

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра био- и наномеханики**

Дипломная работа

**Модель эластического экзоскелета с магнитореологическими  
актуаторами**

Василёнка Ивана  
Сергеевича

студента 4 курса,  
специальности Механика  
и математическое  
моделирование

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук,  
профессор Чигарев Анатолий  
Власович

Минск, 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 СТРУКТУРА ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧКЛОВЕКА. МОДЕЛИ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ. ....</b>	<b>5</b>
1.1.	
с эндоскелетом в биологических системах .....	5
1.2 Магнитореологические материалы .....	12
1.3 Обобщение решения задач об изменении сферических шарниров стержневой механической системы .....	15
1.4 Численный анализ модели сферического шарнира-сустава.....	18
1.5 Причины вызывающие изменение длин .....	22
<b>2</b>	<b>-</b>
<b>С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ МАССАМИ .....</b>	<b>25</b>
2.1. Модель звена с массами в шарнирах-суставах между ними .....	25
2.2.	
моделей с n подвижными звеньями .....	29
2.3.	30
<b>ГЛАВА 3 ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЭНДО- И ЭКЗОСКЕЛЕТА .....</b>	<b>41</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>46</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>49</b>

## **АННОТАЦИЯ**

### **Модель эластического экзоскелета**

В рамках нового направления в динамике нелинейных стержневых систем с переменной длиной звеньев и изменяемой геометрией под действием внутренних усилий и наложенных внешних связей разработаны новые модели звеньев переменной длины, матричный метод и рекуррентный алгоритм составления дифференциальных уравнений движения. Полученные аналитические результаты применены к моделированию эндо- и экзоскелета. Установлена необходимость учета изменения длины звеньев при движениях человека и предложены рекомендации для разработки теоретико-механической модели экзоскелета в виде робототехнической мехатронной системы с перспективой применения в медицине, робототехнике.

### **ABSTRACT**

#### **Dynamics of mechanical rod systems with links of variable length with respect to endo - and exoskeletons**

In the new direction in the dynamics of nonlinear rod systems with variable link lengths and variable geometry under the influence of internal forces and imposed external constraints, new models of links of variable length, a matrix method and a recurrent algorithm for the construction of differential equations of motion are developed. The obtained analytical results are applied to the modeling of the endo- and exoskeleton. It was established that it is necessary to take into account the change in the length of links during human movements and suggested recommendations for the development of a theoretical-mechanical model of the exoskeleton in the form of a robotic mechatronic system with a perspective in medicine and robotics.