

MINISTRY OF EDUCATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS
BELARUSIAN STATE UNIVERSITY
FACULTY OF MECHANICS AND MATHEMATICS
Department of Theoretical and Applied Mechanics

KAZAKOU
Tsimafei Aliakseevich

Annotation for the graduation thesis

**MECHANICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF THE BEHAVIOR
OF EXOSKELETONS WITH LINKS OF VARIABLE STIFFNESS**

Academic Supervisor:
Professor
M.A. Zhuravkov

Minsk, 2025

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа, 75 стр., 45 рис., 10 источников.

Ключевые слова: МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ЭКЗОСКЕЛЕТ, ПЕРЕМЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ANSYS, APDL.

Целью дипломной работы является:

анализ современных методов разработки экзоскелетов с элементами переменной жесткости;

разработка алгоритмов адаптивного изменения жесткости элементов конструкции;

моделирование поведения экзоскелета в программном комплексе ANSYS.

В дипломной работе получены следующие результаты:

проведен обзор истории развития экзоскелетов и современных подходов к их проектированию;

разработаны модели конструкций различной сложности, включая приближенные к анатомии человеческой руки;

реализованы алгоритмы автоматического изменения жесткости элементов на основе заданных критериев (перемещение узлов, угол поворота);

выполнены расчеты для различных типов нагрузок (вертикальная, растягивающая, крутящий момент);

проанализированы результаты моделирования, подтверждающие эффективность предложенных решений.

Практическая значимость работы:

Результаты исследования могут быть применены при проектировании адаптивных экзоскелетов для медицины, промышленности и других областей.

Разработанные алгоритмы позволяют оптимизировать жесткость конструкции в реальном времени, повышая безопасность и комфорт пользователя.

Дипломная работа имеет практическую направленность и может служить основой для дальнейших исследований в области робототехники и биомеханики.

АНАТАЦЫЯ

Дыпломная праца, 75 с., 45 мал., 10 крыніц.

Ключавыя словы: МЕТАД КАНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАЎ, ЭКЗАШКІЛЕТ, ЗМЕННАЯ ЖОРСТКАСЦЬ, МАДЭЛЯВАННЕ, ANSYS, APDL.

Мэта дыпломнай працы:

аналіз сучасных метадаў распрацоўкі экзашкілетаў з элементамі зменнай жорсткасці;

распрацоўка алгарытмаў адаптыўнага змянення жорсткасці элементаў канструкцыі;

мадэляванне паводзін экзашкілета ў праграмным комплексе ANSYS.

Асноўныя вынікі працы:

праведзены агляд гісторыі развіцця экзашкілетаў і сучасных падыходаў да іх праектавання;

распрацаваны мадэлі канструкцый рознай складанасці, уключаючы блізкія да анатоміі чалавечай рукі;

рэалізаваны алгарытмы аўтаматычнага змянення жорсткасці на аснове зададзеных крытэрыяў (перамяшчэнне вузлоў, вугал павароту);

выкананы разлікі для розных тыпаў нагрузак (вертыкальная, расцягвальная, круцільны момант);

прааналізаваны вынікі мадэлявання, якія пацвярджаюць эфектыўнасць прапанаваных рашэнняў.

Практычная значнасць працы:

Вынікі даследавання могуць быць выкарыстаны пры праектаванні адаптыўных экзашкілетаў для медыцыны, прамысловасці і іншых галін. Распрацаваныя алгарытмы дазваляюць аптымізаваць жорсткасць канструкцыі ў рэжыме рэальнага часу, павышаючы бяспеку і камфорт карыстальніка.

Дыпломная праца мае прыкладную накіраванасць і можа служыць асновай для далейшых даследаванняў у галіне робататэхнікі і біямеханікі.

ANNOTATION

The thesis contains: 75 pages, 45 pictures (figure), 10 sources used.

KEYWORDS: FINITE ELEMENT METHOD, EXOSKELETON, VARIABLE STIFFNESS, MODELING, ANSYS, APDL.

Thesis objectives:

- analysis of modern methods for developing exoskeletons with variable stiffness elements.

- development of algorithms for adaptive stiffness adjustment of structural elements.

- modeling of exoskeleton behavior in the ANSYS software suite.

Key results:

- review of the history of exoskeleton development and modern design approaches.

- development of models of varying complexity, including those approximating human arm anatomy.

- implementation of algorithms for automatic stiffness adjustment based on specified criteria (node displacement, rotation angle).

- calculations for different load types (vertical, tensile, torsional torque);

- analysis of modeling results confirming the effectiveness of the proposed solutions.

Practical significance:

- The research results can be applied in the design of adaptive exoskeletons for medicine, industry, and other fields.

- The developed algorithms allow real-time optimization of structural stiffness, improving user safety and comfort.

- The thesis has a practical focus and can serve as a basis for further research in robotics and biomechanics.