

DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-3-47-70

# Математическое моделирование мягкого экзоскелета из магнитно-реологических модулей с интеллектуальным управлением

**А.В. Борисов<sup>1</sup>, А.В. Чигарев<sup>2</sup>, Ю.А. Чигарева<sup>2</sup>, Л.В. Кончина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>BorisowAndrej@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается принципиально новое поколение мягких экзоскелетов, функционирующих на основе магнитно-реологических модулей. Предложена модель звена экзоскелета с регулируемой жесткостью, для которой составлена система дифференциальных уравнений движения. Разработана модель экзоскелета для нижних конечностей человека, составленная из модулей с магнитно-реологической жидкостью. Использование в экзоскелете звеньев с регулируемой жесткостью позволит создавать устройства, комфортабельные для пользователя как с физиологической, так и психологической точки зрения. Мягкие экзоскелеты будут востребованы во многих отраслях промышленности и медицины. Использование электромагнитных актуаторов, имеющих, как правило, меньшие габариты и энергопотребление, практически мгновенную скорость отклика в сравнении с пневмоприводами, гидроприводами и электроприводами, является перспективным и технически, энергетически, экологически, экономически более приемлемым. Под действием электрического или магнитного полей жесткость электроупругих и магнитно-реологических материалов может изменяться более чем на порядок. Это позволяет создавать звенья экзоскелета с регулируемой жесткостью. Регулирование жесткости элементов модулей экзоскелета в режиме реального времени является сложной задачей управления. Поэтому управление движением экзоскелета требует разработки алгоритмов адаптивного типа на основе нейро-нечеткого подхода, с использованием информации, получаемой по обратной связи. Нейросетевые алгоритмы самообучения в процессе функционирования являются логически целесообразной частью мягкого бионического экзоскелета. Также в качестве необходимой компоненты экзоскелета наряду с актуаторной частью необходима сенсорная система с чувствительными датчиками нервно-мышечных импульсов пользователя и различными датчиками положения, скорости, ускорения, силы, момента силы в приводах экзоскелета. Описывается построение нейро-нечетких систем управления мягкими экзоскелетами в рамках разработки новых математических методов моделирования сложных технических объектов.

**Ключевые слова:** модель экзоскелета, нейронная сеть, гибридная модель управления, киборгеника, мехатроника

**Для цитирования:** Борисов А.В., Чигарев А.В., Чигарева Ю.А., Кончина Л.В. Математическое моделирование мягкого экзоскелета из магнитно-реологических модулей с интеллектуальным управлением // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 3. С. 47–70. DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-3-47-70

# Mathematical modeling of a soft exoskeleton from magnetic-rheological modules with intelligent control

**A. Borisov<sup>1</sup>, A. Chigarev<sup>2</sup>, Yu. Chigareva<sup>2</sup>, L. Konchina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

<sup>2</sup>Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>1</sup>BorisowAndrej@yandex.ru

**Abstract.** The article considers a fundamentally new generation of soft exoskeletons based on magnetic rheological modules. A model of an exoskeleton link with adjustable rigidity is proposed, for which a system of differential equations of motion is compiled. A model of an exoskeleton for human lower extremities, composed of modules with magnetic rheological fluid, has been developed. The problems of kinematics and dynamics that arise when controlling the movement of an exoskeleton are presented. A block diagram of an algorithm for controlling the movement of an exoskeleton has been developed, solving control problems taking into account neural network methods. A qualitative study by analytical methods of the proposed mathematical model of an exoskeleton with links with adjustable stiffness is carried out. The use of regulation of the rigidity of the links of the exoskeleton modules in the necessary way will make it possible to create devices that are comfortable for the user, both from the physiological and psychological points of view. Soft exoskeletons will be in demand in many industries and medicine. The use of electromagnetic actuators, which, as a rule, have smaller dimensions and energy consumption, an almost instantaneous response speed in comparison with pneumatic drives, hydraulic drives and electric drives, is promising and technically, energetically, environmentally, economically more acceptable. Under the action of electric or magnetic fields, the stiffness of electroelastic and magneto-rheological materials can change by more than an order of magnitude. This makes it possible to create exoskeleton links with adjustable stiffness. Regulation of the rigidity of the elements of the exoskeleton modules in real time is a complex control task. Therefore, exoskeleton motion control requires the development of adaptive type algorithms based on a neuro-fuzzy approach, using information received from feedback. Neural network algorithms for self-learning in the process of functioning are a logically expedient part of a soft bionic exoskeleton. Also, as a necessary component of the exoskeleton, along with the actuator part, a sensor system is needed with sensitive sensors for the user's neuromuscular impulses and various sensors for position, speed, acceleration, force, moment of force of the exoskeleton. A comprehensive study of scientific and technical problems of the functioning of the model of the magnetic-rheological medium, exoskeleton modules and their compilation into a single multi-link structure, its movement using the technology of modern mathematical modeling was carried out. The construction of neuro-fuzzy control systems for soft exoskeletons is described as part of the development of new mathematical methods for modeling complex technical objects using modern mechatronics and cyborgics.

**Keywords:** exoskeleton model, neural network, hybrid control model, cyborgics, mechatronics

**For citation:** Borisov A., Chigarev A., Chigareva Yu., Konchina L. Mathematical modeling of a soft exoskeleton from magnetic-rheological modules with intelligent control. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2024, vol.19, no.3, pp.47-70 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-3-47-70