не могут легко выполнять самостоятельно. Они могут предоставить солдатам, работникам по оказанию помощи в случае стихийных бедствий, борцам с лесными пожарами и другим сотрудникам по чрезвычайным ситуациям возможность для перевозки тяжелых грузов, таких как продовольствие, спасательное оборудование, предметы первой помощи, средства связи и оружие [1].

Примерно два десятилетия назад исследовательская группа Калифорнийского университета в Беркли (University of California Berkeley, Калифорния, США) начала работать в области экзоскелетов. Экзоскелет нижних конечностей Berkeley (BLEEX), показанный на рис. 3А, был разработан для помощи солдатам в переноске тяжелых грузов [4]. У него есть семь степеней свободы на ногу: три степени свободы в тазобедренном суставе, одна степень свободы в коленном суставе и три степени свободы в голеностопном суставе. Среди этих степеней свободы, сгибание, разгибание бедра, отведение, приведение бедра, сгибание, разгибание колена и дорсифлексия лодыжки, подошвенное сгибание приводятся в действие линейными гидравлическими приводами. Остальные степени свободы пассивно приводятся в действие стальными пружинами и эластомерами.



Было сообщено, что владельцы BLEEX могут ходить со средней скоростью 1,3 м/с, неся при этом 34-килограммовую полезную нагрузку. Эта группа также разработала несколько других экзоскелетов: ExoHiker, ExoClimber и Human Universal Load Carrier [1].

Гибридная вспомогательная конечность (HAL) была разработана университетом Цукубы в Япония, для нескольких применений, таких как помощь здоровым людям в повышении их силы и помощь людям с нарушениями подвижности в выполнении основных повседневных движений. Системы HAL имеют различные конфигурации, такие как полнотелая версия, двухногая версия и одноногая версия. Пятая версия HAL (HAL-5) это полнотелый экзоскелет, предназначенный для увеличения силы трудоспособных людей и для реабилитации. HAL-5 имеет восемь управляемых шарниров, которые включают в себя суставы нижних конечностей и суставы верхних конечностей, и приводится в действие электродвигателями. Это позволяет рабочим перевозить более тяжелые грузы и выполнять функции помощи в аварийно-спасательных работах. HAL-5 может помочь человеку держать и поднимать тяжелые предметы весом до 70 кг [3–1–5].

Вспомогательный робот Hanyang Exoskeleton (HEXAR) - это экзоскелет нижних конечностей, разработанный Ханьянским университетом в Сеуле, Южная Корея (рис. 3В). Это малоподвижная носимая экзоскелетная система, разработанная для того, чтобы помочь людям переносить тяжелые грузы. Экзоскелет имеет в общей сложности 15 степени свободы: семь степени свободы для каждой ноги и один степени свободы в поясничном суставе. Только сгибание, разгибание бедра и колена степени свободы приводятся в действие электрическими двигателями. Этот экзоскелет состоит из центрального модуля ремней безопасности туловища, модуля тазобедренного сустава, модуля коленного сустава и модуля голеностопного сустава. Модуль жгута проводов туловища соединяет экзоскелет и владельца. При постоянном силовом механизме модуль тазобедренного сустава выдерживает вес верхней экзоскелетной системы и ее нагрузку. Модуль голеностопного сустава несет на себе весь экзоскелетной системы и обеспечивает двигательную силу для ходьбы с собственной упругой деформацией за счет потенциальной энергии. Владелец может ходить со скоростью 1,5 км/ч при загруженном весе 40 кг [10].

Помимо упомянутых ранее экзоскелетов, во всем мире было разработано множество других экзоскелетов. Для помощи пациентам с нарушениями подвижности экзоскелет LOPES был разработан университетом Твенте (Enschede, The Netherlands) в качестве тренажера для тренировки походки, экзоскелет ANdROS был разработан Гарвардской Медицинской школой (Cambridge, MA, USA) и реабилитационной больницей Spaulding Rehabilitation Hospital (Charlestown, MA, USA) в качестве носимого и портативного

инструмента для реабилитации походки, а человеко машинное взаимодействие между парализованным человеком и реабилитационным экзоскелетом было разработано Шанхайским университетом (Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China) для оказания помощи больным с параличом нижних конечностей. Для увеличения физических способностей здоровых людей экзоскелет HERCULE, который был разработан компанией RB3D в Осере, Франция, используется для повышения силы владельца. Экзоскелет медсестры-ассистента был разработан Технологическим институтом Kanagawa в Atsugi, Япония, чтобы помочь медсестрам в переносе пациентов. Роботизированный экзоскелет мягких нижних конечностей был разработан Wehner и др. в Гарвардском университете (Cambridge, MA, USA) для увеличения нормальной мышечной функции у здоровых людей, а недоиспользуемый экзоскелет ног для увеличения нагрузки был разработан Массачусетским Технологическим институтом Media Laboratory (Cambridge, MA, USA) [1–2–3].



Рисунок 3 – Экзоскелеты для увеличения силы человека. (А) экзоскелет нижних конечностей Berkeley (BLEEX) В) экзоскелет HEXAR-HL

Для управления экзоскелетом, чтобы обеспечить разумную, эффективную и комфортную помощь владельцу, необходимо получать различные типы данных о движении системы человек-экзоскелет во время движения. Измеренные данные о движении могут быть использованы для распознавания интенсивности движения владельца, анализа состояния движения и характера походки, а также оценки эффективности движения. Существует три типа биомеханических данных, обычно связанных с движением человека:

кинематические данные, такие как положение тела и углы наклона суставов; кинетические данные, такие как крутящий момент сустава человека, силы реакции земли и сила взаимодействия между носителем и экзоскелетом; и биоэлектрические данные, такие как электромиографические сигналы и сигналы мозга. Для измерения этих данных движения в системе экзоскелета обычно используются различные типы датчиков. Например, для измерения кинематических данных обычно используются энкодеры, потенциометры и блок измерения инерции, в то время как датчики силы, крутящего момента используются для сбора кинетических данных. С помощью нескольких сенсорных систем в аппаратном обеспечении и алгоритмов слияния датчиков в программном обеспечении контроллеры экзоскелетов могут получать и обрабатывать данные о движении для целей управления движением. При получении данных о движении помощь в движении экзоскелета может быть инициирована в соответствии с намерением владельца. Например, в мультисенсорной системе CUNK-EXO IMUs монтируются на рюкзаке для получения положения туловища владельца, а датчики давления проектируются в стельках и интеллектуальных костылях для определения состояния контакта с землей системы человеческого экзоскелета. С помощью этой информации центр тяжести владельца может быть вычислен в режиме реального времени, и намерение владельца движения может быть оценено путем обнаружения изменения в данные о движении. При управлении экзоскелетом ReWalk используется датчик наклона для оценки интенсивности ходьбы владельца. Наклон вперед верхней части тела владельца инициирует первый шаг пациента, и функциональная естественная походка генерируется при повторном смещении веса тела [6–7–8–9].

Поскольку биоэлектрические сигналы, измеряемые носителем, непосредственно указывают на намерение пациента двигаться, они также часто используются в системе экзоскелета. В сенсорной системе экзоскелета HAL-5 датчики электромиографические прикрепляются к коже владельца для определения активности мышц-разгибателей и сгибателей коленных и тазобедренных суставов. Измеряются сигналы напряжения, связанные с мышечной активностью [10].

### **Результаты и обсуждение**

Экзоскелетные системы интегрируют передовые технологии механики, материалов, электроники, бионики, технологии управления и искусственного интеллекта. За последние несколько лет прогресс в развитии ли был замечательным. Были достигнуты значительные улучшения в производительности, износостойкости и переносимости экзоскелетов. Кроме того, были разработаны некоторые небольшие и легкие приводы, удобные интерфейсы человек – экзоскелет, а также эффективные и долговечные

источники питания. Кроме того, изменения в моделях человеческого тела и биомеханике походки обеспечивают необходимый фон для проектирования устройств, которые точно имитируют динамику движения владельца. Однако при разработке и применении осадка остается еще много проблем.

### **Выводы**

В условиях старения общества и увеличения числа пациентов с нарушенной подвижностью нет никаких сомнений в том, что экзоскелетов нижних конечностей будет играть важную роль в терапевтической помощи и в реабилитации опорно - двигательного аппарата. Кроме того, использование осадка также является перспективным в промышленности для оказания помощи трудоспособным работникам с тяжелыми задачами. В данной работе авторы представили типичные и доступные в настоящее время системы ли. Затем были обсуждены сенсоры и методы, используемые в экзоскелетах для получения намерения движения владельца и анализа эффективности движения. Также были обобщены стратегии контроля осадка для каждого типа применения. Чтобы улучшить существующие осадки для будущего широкого применения, усилия должны быть сосредоточены на аспектах материалов, исполнительных механизмов, взаимодействия человека и машины, безопасности, энергетической эффективности и экономической эффективности экзоскелетов.

### **Список использованных источников**

1 **Жетенбаев, Н. Т.** «Экзоскелет роботы для нижних конечностей» Труды Международной научно-практической online конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения № 12), 18–19 июня 2020 г.

2 **Исабеков, Ж. Н., Ковальчук, А. К., Жетенбаев, Н. Т.** «Экзоскелеты нижних конечностей: краткий обзор» журнал Вестник КазАТК № 1 (108), С. 75–83., 2019; г. Алматы, Казахстан.

3 **Zhetenbaev, N. T., Balbayev, G. K., Ceccarelli, M., Issabekov, Zh. N.** «Brief history of exoskeletons», VESTNIK KazNRTU 2019 № 6., P. 292–295.

4 **Жетенбаев, Н. Т., Балбаев, Г. Қ., Исабеков, Ж. Н., Нұрғизат, Е. С.** «Будущее медицинского робота экзоскелета» International scientific journal «Global science and innovations 2020: central asia» Nur-sultan, Kazakhstan, june-july 2020. – С. 26–29.

5 **Zhetenbaev, N.T., Balbayev, G. K., Ceccarelli, M.** «Terminology and classification of exoskeletons», VESTNIK KazNRTU 2019 № 6., P. 285–292.

6 **Жетенбаев, Н. Т., Балбаев, Г. К.** «Изготовление экзоскелета стопы, состоящего из искусственной мышцы» МАТЕРИАЛЫ международной научной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ»

7 **Жетенбаев, Н. Т., Аманқосов, Т. Г., Сақаев, А. Д., Балбаев, Г. К.** «Экзоскелет с искусственным мышцом» «SCIENCE A SCIENCE AND EDUCATION IN THE MODERN WORLD: CHALLENGES OF THE XXI CENTURY» NUR-SULTAN, KAZAKHSTAN, APRIL 2020.

8 **Жетенбаев, Н. Т.** «Дизайн экзоскелета для нижних конечностей» XI Международная научно-техническая конференция «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» посвященная 45-летию образования Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева. Материалы конференции 16–18 октября 2020 г.

9 **Rupal, B. S., Singla, A., and Virk, G. S.** «Lower limb Exoskeletons: A Brief Review», Conference on Mechanical Engineering and Technology (COMET2016), IIT (BHU), Varanasi, India, 2016.

10 **Viteckova, S., Kutilek, P., and Jirina, M.** «Wearable lower limb robotics: A review» Biocybernetics and Biomedical Engineering, vol. 33, pp. 96–105, 2013.

## References

1 **Zhetenbaev, N. T.** «E`kzoskelet roboty` dlya nizhnix konechnostej» Trudy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy online konferencii «Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana nacii». [Zhetenbayev, N. T. «Robots Exoskeleton for lower extremities» Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference «Integration of Science, education and production-the basis for the implementation of the National Plan»]. (Saginovsky Readings No. 12), June 18–19, 2020.

2 **Isabekov, Zh. N., Koval`chuk, A. K., Zhetenbaev, N. T.** «E`kzoskelety` nizhny`x konechnostej: kratkij obzor». [Isabekov, Zh. N., Kovalchuk, A. K., Zhetenbayev, N. T. «Exoskeletons of the lower extremities: a brief overview»]. KazATK Bulletin No. 1 (108), P. 75–83., 2019; Almaty, Kazakhstan.

3 **Zhetenbaev, N. T., Balbayev, G. K., Ceccarelli, M., Issabekov, Zh. N.** «Brief history of exoskeletons», VESTNIK KazNRTU 2019 № 6., R. 292–295.

4 **Zhetenbaev, N. T., Balbaev, F. Қ., Isabekov, Zh. N., Nырғизат, E. S.** «Budushhee medicinskogo robota e`kzoskeleta» International scientific journal «Global science and innovations 2020: central asia». [Zhetenbayev, N. T., Balbayev, G. K., Isabekov, Zh. N., Nurgizat, E. S. «The future of the medical robot exoskeleton» International Scientific Journal «Global Science and Innovation 2020: Central Asia»]. Nur-Sultan, Kazakhstan, June-July 2020. – P. 26–29.

5 **Zhetenbaev, N.T., Balbayev, G. K., Ceccarelli, M.** «Terminology and classification of exoskeletons», VESTNIK KazNRTU 2019 № 6., R. 285–292.

6 **Zhetenbaev, N. T., Balbaev, G. K.** «Izgotovlenie e`kzoskeleta stopy`, sostoyashhego iz iskusstvennoj my`shcy» MATERIALY` mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i molody`x ucheny`x «FARABI ƏLEMI». [Zhetenbaev, N. T., Balbaev, G. K. «Making an exoskeleton of the foot consisting of an artificial muscle» MATERIALS of the international scientific conference of students and young scientists «FARABI ALEMI»]. Almaty, Kazakhstan, April 6–9, 2020 SECTION 3. THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS 83 p.

7 **Zhetenbaev, N. T., Amankosov, T. G., Sakaev, A. D., Balbaev, G. K.** «E`kzoskelet c iskusstvenny`m my`shezom» «SCIENCE A SCIENCE AND EDUCATION IN THE MODERN WORLD: CHALLENGES OF THE XXI CENTURY». [Zhetenbaev, N. T., Amankosov, T. G., Sakaev, A. D., Balbaev, G. K. «Science and education in the modern world: challenges of the XXI century»]. Nur-Sultan, Kazakhstan, April 2020.

8 **Zhetenbaev, N. T.** «Dizajn e`kzoskeleta dlya nizhnix konechnostej» XI Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya «E`nergetika, infokommunikacionny`e tehnologii i vy`shee obrazovanie» posvyashhennaya 45-letiyu obrazovaniya Almatinskogo universiteta e`nergetiki i svyazi imeni Gumarbeka Daukeeva. [Zhetenbaev, N. T. «Design for the lower extremities exoskeleton» XI International Scientific and Technical Conference «Energy, infocommunication technologies and higher Education» dedicated to the 45th anniversary of the formation of the Gumarbek Daukeev]. Almaty University of Energy and Communications. The proceedings of the conference on 16-18 October 2020.

9 **Rupal, B. S., Singla, A., and Virk, G. S.** «Lower limb Exoskeletons: A Brief Review», Conference on Mechanical Engineering and Technology (COMET2016), IT (BHU), Varanasi, India, 2016.

10 **Viteckova, S., Kutilek, P., and Jirina, M.** «Wearable lower limb robotics: A review» Biocybernetics and Biomedical Engineering, vol. 33, P. 96–105, 2013.

Материал поступил в редакцию 11.12.20.

*Н. Т. Жетенбаев<sup>1</sup>, Г. К. Балбаев<sup>2</sup>*

**Төменгі аяқ экзоскелеттерінің соңғы дамуы мен мәселелері**

<sup>1</sup>Сәтбаев университеті, Ә. Бүркітбаев атындағы

Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>2</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы

Энергетика және Байланыс Университеті,

Ғарыш инженериясы және телекоммуникациялар институты

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға 11.12.20 түсті.

N. T. Zhetenbaev<sup>1</sup>, G. K. Balbaev<sup>2</sup>

## Recent developments and problems of lower limb exoskeletons

<sup>1</sup>Satbayev University,  
A. Burkitbaev Institute of Industrial Automation and Digitalization,  
Republic of Kazakhstan, Almaty;  
<sup>2</sup>Almaty University of Power Engineering and  
Telecommunications named Gumarbek Daukeyev,  
Institute of Space Engineering and Telecommunications,  
Republic of Kazakhstan, Almaty.  
Material received on 11.12.20.

*Мақалада экзоскелеттер қарастырылады бұл адамның ақыл – ойы мен робот күшін біріктіретін роботты жүйелер. Бұл мақала алғаш рет экзоскелеттердің жалпы тұжырымдамасын енгізеді және төменгі аяқтың бірнеше типтік экзоскелеттерін үш негізгі қосымшада қарастырады. (жүрісті қалпына келтіру, адамның локомотивтік қозғалысына көмектесу және адамның күшін арттыру) Сонымен қатар жүріс иесінің қозғалыс және төменгі аяқ экзоскелеттерін бақылау стратегияларын жүйелі түрде шолуды қамтамасыз етеді.*

*Кілтті сөздер: экзоскелет; жүрісті оңалту; адамға локомотивті көмек; медициналық құрылғы.*

*The article discusses the exoskeleton is a wearable robotic systems that combine human intelligence and the power of the robot. This article introduces the general concept of exoskeletons for the first time and examines several typical lower limb exoskeletons in three main applications (gait rehabilitation, human locomotion assistance, and human strength enhancement), and provides a systematic overview of the acquisition of the wearer's movement intent and control strategies for lower limb exoskeletons.*

*Keywords: exoskeleton; gait rehabilitation; human locomotion assistance; medical device.*

Теруге 11.12.2020 ж. жіберілді. Басуға 17.12.2020 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,99 Мб RAM

Шартты баспа табағы 26,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3715

Сдано в набор 11.12.2020 г. Подписано в печать 17.12.2020 г.

Электронное издание

3,99 Мб RAM

Усл. печ. л. 26,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3715

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik.tou.edu.kz](http://www.vestnik.tou.edu.kz)