

**Информационное сообщение о ходе проекта, выполняемого в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития
научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы»**

Соглашения о предоставлении субсидии: _____ 14.575.21.0031

(идентификатор RFMEFI57514X0031)

Тема: «Разработка системных компонентов инновационного роботизированного комплекса для реабилитации пациентов с нарушениями функций нижних конечностей вследствие травм и заболеваний головного и спинного мозга»

Этап 5 (заключительный): Обобщение и оценка результатов исследований

Цели и задачи исследования

Цели выполнения прикладных научных исследований (ПНИ):

Исследование и разработка комплекса научно-технических решений, направленных на создание системных компонентов инновационного экзоскелетонного роботизированного комплекса (ЭРК) для реабилитации пациентов с нарушениями функций нижних конечностей вследствие травм и заболеваний головного и спинного мозга.

Основные задачи ПНИ:

1. Разработать алгоритм управления движениями экзоскелетонного комплекса с учетом:

- информации о положении механических частей комплекса в пространстве;
- данных о движении механических частей комплекса относительно друг друга;
- данных о воздействии на нижние конечности экзоскелетона со стороны опорной поверхности;
- управляющих сигналов, формируемых пилотом экзоскелетона.

2. Разработать и изготовить компоненты ЭРК: активные коленные и тазобедренные суставы, пассивные голеностопные суставы;

3. Разработать и изготовить экспериментальный образец ЭРК, пригодный для проведения экспериментальной отработки с участием человека-оператора (пилота);

4. Разработать и изготовить испытательный стенд для проведения статических и динамических испытаний ЭРК, в том числе и с участием пилота;

5. Провести всесторонние испытания разработанного экспериментального образца ЭРК с целью определения характеристик комплекса и перспектив его применения для реабилитации пациентов с дисфункциями нижних конечностей и абилитации инвалидов.

Актуальность и новизна исследования

В России и во многих других странах на данный момент сформирован социально-значимый запрос на исследования и разработку роботизированных экзоскелетных комплексов, предназначенных как для решения задач реабилитации пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, так и для повышения уровня самообслуживания и качества жизни инвалидов.

Одной из основных проблем, препятствующих широкому распространению роботизированных экзоскелетов активного типа, является недостаточная адаптивность движений экзоскелета в процессе ходьбы к изменяющемуся характеру опорной поверхности: изменению угла наклона, появлению препятствий (порогов, бордюров, камней и т.п.), ступеней и др. На сегодняшний день относительно успешно решена задача движения по ровной горизонтальной поверхности. Задача перестройки параметров движения непосредственно в процессе самого движения, в общем случае, не решена.

Повысить адаптивность движений экзоскелета нижних конечностей к характеру опорной поверхности предлагается посредством:

- введения в состав сенсорной подсистемы датчика вертикали, служащего источником информации об ориентации механических элементов ЭРК в пространстве относительно вектора силы тяжести;
- введения в состав сенсорной подсистемы датчиков давления, оказываемого на стопы экзоскелета опорной поверхностью;
- введения в состав системы управления индикаторного устройства, демонстрирующего пилоту экзоскелета: текущие углы сгиба суставов, давление на стопы со стороны опорной поверхности, текущий режим работы экзоскелета и извещающего пилота об аварийной ситуации;
- введения в состав системы управления многорежимного интерфейса человек-машина.

Описание исследования

Направленность исследований в рамках проекта была следующей:

- разработка и изготовление макетов активных и пассивных суставов экзоскелета, обеспечивающих необходимые для движения пилота, одетого в экзоскелет, силомоментные и массогабаритные характеристики;
- разработка и изготовление экспериментального образца экзоскелетного роботизированного комплекса (ЭРК), обеспечивающего возможность автономного движения пилота, одетого в ЭРК;
- разработка алгоритмов управления движением ЭРК с учетом сигналов сенсорной подсистемы экзоскелета и управляющих воздействий со стороны пилота ЭРК;
- разработка и изготовление испытательного стенда для проведения испытаний как компонентов ЭРК (активных и пассивных суставов), так и экспериментального образца ЭРК в целом;
- поиск вариантов интеграции нервной системы пилота ЭРК с системой управления ЭРК;

- разработка и изготовление многорежимного интерфейса человек-машина, обеспечивающего адаптивность движений экзоскелетона нижних конечностей к характеру опорной поверхности;
- проведение исследований разработанного экспериментального образца ЭРК с целью определения его характеристик и перспектив использования в медицинских учреждениях для реабилитации и абилитации пациентов с патологиями и дисфункциями нижних конечностей.

При проектировании макетов активных и пассивных суставов экзоскелетона по литературным данным были определены предельные моменты и скоростные характеристики, которые необходимо развивать на валах приводов суставов экзоскелетона для реализации движения шагом. Основываясь на полученных данных были рассчитаны редукторы и подобраны бесколлекторные электроприводы. С помощью современных средств инженерного проектирования КОМПАС и Catia были разработаны чертежи и 3D-модели, по которым на станках с ЧПУ были изготовлены комплекты макетов голеностопных, коленных и тазобедренных суставов экзоскелетона.

Проектирование экспериментального образца ЭРК осуществлялось с помощью современных средств инженерного проектирования КОМПАС и Catia с учетом общих антропометрических данных и необходимости оперативной подгонки элементов экзоскелетона под индивидуальные антропометрические характеристики конкретного пилота. По итоговым чертежам и 3D-моделям были изготовлены сегментированный пояс, опорная рама и элементы крепления ЭРК.

Разработка алгоритмов управления движением ЭРК осуществлялась с применением прямой физической модели ЭРК, движущейся в поле силы тяжести Земли, с учетом:

- массогабаритных характеристик частей ЭРК и тела пилота;
- трения в суставах ЭРК;
- трения подошв ЭРК об опорную поверхность;
- характера опорной поверхности.

Модель ЭРК и окружающей обстановки были организованы таким образом, чтобы система управления ЭРК управляла моделью таким же способом, как и реальным ЭРК. На рисунке 1 приведен пример движения модели в ходе апробации подсистемы ручного режима управления ЭРК.

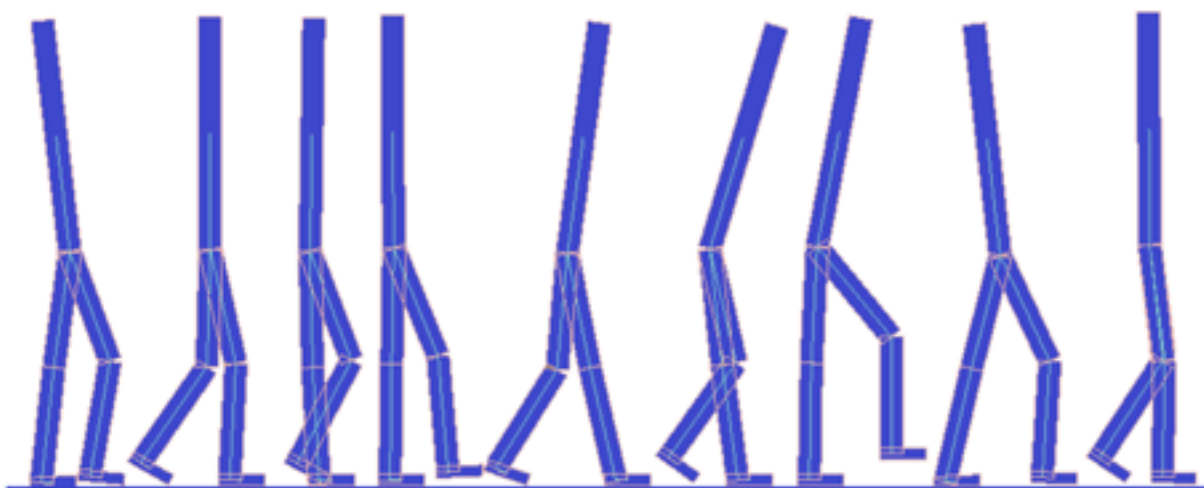


Рисунок 1 - Последовательность состояний физической модели ЭРК в ходе апробации подсистемы ручного управления

После оснащения механических составных частей ЭРК:

- датчиками углов сгиба суставов;
- бесколлекторными приводами;
- датчиками угловых скоростей;
- микропроцессорной системой управления с микромеханическим сенсором отклонения от вертикали;
- многорежимным интерфейсом человек-машина

и изготовления испытательного стенда, представляющего собой рампу, оснащенную подъемником и тележкой для вертикальных и горизонтальных перемещений ЭРК были проведены исследования разработанного экспериментального образца ЭРК с целью определения его характеристик и перспектив использования в медицинских учреждениях для реабилитации и абилитации пациентов с патологиями и дисфункциями нижних конечностей.

На рисунке 2 иллюстрируется апробация ЭРК в различных режимах работы.



Рисунок 2 - апробация ЭРК в различных режимах работы

В рамках исследований были апробированы различные варианты интерфейса человек-машина:

- на базе сигналов ЭКГ;
- на базе сигналов ЭМГ;
- с применением сенсоров давления, размещаемых на фалангах пальцев пилота.

Наиболее перспективными оказались интерфейсы на базе сигналов ЭМГ и с применением сенсоров давления. Интерфейс обратной связи с визуальным представлением информации о состоянии ЭРК показал свою эффективность с учетом применения пилотами с нарушениями чувствительности в нижних конечностях.

На рисунки 3 и 4 иллюстрируют экспериментальную отработку интерфейсов человек-машина на базе сигналов ЭМГ и ЭКГ соответственно.



Рисунок 3 - Отработка интерфейса человек-машина на базе сигналов ЭМГ

Результаты исследования

В результате исследований были определены требования к экспериментальному образцу экзоскелетонного роботизированного комплекса (ЭРК) медицинского назначения в части:

- массогабаритных характеристик;
- силомоментных характеристик;
- соответствия общим и индивидуальным антропометрическим данным пилота;
- интерфейсов управления;
- алгоритмов управления;
- стенда для проведения испытаний ЭРК

В соответствии с данными требованиями были разработаны математические и программные модели ЭРК, движущегося в поле силы тяжести с учетом физических ограничений: силы трения в суставах, массы и размеров составных частей ЭРК, силомоментных характеристик приводов, и окружающей обстановки.

На рисунке 5 приведен пример визуального представления моделирования движения ЭРК с учетом тела пилота.

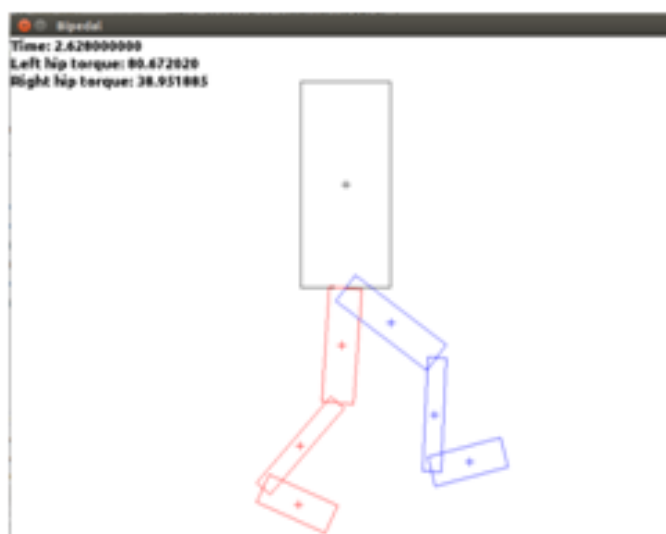


Рисунок 5 - Пример визуального представления моделирования движения ЭРК с учетом тела пилота

Физические модели ЭРК и окружающей обстановки позволили разработать и протестировать алгоритмы управления движением ЭРК в условиях, близких к реальным.

Разработанный и изготовленный в рамках проекта экспериментальный ЭРК представляет собой активный экзоскелет нижних конечностей с 4 степенями свободы. Активное движение осуществляется в сагиттальной плоскости в коленных и тазобедренных суставах. Экзоскелет приводится в движение бесколлекторными электроприводами. Голеностопный, коленный и тазобедренный суставы экзоскелета оснащены датчиками углов сгибания.

Микромеханический датчик обеспечивает систему управления экзоскелетом информацией о текущих углах отклонения торса пилота экзоскелета от вертикали в сагиттальной и фронтальной плоскостях, датчики давления в стопах обеспечивают систему управления экзоскелетом информацией о том, какая нога является опорной.

Бортовая система управления ЭРК-Б1 "Илья Муромец" обеспечивает следующие режимы работы:

- смена позы (сесть, встать);
- движение с автоматическим удержанием равновесия в сагиттальной плоскости;
- движение в ручном режиме (обеспечивается адаптация к неровностям дороги и спуск/подъем по лестницам).

В качестве интерфейса управления выступают:

- смартфон с сенсорным экраном (настройка параметров движения, диагностика технического состояния);
- интерфейс ручного управления (независимое управление суставами экзоскелета, выбор режима работы).

Состав ЭРК:

1. блоки приводов коленного и тазобедренного суставов;
2. голени (углепластик);
3. стопы (углепластик);
4. сегментированный пояс (алюминиевый сплав);
5. пояс с вмонтированными Li-полимерными батареями 36 В, 10 Ач;
6. контроллеры приводов суставов (НПФ Электропривод BLSD-20);
7. бортовая система управления (на базе TI BeagleBoard XM);
8. анатомические крепления к телу человека;
9. возможность интеграции с интерфейсом мозг-компьютер.

На рисунке 6 приведен пример движения ЭРК в режиме ПРОГУЛКА.



Рисунок 6 - ЭРК в движении (режим ПРОГУЛКА)

Исследования позволили реализовать многорежимный интерфейс человек-машина, позволяющий управлять ЭРК как автоматическим способом при движении по ровной поверхности, так и ручным в случае необходимости адаптации к сложным условиям (уклон, бордюры, лестницы и т.п.).

На рисунке 7 показана конструкция органов управления ЭРК в случае использования датчиков давления на фалангах пальцев пилота.

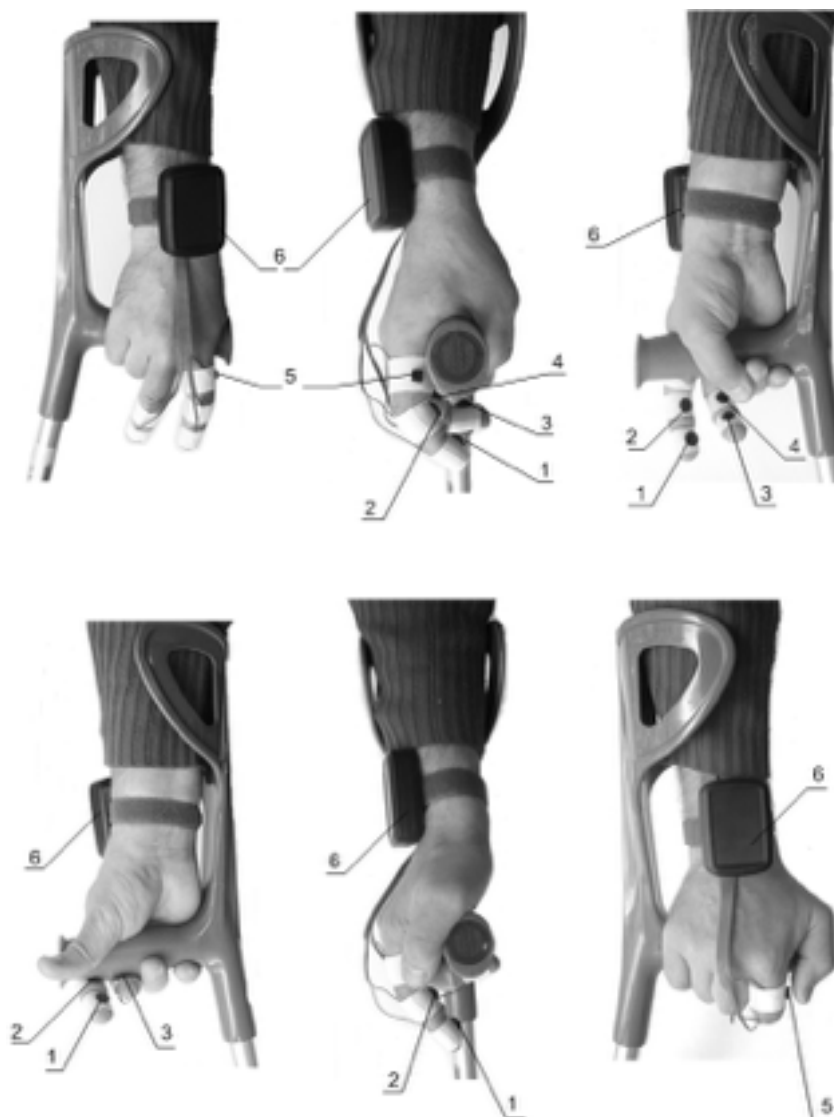


Рисунок 7 - Конструкция органов управления ЭРК в случае использования датчиков давления на фалангах пальцев пилота, где
 1 - 4 датчики давления (тензо- или магнито- резистивные);
 5 - кнопки переключения режимов;
 6 - усилители.

Практическая значимость исследования

Экзоскелетный роботизированный комплекс разработан в Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского в рамках проекта RFMEFI57514X0031 федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" в 2014 - 2016 гг. по соглашению с Министерством образования и науки России.

Реализованный в рамках проекта уникальный интерфейс человек-компьютер с обратной связью, обеспечивающий быстрое переключение различных режимов, позволяет адаптировать экзоскелет к различным категориям пациентов и решать широкий спектр задач реабилитации и абилитации.

На базе результатов, полученных в рамках проведенных исследований, может быть выполнена опытно-конструкторская работа, нацеленная на разработку конструкторской и технологической документации для организации серийного производства как компонентов ЭРК, так и функционально-законченных экзоскелетов нижних конечностей.

Экзоскелетный роботизированный комплекс может применяться:

- как средство передвижения инвалидов индивидуального (домашнего) использования;
- как средство реабилитации в медицинских клиниках;
- как научный инструмент для разработки новых методов лечения и реабилитации в медицинских научно-исследовательских организациях;
- как средство передвижения инвалидов в пределах предприятия/организации (на производствах, где работают инвалиды, в учебных заведениях и т.п.).

Следует отметить, что стоимость ЭРК, выполненного по технологиям разработанным в рамках проекта будет существенно ниже, чем стоимость экзоскелетов нижних конечностей представленных сегодня на рынке, что особенно актуально для российских потребителей.

Внедрение результатов проекта в медицинскую практику позволит существенно повысить качество жизни инвалидов с дисфункциями нижних конечностей, вернет их к активному образу жизни, позволит реализоваться во многих сферах деятельности: учеба, производительный труд, рекреация и др.