

Applying the models of magneto-rheological substances in the study of exoskeleton variable-length link with adjustable stiffness

A. Blinov¹, A. Borisov^{1*}, L. Konchina¹, M. Novikova¹

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

* BorisowAndrej@yandex.ru

Abstract. The article considers the existing mathematical models of magneto-rheological substances and describes some of their properties. As a result of the open sources analysis, it was found that there are no exoskeleton models with variable-length links with adjustable stiffness, based on the application of magneto-rheological fluids. Therefore, the application of these fluids in other technical systems is considered. A mathematical model of an exoskeleton variable-length link with adjustable stiffness is proposed. This link can be used for supporting and strengthening the lower limbs of the human musculoskeletal system. The difference between the proposed mathematical model of the link and the existing ones lies in the fact that the section that changes its length is considered weighty. Therefore, the mathematical model of the link with a variable inertial characteristic, the moment of inertia relative to the axis perpendicular to the longitudinal axis of the link symmetry and passing through its beginning – the point where the link is fixed to the stationary mount with a cylindrical hinge, is considered. A method of motion control based on the assignment of differentiable functions is applied. The trajectory of the link movement is found, linear and angular velocities and accelerations are calculated. To showcase the link motion, the computer-animated visualization of the link motion control problem solution is presented. The control actions required for the implementation of the given motion have been calculated in the numerical experiment. The drag coefficient range of the magneto-rheological substance has been identified during the implementation of the proposed link motion. The software implementation of the proposed mathematical model of the exoskeleton variable-length link with adjustable stiffness has been done in the Wolfram Mathematica 11.3 universal computer math environment. The software package including the unit for deriving the differential equations of motion in analytical form, the kinematic trajectory synthesis unit, the computational experiment unit, and the unit for animated visualization of the model motion and its export in the wide-spread 'gif' video format has been developed.

Keywords: mathematical model, magneto-rheological fluid, exoskeleton, hinge, variable-length link, adjustable stiffness, computational experiment, control simulation, results visualization

For citation: Blinov A., Borisov A., Konchina L., Novikova M. Applying the models of magneto-rheological substances in the study of exoskeleton variable-length link with adjustable stiffness. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2022, vol.17, no.2, pp.133-142. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-133-142

Использование моделей магнитно-реологических сред при исследовании звена экзоскелета переменной длины с регулируемой жесткостью

А. О. Блинов¹, А. В. Борисов^{1*}, Л. В. Кончина¹, М. А. Новикова¹

¹ Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

* BorisowAndrej@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены имеющиеся математические модели магнитно-реологических сред, описаны некоторые аспекты их поведения. В результате анализа открытых источников установлено, что отсутствуют модели экзоскелетов со звеньями переменной длины с регулируемой жесткостью, основанные на использовании магнитно-реологических жидкостей, поэтому рассмотрено их применение в других технических системах. Предложена математическая модель звена экзоскелета переменной длины с регулируемой жесткостью, которая может быть использована для поддержки и усиления нижних звеньев опорно-двигательного аппарата человека. Отличие предложенной математической модели звена от имеющихся заключается в том, что участок, изменяющий свою длину, считается весомым. Поэтому речь идет о модели звена с переменной инерционной характеристикой – моментом инерции относительно оси, перпендикулярной продольной оси симметрии звена и проходящей через его начало – точку, в которой звено с помощью цилиндрического шарнира прикреплено к неподвижной опоре. Применен аналитический метод управления движением, основанный на задании аналитических дифференцируемых функций, синтезирована траектория движения звена, определены линейные и угловые скорости и ускорения. Приведена компьютерная анимационная визуализация результата решения задачи управления движением звена для наглядного представления перемещения. В результате проведенного вычислительного эксперимента найдены управляющие воздействия, необходимые для реализации заданного движения звена, определен диапазон для изменения коэффициента сопротивления магнитно-реологической среды при реализации предложенного движения звена. Программная реализация предложенной математической модели звена экзоскелета переменной длины с регулируемой жесткостью осуществлена в универсальной системе компьютерной математики Wolfram Mathematica 11.3. Разработан программный комплекс, включающий в себя: блок составления системы дифференциальных уравнений движения в аналитическом виде, блок кинематического синтеза траектории, блок вычислительного эксперимента, блок анимационной визуализации движения модели и экспорта в распространенный видеоформат gif.

Ключевые слова: математическая модель, магнитно-реологическая среда, экзоскелет, шарнир, звено переменной длины, регулируемая жесткость, вычислительный эксперимент, моделирование управления, визуализация результата

Для цитирования: Блинов А. О., Борисов А. В., Кончина Л. В., Новикова М. А. Applying the models of magneto-rheological substances in the study of exoskeleton variable-length link with adjustable stiffness // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 133–142. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-133-142