

Математическое моделирование электромеханической модели экзоскелета с тремя активными управляемыми звеньями

А.О. Блинов¹, А.В. Борисов^{1*}, Л.В. Кончина¹, К.С. Маслова¹

¹Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске,
Смоленск, Россия

*BorisowAndrej@yandex.ru

Аннотация. Проведено математическое моделирование активного экзоскелета в виде электромеханической модели, содержащей три подвижных управляемых звена, соединенных между собой шарнирами. Для рассматриваемой математической модели активного экзоскелета составлены дифференциальные уравнения движения. С помощью численных методов в созданном программном комплексе среды универсальной системы компьютерной математики решены обратная и прямая задачи динамики. Применительно к созданной математической модели трех подвижных звеньев экзоскелета с учетом электроприводов с использованием современных методов математического моделирования проведено комплексное исследование, рассматривающее проблемы управления экзоскелетом, в виде решения обратной и прямой задач динамики. Углы между звеньями, задающие антропоидное движение, определяются аналитическим путем. Для каждого электропривода вычисляются моменты, управляющие движением звеньев в виде решения обратной задачи динамики. Найденные моменты аппроксимируются ступенчатыми кусочно-постоянными функциями, моделирующими импульсное управление движением экзоскелета. Найденны зависимости угловых координат, описывающих положения звеньев активного экзоскелета с течением времени. Проведен сравнительный анализ движения звеньев, получающегося в результате численного решения задачи Коши для математической модели экзоскелета в виде дифференциальных уравнений с исходным заданным движением звеньев. Установлено хорошее соответствие результатов моделирования с импульсным управлением исходному движению. Подсчитаны суммарные затраты энергии. Построена модель движения с учетом работы электроприводов на основе уравнений динамики. Получено численное решение задачи Коши для системы, включающей электроприводы. В результате применения качественных, аналитических и численных методов исследования созданной математической модели трех подвижных звеньев экзоскелета с учетом наличия электроприводов определена значимость влияния электроприводов на динамику механизма. Построенная электромеханическая модель трех звеньев экзоскелета реализована в среде универсальной системы компьютерной математики Wolfram Mathematica 11.3.

Ключевые слова: экзоскелет, математическая модель, подвижные системы координат, уравнения Лагранжа второго рода, управляющие моменты, электроприводы, угловые координаты, угловые скорости, угловые ускорения, энергозатраты, численные методы, программный комплекс, система компьютерной математики

Для цитирования: Блинов А.О., Борисов А.В., Кончина Л.В., Маслова К.С. Математическое моделирование электромеханической модели экзоскелета с тремя активными управляемыми звеньями // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 5. С. 120–132. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-5-120-132

Mathematical modeling of electromechanical model of exoskeleton with three active controlled links

A. Blinov¹, A. Borisov¹, L. Konchina¹, K. Maslova¹

¹Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

¹BorisowAndrej@yandex.ru

Abstract. Mathematical modeling of an active exoskeleton in the form of an electromechanical model containing three movable, controlled links interconnected by hinges has been carried out. For the considered mathematical model of the active exoskeleton, differential equations of motion are proposed. Numerical methods are used to solve the inverse and direct problems of dynamics in the created software package in the environment of the universal system of computer mathematics. A comprehensive study has been carried out, considering the problems of exoskeleton control, in the form of solving inverse and direct problems of dynamics, in relation to the created mathematical model of three moving parts of the exoskeleton, taking into account electric drives, using modern methods of mathematical modeling. Analytically determined are the angles between the links that define the anthropoid movement. Solving the inverse problem of dynamics, the moments controlling the movement of the links are calculated for each electric drive. The found moments are approximated by stepwise piecewise-constant functions simulating the impulse control of the exoskeleton motion. Dependences of the angular coordinates describing the positions of the links of the active exoskeleton over time are found. A comparative analysis of the numerical solution of the Cauchy problem for the mathematical model of the exoskeleton in the form of differential equations with the initial, given movement of the links is carried out. A good agreement between the results of simulation with impulse control and the original motion is established. The total energy costs have been calculated. Modeling is carried out taking into account the presence of electric drives: dynamic equations for this model are compiled. The Cauchy problem for the system is numerically solved taking into account the presence of electric drives. As a result of applying qualitative, analytical and numerical methods for studying the created mathematical model of three moving parts of the exoskeleton, taking into account the presence of electric drives, the significance of the influence of electric drives on the dynamics of the mechanism was established. The implementation of the electromechanical model of the three links of the exoskeleton was carried out in the environment of the universal system of computer mathematics "Wolfram Mathematica 11.3".

Keywords: exoskeleton, mathematical model, moving coordinate systems, Lagrange equations of the second kind, control moments, electric drives, angular coordinates, angular velocities, angular accelerations, energy consumption, numerical methods, software package, computer mathematics system

For citation: Blinov A., Borisov A., Konchina L., Maslova K. Mathematical modeling of electromechanical model of exoskeleton with three active controlled links. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2023, vol.18, no.5, pp.120-132 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-5-120-132

Введение

Известно, что математическая модель экзоскелета, включающая три подвижных звена экзоскелета, более точна и реалистична в сравнении с моделью с меньшим чис-

лом звеньев, что позволяет отнести задачу построения таких моделей к весьма актуальным. Модель необходима для повышения уровня взаимодействия экзоскелета и человеческого организма, выступая инструментом разработки эффективных и удобных экзоскелетов. К осо-