

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы на тему: «Разработка экзоскелета голеностоп с применением искусственных мышц» на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071600 – «Приборостроение».
Жетенбаев Нұрсұлтан Талғатұлы

Актуальность работы. Распространённость лиц с ограниченной подвижностью ежегодно растёт, что оказывает заметное влияние на качество жизни и обуславливает необходимость все большей зависимости от внешней помощи. Применение физиотерапии является обязательной мерой в лечении этих состояний. Интеграция роботизированного оборудования позволяет облегчить реабилитационные процессы с помощью тщательно контролируемых режимов упражнений.

Недостатки, присущие современным решениям в области роботизированной реабилитации, подчеркнули настоятельную необходимость разработки экономически эффективных устройств, способных проводить реабилитационные мероприятия для пациентов, страдающих травмами конечностей. В связи с этим использование экзоскелета голеностопного сустава, включающего искусственные мышцы, доказало свою эффективность в содействии восстановлению функций голеностопного сустава у пациентов после травмы. Кроме того, эти искусственные мышцы могут функционировать как посредники между человеческим телом и датчиками, тем самым открывая путь для разработки нового поколения протезных устройств.

Экзоскелет голеностопного сустава, оснащённый искусственными мышцами, имеет большое значение во многих областях, особенно в сферах здравоохранения, реабилитации и спортивных достижений.

Целью докторской диссертации является разработка моделей экзоскелета для голеностопного сустава с использованием искусственной мышцы.

Цели исследования заключаются в следующем:

1. Изучить существующие экзоскелеты голеностопного сустава, изучив их структурные конфигурации, технические компоненты и выявленные проблемы.
2. Проанализировать анатомические структуры, из которых получены компоненты экзоскелета, учитывая их биомеханические характеристики.
3. Определить и выбрать подходящие технологии искусственных мышц в соответствии с требованиями к конструкции экзоскелета.
4. Разработать компьютерную модель устройства экзоскелета.
5. Реализовать создание экспериментального прототипа экзоскелетной системы.
6. Провести всестороннее тестирование и доработку экзоскелета, включающее оценки при различных нагрузках и условиях

окружающей среды, чтобы обеспечить соответствие установленным критериям и эффективность в повышении мобильности и качества жизни.

Объектом данного исследования является экзоскелет голеностопного сустава, предназначенный для реабилитационных целей.

Предмет исследования включает конкретные компоненты и аспекты, связанные с прототипом экзоскелета голеностопного сустава с искусственными мышцами. К ним относятся:

1. Биомеханика голеностопного сустава: это исследование фокусируется на понимании биомеханических характеристик голеностопного сустава, охватывающих такие аспекты, как диапазон движений, требования к силе для различных движений и координация мышц во время функционирования голеностопного сустава.
2. Искусственные мышцы: Исследование посвящено разработке и оптимизации технологий искусственных мышц, которые могут включать пневматические, гидравлические и электрические системы, адаптированные для интеграции в экзоскелет.
3. Системы управления: Этот аспект исследования относится к разработке и усовершенствованию систем управления экзоскелетом, включая интеграцию датчиков, процессоров и механизмов питания.
4. Клинические исследования: в рамках исследования проводятся клинические испытания с участием лиц, проходящих реабилитацию, с целью оценки эффективности экзоскелета с точки зрения улучшения мобильности и повышения качества жизни испытуемых.
5. Повышение производительности: Этот сегмент исследования предназначен для оценки эффективности экзоскелета в повышении производительности во время реабилитации с учётом таких аспектов, как повышение скорости, ловкости и выносливости.

Методы исследования. задачи решаются с использованием методов теоретической и прикладной механики, теории робототехнических систем, вычислительной математики и систем управления.

Достоверность полученных результатов основана на согласованности и полноте исходных предположений, правильном применении методов теоретической и прикладной механики, совпадении результатов теоретических исследований с экспериментальными данными и практической реализации предложенной методологии анализа команд в рамках компоновки системы управления голеностопным суставом.

Научная новизна этого исследования подкреплена следующими ключевыми вкладами:

1. Оптимальное использование экзоскелетных устройств с искусственными мышцами: Исследование направлено на всестороннее изучение существующих экзоскелетов и связанных с ними систем управления. В результате было определено и предложено оптимальное решение для использования экзоскелетных устройств, оснащённых искусственными мышцами.

2. Повышенная эффективность экзоскелетов с искусственными мышцами: в ходе исследования была тщательно изучена конструкция экзоскелетов, включающих искусственные мышцы, и были инновационно разработаны новые решения для повышения общей эффективности этих устройств. Особое внимание было уделено тщательному анализу технологий создания искусственных мышц.

3. Отвечающий требованиям безопасности экзоскелет с искусственными мышцами: Научный прорыв заключается в создании экзоскелета голеностопного сустава, интегрированного с искусственными мышцами, тщательно спроектированного в соответствии со строгими стандартами безопасности. Это нововведение распространяется на выбор компонентов и электроприводов, обеспечивая полное соответствие требованиям электробезопасности. Полученный в результате экзоскелет служит для значительного улучшения мобильности и качества жизни людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата и тех, кто нуждается в реабилитации.

4. Контролируемое сопротивление и стимулирование заживления: Включение искусственных мышц в экзоскелет представляет новаторский подход к обеспечению контролируемого сопротивления и содействию восстановлению голеностопного сустава и укреплению мышц. Интеграция датчиков и передовых систем управления позволяет осуществлять точные и индивидуальные манипуляции с искусственными мышцами, что является примечательной особенностью конструкции экзоскелета.

5. Приспособляемость к различным нарушениям подвижности: Экзоскелет отличается своей приспособляемостью, удовлетворяя уникальные потребности людей с различными нарушениями подвижности. Такой индивидуальный подход облегчает индивидуальную реабилитацию и повышает спортивные результаты. Более того, способность экзоскелета приспосабливаться к меняющимся этапам процесса заживления позволяет постепенно восстанавливать и точно настраивать сопротивление и помощь, предоставляемые искусственными мышцами.

6. Целостный дизайн экзоскелета: по сути, научная новизна этого исследования заключается во всесторонней разработке нового дизайна экзоскелета, включающего искусственные мышцы и сложную систему управления. Эта инновация имеет значительные перспективы для повышения мобильности, реабилитации и спортивного мастерства, представляя собой значительный скачок в области технологий экзоскелета.

Практическая значимость и результаты:

Предлагаемый экзоскелет голеностопного сустава, предназначенный для реабилитационных целей, потенциально может стать основой для разработки инновационных систем управления. Электропривод, оптимизированный для нужд реабилитации голеностопного сустава, является универсальным и адаптируемым решением, которое может быть использовано для улучшения систем управления в различных других областях применения. Его применимость выходит за рамки самих

экзоскелетов, открывая возможности для создания новых и продвинутых систем управления в различных областях, где требуются точные и быстро реагирующие механизмы управления. Интеграция этой технологии электропривода в системы управления открывает путь к разработке более эффективных, действенных и индивидуальных решений для широкого спектра применений.

Выводы, предлагаемые для защиты:

1. Была разработана математическая модель, которая характеризует динамику движения экзоскелета голеностопного сустава с особым учётом линейности в компоненте электропривода. Эта модель обеспечивает основу для понимания и прогнозирования поведения системы.

2. Создание функционального прототипа экзоскелета голеностопного сустава с искусственными мышцами и интегрированной системой управления отвечает функциональным требованиям, необходимым для повышения мобильности и ускорения процесса заживления. Этот прототип демонстрирует осуществимость предложенной конструкции.

3. Был проведён комплексный биомеханический анализ голеностопного сустава для определения параметров функциональности экзоскелета, включая диапазон движений, требуемую силу и другие функциональные критерии. Этот анализ формирует фундаментальную основу для проектирования и оценки эффективности экзоскелета.

4. Эксперименты и пробы сыграли важную роль в оптимизации работы искусственных мышц, гарантируя, что они обеспечивают необходимое сопротивление и помощь голеностопному суставу. Этот процесс улучшил функциональность ключевых компонентов экзоскелета.

5. Разработка усовершенствованной системы управления, включающей датчики для определения движения голеностопного сустава, процессор для управления искусственными мышцами в режиме реального времени и надёжный источник питания, знаменует собой значительное достижение в обеспечении точной и быстрой работы экзоскелета.

6. Испытания экзоскелета при различных нагрузках и различных условиях подтвердили его соответствие установленным требованиям и эффективность в улучшении мобильности и качества жизни людей с ограниченной подвижностью. Эти тесты подтверждают практическую полезность устройства.

7. Создание эффективной конструкции экзоскелета, способной улучшить мобильность и качество жизни людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата, облегчить лечение и реабилитацию, а также улучшить спортивные результаты. Исследование способствует развитию вспомогательных технологий и их потенциалу позитивно влиять на жизнь нуждающихся.

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы представлены в 1 научном журнале и на 6 международных и научно-технических конференциях, в том числе:

- «IFToMM Asian Mechanisms and Machine Science Conference – 2021» (December 15-18, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam).
- «55th International Conference on VIBROENGINEERING – 2022» (April 21, 2022, in Almaty, Kazakhstan).
- «2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems», CIEES 2022, (24 – 26 November 2022, Veliko Tarnovo, Bulgaria).
- «The Joint International Conference of the 13th IFToMM International Symposium on Science of Mechanisms and Machines (SYROM 2022) and the XXV International Conference on Robotics (ROBOTICS 2022) » Iasi, Romania (November 17 - 18, 2022,).
- «8th International Workshop on New Trends in Medical and Service Robots, MESROB 2023 Craiova» 7-10 June 2023. прошёл апробацию.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и 1 приложения. Общий объем работы составляет 129 страниц, работа содержит 52 рисунка, 10 таблиц, список литературы из 122 названий.

Диссертационное исследование представляет собой комплексное исследование дизайна и разработки экзоскелета голеностопного сустава для реабилитации. Исследование структурировано следующим образом:

Введение: Во введении излагаются актуальность исследования, цели, предмет, задачи, методы, научная новизна и практическая значимость. В нем также освещается тестирование и публикация результатов исследований.

Глава 1: В этой главе проводится обширный обзор современного дизайна экзоскелетов в области реабилитации. В ней определены новые тенденции и намечены возможные направления на будущее. В главе также рассматриваются различные технологии искусственных мышц, используемые в экзоскелетах голеностопного сустава, включая пневматические и гидравлические приводы, последовательные эластичные приводы и электрические линейные приводы. Среди них электрические линейные приводы выбираются за их точность, эффективность и бесшовную интеграцию в сложную архитектуру экзоскелета.

Глава 2: В этой главе исследование сосредоточено на моделировании экзоскелета голеностопного сустава с использованием программного обеспечения SolidWorks с надстройкой Motion Simulation. Формула Сомова-Малышева используется для определения кинематики механизма в рамках пространственной кинематической структуры. Разработана математическая модель динамики движения экзоскелета голеностопного сустава, учитывающая линейность в электроприводе.

Глава 3: В этой главе подробно описывается выбор PLA (полилактидной кислоты) в качестве материала-прототипа для экзоскелета голеностопного сустава. В нем также представлен обзор электроники, встроенной в экзоскелет, наряду с описанием его алгоритма управления и программного обеспечения.

Глава 4: В главе 4 рассматриваются результаты экспериментальных исследований и функционального тестирования экзоскелета голеностопного сустава. Анализируемые конкретные движения включают подвижность голеностопного сустава, сгибание и разгибание стопы.

Заключение: В заключении обобщены результаты и ключевые выводы диссертационного исследования. В нем также намечается будущее для дальнейшей работы и развития в рамках выбранного направления исследований.

Это диссертационное исследование демонстрирует всестороннее изучение конструкции экзоскелета голеностопного сустава, включающее теоретическое моделирование, практическую разработку прототипа и функциональное тестирование. Это означает важный вклад в область реабилитации и вспомогательных технологий, обладающих потенциалом для повышения мобильности и качества жизни людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата.