

ПАССИВНЫЙ ЭКЗОСКЕЛЕТ С ПРУЖИННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Борисов А.В.¹, Борисова В.Л.², Маслаков О.В.³, Маслова К.С.¹

¹*Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ»
в г. Смоленске;*

²*Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, г.Смоленск;*

³*Смоленский физико-математический лицей при МИФИ, г.Смоленск*

Ключевые слова: пассивный экзоскелет, комфортабельность, звено переменной длины, рекуперация энергии, пружины кручения, пружины растяжения-сжатия.

Аннотация. В статье предложена пространственная модель пассивного экзоскелета, имеющего звенья переменной длины. В каждом звене располагается пружина растяжения-сжатия, обеспечивающая рекуперацию энергии и поддержание необходимой длины звена при ходьбе или выполнении трудовых действий человека в экзоскелете. В шарнирах установлены пружины кручения, которые обеспечивают рекуперацию энергии при относительном вращательном движении звеньев.

PASSIVE EXOSKELETON WITH SPRING ELEMENTS

Borisov A.V.¹, Borisova V.L.², Maslakov O.V.³, Maslova K.S.¹

¹*Branch of National Research University Moscow Power Engineering Institute in
Smolensk;*

²*Smolensk State Agricultural Academy, Smolensk;*

³*Smolensk Physics and Mathematics Lyceum at MEPHI, Smolensk*

Keywords: passive exoskeleton, comfort, variable-length link, energy recovery, torsion springs, tension-compression springs.

Abstract. The article proposes a spatial model of a passive exoskeleton with links of variable length. Each link contains a tension-compression spring, which provides energy recovery and maintains the required link length when walking or performing labor actions of a person in an exoskeleton. A torsion spring is installed in each joint, which provides energy recovery during the relative rotational movement of the links.

Задачей разработанной модели экзоскелета является повышение комфортабельности при эксплуатации, вследствие рекуперации энергии и перераспределения нагрузки на элементы эндоскелета человека, частичная разгрузка мышц опорно-двигательного аппарата человека. Вследствие этого увеличивается время работы человека в экзоскелете. Возникает возможность использования пассивного экзоскелета с пружинными элементами в медицине при восстановлении двигательных способностей человека. Принцип действия предложенного пассивного экзоскелета состоит в том, что он облегчает движение звеньев эндоскелета человека. Кинетическая энергия движения, запасаемая в пружинах при сжатии в фазе постановки ноги на опору, возвращается в фазе отталкивания от опоры. Благодаря этому он помогает человеку совершить шаг, при этом снимая часть нагрузки с мышц опорно-двигательного аппарата. Аналогично пружины кручения помогают при сгибании-разгибании в шарнирах. Верхняя часть пассивного экзоскелета представлена корсетом для фиксации позвоночника, разгрузки плечевого пояса и крепления звеньев для рук. Проводя

сравнение предложенной модели пассивного экзоскелета с пружинными элементами с аналогичными запатентованными устройствами [1-2], можно сделать вывод, что предложенный экзоскелет отличается от аналогов использованием рекуператоров энергии двух видов и звеньев переменной длины. Следствием такого технического решения является его комфортабельность, в сравнении с имеющимися аналогами моделей экзоскелетов. Они имеют абсолютно твердые звенья, что не позволяет обеспечить синхронизации взаимодействия человека-машинной системы в виде человека в экзоскелете.

Разработанная модель экзоскелета поясняется чертежами, где на рисунке 1 представлена модель звена переменной длины; на рисунке 2 – схема стопы сложной конструкции; на рисунке 3 – рекуператор энергии в стопе; на рисунке 4 – вид сбоку (профиль); на рисунке 5 – вид спереди (фас), показаны в двухопорной фазе ходьбы.

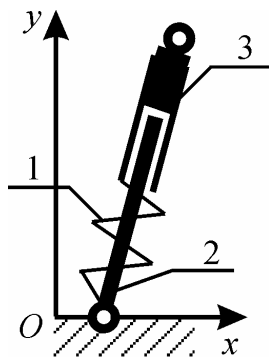


Рис. 1. Модель звена переменной длины

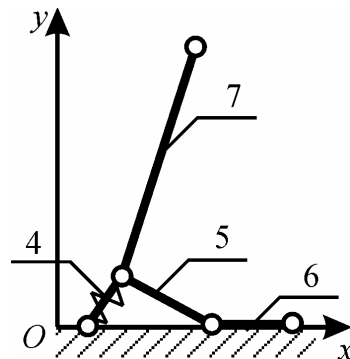


Рис. 2. Модель многозвенной стопы

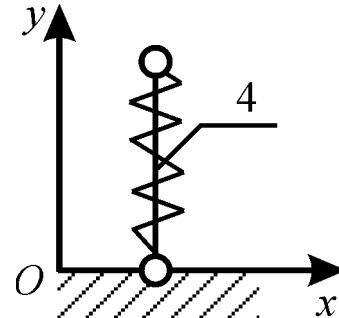


Рис. 3. Модель рекуператора энергии в стопе

Обозначения на рисунках 1-5: звено переменной длины - 1-3, деформируемое пяточное звено с рекуператором энергии - 4, звено, моделирующее плюсну - 5, звено, моделирующее фаланги пальцев - 6, стопы сложной конструкции - 4-6, голени - 7, бедра - 8, корсет с дугами жесткости - 9, верхняя часть корсета с возможностью прикрепления рук - 10, крепление корсета к нижним конечностям экзоскелета - 11.

Пассивный экзоскелет с пружинными элементами состоит из звеньев переменной длины (рис. 1), соединенных шарнирами-суставами. Каждое звено переменной длины состоит из пружины (рис. 1, поз. 1) и двух весомых абсолютно жестких частей – штока (рис. 1, поз. 2) и корпуса (рис. 1, поз. 3), совершающих движение относительно друг друга вдоль прямой, проходящей через начало и конец звена. В шарнирах установлены пружины кручения для рекуперации и дальнейшего использования энергии опорно-двигательного аппарата человека. Стопы сложной конструкции (рис. 2, поз. 4-6), связанные со звеньями, моделирующими голени (поз. 7), шарниры и подшипники, размещенные в шарнирах-суставах, в которых происходит относительное вращение звеньев экзоскелета. Стопы содержат рекуператор энергии (рис. 2, поз. 4), представленный отдельно на (рис. 3, поз. 4).

Пассивный экзоскелет с пружинными элементами в статике, в фазе опоры на две ноги представлен на рисунках 4 и 5. В динамике в одноопорной фазе движения на рисунках 6 и 7. Он содержит звенья для нижних конечностей (рис.

4-7, поз. 4-8) и одетый на человека упругий корсет (рис. 4-7, поз. 9-11) для фиксации позвоночника с дугами жесткости для крепления звеньев для помощи верхним конечностям (поз. 10), соединенный с креплением на тазобедренной части нижних конечностей экзоскелета (поз. 11).

Крепление всех стержневых конструкций пассивного экзоскелета к человеку реализуется при помощи мягких тканевых элементов с фиксаторами.

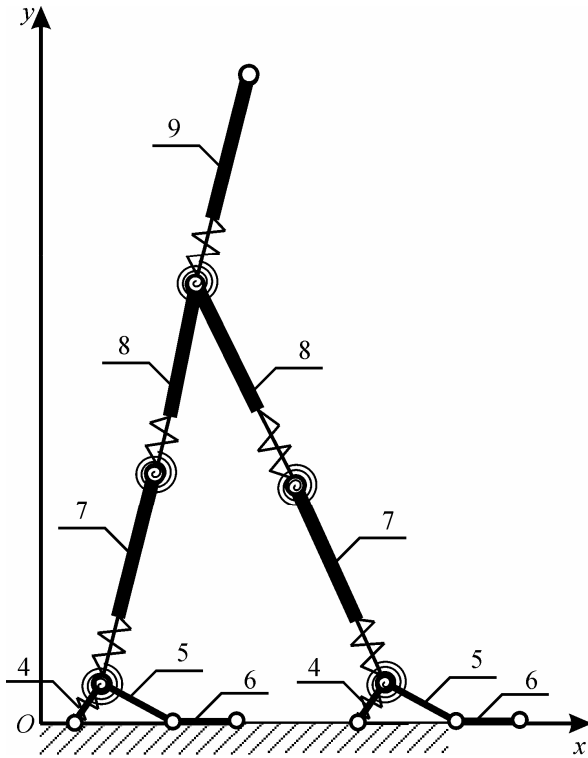


Рис. 4. Вид сбоку пассивной модели экзоскелета в фазе опоры на две ноги

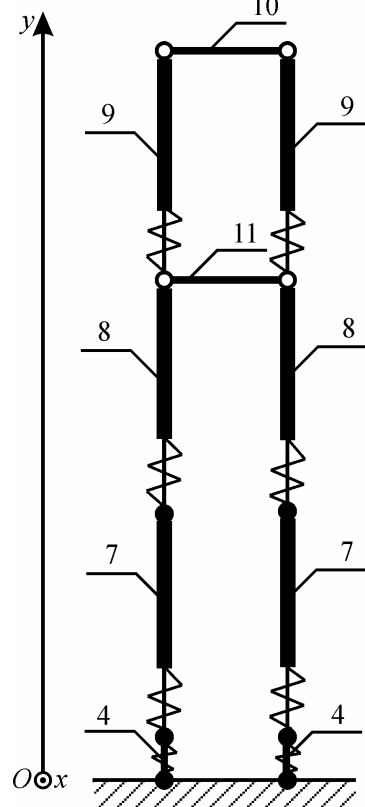


Рис. 5. Вид спереди экзоскелета в фазе опоры на две ноги

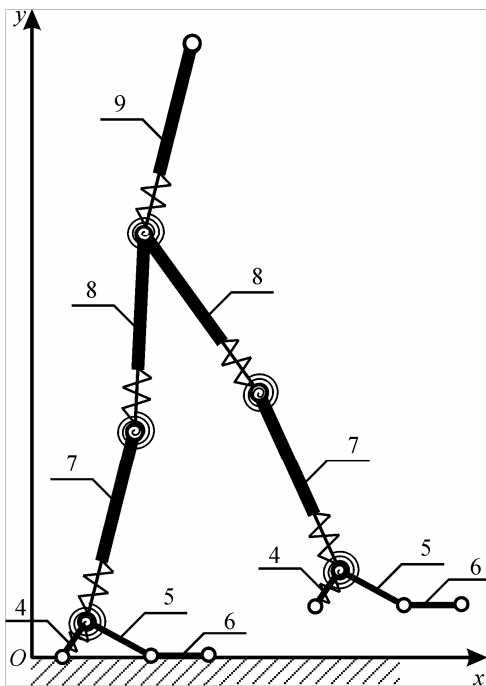


Рис. 6. Вид сбоку пассивной модели экзоскелета в одноопорной фазе движения

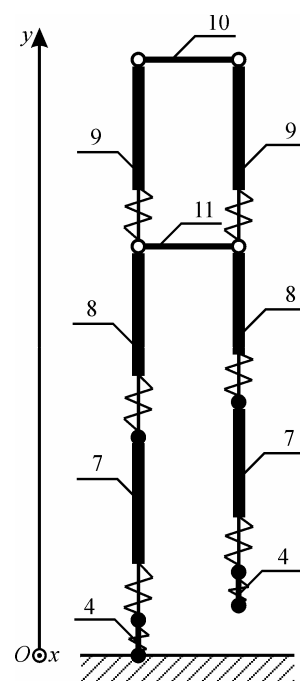


Рис. 7. Вид спереди пассивной модели экзоскелета в одноопорной фазе движения

В результате работы предложена модель пассивного экзоскелета со звеньями переменной длины и пружинными элементами двух типов, которая позволяет благодаря рекуперации энергии и перераспределению нагрузки, разгрузить элементы эндоскелета человека, увеличить его силу и выносливость, а с проблемой опорно-двигательного аппарата использовать экзоскелет для восстановления утраченных двигательных функций.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Смоленской области в рамках научного проекта № 19-48-670002.

Список литературы

1. Патент №2489130 РФ, МПК А61Н3/00, А61F5/052. Простая конструкция компенсации веса человека при ходьбе и беге / Родин И.А. – №2011148041/14; приоритет от 28.11.2011; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.
2. Патент №2567589 РФ, МПК А61Н3/00. Экзоскелет / Иванов В.Г., Мерзанюкова Е.В., Санин Д.А. (РФ) – №2014132377/14; приоритет от 05.08.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.

Сведения об авторах:

Борисов Андрей Валерьевич – д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры Высшей математики, филиал НИУ «МЭИ», Смоленск;

Борисова Вероника Леонидовна – к.т.н., доцент кафедры технологии и переработки сельскохозяйственной продукции, Смоленская ГСХА, Смоленск;

Маслаков Олег Вячеславович – директор, Смоленский физико-математический лицей при МИФИ, Смоленск;

Маслова Ксения Сергеевна – студентка, филиал НИУ «МЭИ», Смоленск.