

ОПИСАНИЕ 3D МОДЕЛИ ДВУХ ЗВЕНЬЕВ ЭКЗОСКЕЛЕТА С УГЛАМИ, ОТСЧИТЫВАЕМЫМИ МЕЖДУ ЗВЕНЬЯМИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Борисов А.В.¹, Борисова В.Л.², Кончина Л.В.¹, Куликова М.Г.¹

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

²*Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, г.Смоленск*

Ключевые слова: экзоскелет, звено переменной длины, угол между звеньями, локальная система координат, электрический двигатель, редуктор, реечная передача, винтовая передача.

Аннотация. В статье рассматривается модель двух звеньев переменной длины с углами, отсчитываемыми между звеньями. Отличие данной работы от имеющихся заключается в способе отсчета углов. Обычно углы в таких моделях отсчитываются от постоянного направления: от вертикали, либо от горизонтали. Однако, при практической реализации экзоскелета такой способ отсчета углов является неадекватным способу работы установленных в шарнирах электрических двигателей с редукторами, которые изменяют углы между звеньями. Данная работа снимает указанную проблему.

DESCRIPTION OF A 3D MODEL OF TWO EXOSKELETON LINKS WITH ANGLES COUNTED BETWEEN THE LINKS USING A LOCAL COORDINATE SYSTEM

BorISOV A.V.¹, Borisova V.L.², Konchina L.V.¹, Kulikova M.G.¹

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

²*Smolensk State Agricultural Academy, Smolensk*

Keywords: exoskeleton, link of variable length, angle between links, local coordinate system, electric motor, gearbox, rack and pinion, helical gear.

Abstract. The article discusses a model of two links of variable length with angles measured between the links. The difference between this work and the existing ones lies in the way the angles are counted. Usually the angles in such models are measured from a constant direction: from the vertical, or from the horizontal. However, in the practical implementation of the exoskeleton, this method of counting the angles is inadequate for the operation of electric motors with gearboxes installed in the hinges that change the angles between the links. This work removes the indicated problem.

В работах по моделированию антропоморфных механизмов различной структуры обычно рассматриваются двухмерные модели и используются углы, отсчитываемые от вертикали [1-7], либо от горизонтали [8-12]. При таком способе отсчета углов удобно проводить математическое моделирование движений антропоморфного механизма, решать широкий круг задач, начиная от синтеза траектории движения звеньев, заканчивая решением задачи Коши при заданном управлении. Однако, когда возникает необходимость инженерного практического проектирования модели, антропоморфного механизма, например, экзоскелета для опорно-двигательного аппарата человека, возникает проблема, связанная с пересчетом углов, чтобы получить углы между звеньями механизма.

Двухмерная модель экзоскелета с углами между звеньями описана в работе [13], где подробно описана и модель звена переменной длины. В данной работе представлена трехмерная модель экзоскелета с углами, отсчитываемыми между звеньями.

Рассмотрим модель двух звеньев экзоскелета с углами между звеньями и введенными локальными системами координат (рис. 1). Жирными толстыми линиями показаны инерционные абсолютно твердые участки звеньев A_0B_1 , C_1A_1 , A_1B_2 , C_2A_2 , более тонкими – невесомые участки переменной длины $B_1C_1 = \xi_1(t)$, $B_2C_2 = \xi_2(t)$.

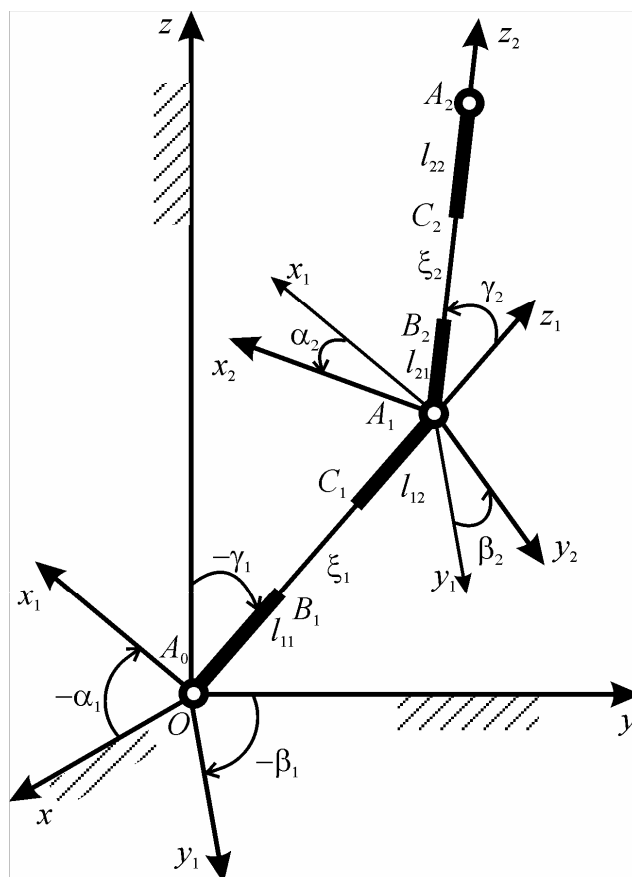


Рис. 1. 3D модель двух звеньев переменной длины экзоскелета с углами между звеньями

В отличие от работ [1-12], углы отсчитываются между звеньями, т.е. между осями локальных систем координат против хода часовой стрелки от звена с меньшим номером, к звену с большим номером, а в случае первого звена от неподвижной системы координат к локальной, связанной с первым звеном. На рис. 1 углы между неподвижной и первой локальной системой координат показаны в отрицательном направлении. Обобщенными координатами, характеризующими положение механизма в пространстве, являются углы и длины невесомых участков звеньев: φ_i , β_i , γ_i , ξ_i ($i = 1, 2$). Рассматриваемая система имеет восемь степеней свободы. Для реализации управляемого движения необходимо использовать восемь независимых приводов – для управления каждым углом поворота и изменением длины каждого звена. Приводы могут быть различными: гидравлическими, пневматическими, электрическими. В дальнейшей работе предполагается использовать электрические двигатели. Для

управления угловыми координатами электродвигатели будут работать в паре с редукторами, понижающими обороты и увеличивающими крутящие моменты. Для линейных координат, управляющих изменением длины звена, предполагается использовать электрический двигатель с реечной или винтовой передачей. Метод составления системы дифференциальных уравнений движения подобных системе с использованием локальных систем координат приводится в работе [14], где выписаны и матрицы перехода из одной локальной системы координат в другую. Используя этот метод, получена система дифференциальных уравнений движения в форме уравнений Лагранжа второго рода.

Таким образом, описана модель двух звеньев переменной длины, использующая углы между звеньями. В дальнейшем, используя полученную модель, добавляя звенья, можно получить модель экзоскелета с любым заданным количеством звеньев, что позволит создавать экзоскелеты для человека с заданными функциональными свойствами.

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

Список литературы

1. Белецкий В.В. Двухногая ходьба: модельные задачи динамики и управления. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
2. Бербюк В.Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем. – Киев: Наукова Думка, 1989. – 192 с.
3. Вукобратович М. Шагающие антропоморфные механизмы. – М.: Мир, 1976. – 541 с.
4. Павловский В.Е. О разработках шагающих машин. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2013. – №101. – 32 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-101>
5. Сирегар Х.П. Энергетические затраты при ходьбе антропоморфных роботов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 01.02.01. – М.: 2003. – 17с.
6. Смалюк А.Ф. Динамика многозвенных механических систем в моделировании процессов двухногой ходьбы: дисс. ... канд. физ. мат. наук: 01.02.06. – Минск: 1999. – 85 с.
7. Формальский А.М. Перемещение антропоморфных механизмов. – М.: Наука, 1982. – 368 с.
8. Борисов А.В., Волкова Ю.Е., Кончина Л.В., Маслова К.С. Пассивно-активный экзоскелет со звеньями переменной длины и пружинными элементами двух типов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2020. № 9. С. 54-64.
9. Борисов А.В., Розенблат Г.М. Моделирование динамики экзоскелета с управляемыми моментами в суставах и переменной длиной звеньев с использованием рекуррентного метода составления дифференциальных уравнений движения // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2018. № 2. – С. 148-174.
10. Борисов А.В., Розенблат Г.М. Матричный метод составления дифференциальных уравнений движения экзоскелета и управление им // Прикладная математика и механика. – 2017. – Т. 81. – № 5. – С. 511-522.
11. Борисов А.В. Модель экзоскелета и антропоморфного робота с многозвенными стопами // Технология машиностроения и материаловедение: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – №1. – С. 21-23.
12. Борисов А.В. Сравнительный анализ поведения экзоскелетов с различными моделями звеньев переменной длины // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2017. – №1. – С.59-63.
13. Борисов А.В., Кончина Л.В., Куликова М.Г., Маслова К.С. Моделирование движения человека в защитном пассивном экзоскелете с пружинными элементами двух типов. //

- Вопросы оборонной техники. Научно-технический журнал. Технические средства противодействия терроризму. Серия 16. Вып. 9-10 (147-148). – 2020. – С. 23-31.
14. Черноусько Ф.Л., Ананьевский И.М., Решмин С.А. Методы управления нелинейными механическими системами. – М.: Физматлит, 2006. – 328 с.

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;

Кончина Лариса Владимировна – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры Технологические машины и оборудование, филиал НИУ «МЭИ», Смоленск;

Куликова Марина Геннадьевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры Технологические машины и оборудование, филиал НИУ «МЭИ», Смоленск.