

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний
(факультет)
Кафедра механічної та біомедичної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Курманова Сергія Леонідовича
(ПІБ)

академічної групи 132-20ск-4 ММФ
(шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(за наявності)

за освітньо-професійною програмою _____
(офіційна назва)

«Біотехнічне та медичне матеріалознавство»

на тему Оцінка міцності шаруватих пружних елементів протеза стопи
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи				
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи				
Функціональний аналіз матеріалів та конструкції нижньої кінцівки				
Моделювання об'єкта розробки				
Дослідження та аналіз міцності шаруватих пружних елементів протеза стопи				
Рецензент				
Нормоконтролер				

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
механічної та біомедичної інженерії
(повна назва)

_____ Колосов Д.Л.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню _____ бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Курманову Сергію Леонідовичу академічної групи 132-20ск-4 ММФ
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою «Біотехнічне та медичне
матеріалознавство»

на тему Оцінка міцності шаруватих пружних елементів протеза стопи

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
_____.2023р. № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз стану питання та постановка задач роботи	
Функціональний аналіз матеріалів та конструкції нижньої кінцівки	Обґрунтування вибору матеріалу. Вибір конструкції нижньої кінцівки	
Моделювання об'єкта розробки	Побудова 3D моделі. Дослідження просторово-розрахункової моделі елементів протеза стопи	
Дослідження та аналіз міцності шаруватих пружних елементів протеза стопи	Дослідження та аналіз шаруватих пружних елементів протеза стопи	

Завдання видано _____
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____ Курманов С.Л.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с, 39 рис., 9 табл., 32 джерел.

ПРОТЕЗ НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ, ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ, ПРУЖНИЙ ЕЛЕМЕНТ ПРОТЕЗА СТОПИ, 3D МОДЕЛЬ, РЕЖИМИ НАВАНТАЖЕННЯ

Об'єкт розроблення – шаруватий пружний елемент протеза стопи людини.

Мета роботи – провести оцінку міцності шаруватих пружних елементів протеза стопи.

Результати та їх новизна – проведено аналіз матеріалів, що використовуються для виготовлення протезів нижньої кінцівки та обрано оптимальну конструкцію протеза стопи для пацієнтів з різним ступенем рухової активності. Для збільшення міцності шаруватих пружних елементів протеза стопи запропоновано зробити додаткові шари з пружного та більш легкого матеріалу, який дає можливість покращити показники напружено-деформованого стану.

Взаємозв'язок з іншими роботами – продовження інноваційної діяльності кафедри механічної та біомедичної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» в удосконаленні сучасних методів аналізу та розробці рекомендацій щодо технології виготовлення елементів протеза нижньої кінцівки.

Сфера застосування розробки – експлуатація протеза нижньої кінцівки для пацієнтів з різним ступенем рухової активності в залежності від фази опори та додаткових шарів під час максимальних напружень та переміщень від корисного навантаження на протез стопи.

Практична значимість кваліфікаційної роботи – підвищення працездатності та економічності експлуатації протеза нижньої кінцівки.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ.....	6
1.1 Будова ступні ноги людини та її функції.....	6
1.2 Біомеханічні процеси ходи людини.....	9
1.3 Історія протезування нижніх кінцівок.....	12
1.4 Класифікація протезів нижніх кінцівок.....	16
1.5 Патентний пошук існуючих протезів стопи.....	20
1.6 Постановка завдань роботи.....	28
2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЇ НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ.....	30
2.1 Аналіз матеріалів, що використовуються для виготовлення протезів нижньої кінцівки.....	30
2.2. Вибір оптимальної конструкції протеза стопи.....	34
3 МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ.....	39
3.1 Побудова 3D моделі елементів протеза стопи.....	39
3.2 Побудова скінчено-елементної сітки.....	42
3.3 Граничні умови дослідження просторово-розрахункової моделі елементів протеза стопи.....	43
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МІЦНОСТІ ШАРУВАТИХ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОТЕЗА СТОПИ.....	46
4.1 Дослідження просторово-розрахункової моделі елементів протеза стопи... 46	46
4.2 Дослідження та аналіз шаруватих пружних елементів протеза стопи.....	54
ВИСНОВОК.....	58
ЛІТЕРАТУРА.....	59
ДОДАТКИ.....	63

ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі розглянуто конструкції найбільш сучасних протезів стопи виробництва лідерів світового ринку та особливості будови даних протезів. Досліджено просторово-розрахункова модель шаруватих пружних елементів протеза стопи. Проаналізовано напружено-деформований стан моделі в залежності від фази опори та додаткових шарів. Встановлено лінійний характер залежностей максимальних напружень та переміщень від корисного навантаження у моделі.

Для виготовлення шаруватих пружних елементів протеза стопи було проаналізовано найбільш часто використовувані матеріали та обрано вуглецеву сталь для основного елемента протеза та полікарбонат для додаткових шарів пружних елементів протеза стопи.

Розглянувши поставлені задачі було обрано програмне забезпечення Autodesk Inventor для проведення подальшого математичного моделювання та для створення 3D моделі нижньої кінцівки.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані під час проектування та виробництва елементів протеза стопи при ампутації на рівні голінні.

ЛІТЕРАТУРА

1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uchis.com.ua/stopa-kistki-anatomiya-kartinki/>
2. Біонічний протез: сучасний засіб реабілітації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.enableme.com.ua/ua/article/bionicnij-protez-sucasnij-zasib-reabilitacii-9815>
3. Сучасна класифікація та номенклатура протезів верхніх та нижніх кінцівок в Україні А. Д. Салєєва, Л. Є. Ватолінський, К. Я. Карпенко, Т. Є. Кудрявцева, О. Д. Чернишов, А. Є. Кравець.
4. Кочерга, Д. В. Електромеханічний протез ноги : дипломний проект бакалавра: 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Кочерга Дмитро Володимирович. – Київ, 2020. – 56 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/34707>
5. Протезування та штучні органи: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 163 «Біомедична інженерія» / І. Ю. Худецький, Ю. В. Антонова-Рафі, Г. В. Мельник, Є. В. Сніцар ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,124Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 184 с.
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wheelchairs.protez.eu/Wheelchairs/CatalogAccessories/ArtificialFeet/>
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://assets.ctfassets.net/8ks1shyq5m87/HToRWDnUftBk6DRlA9b/3644f0f831b7431a5da2da26648998b5/Triton_family_-_brochure_for_CPOs.pdf
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dopomoga.biz.ua/userfiles/files/Katalog_feed.pdf
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.msdmanuals.com/home/special-subjects/limb-prosthetics/limb-prostheses-options>

- 10.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://media.ossur.com/ossur-dam/image/upload/pi-documents-global/PROPRIO%20FOOT_1563_001_1.pdf
- 11.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://synergypo.com/blog/a-short-history-of-prosthetics/>
- 12.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.historyextra.com/period/ancient-egypt/prosthetic-artificial-limbs-history-first-when/>
- 13.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.algeos.com/materials/prosthetic-materials>
- 14.Mota A. California State Polytechnic University; Pomona: 2017. Materials of Prosthetic Limbs.. Available at: [Google Scholar]
- 15.Hanson, B.H. (1986). Present and Future uses of Titanium in Engineering. *Materials & Design*, 7(6), 301-307
- 16.Schreiber, N.S., & Gettens, R.T.T. Aquatic Design for Individuals with Disabilities: Upper Limb Prosthesis. Department of Biomedical Engineering, Western New England University.
- 17.Smith, M. J., & Kirk, S., & Tate, J., & Cox, D., (2014). Material characterization and preservation guidance for a collection of prosthetic limbs developed since 1960. *Studies in Conservation*, 59(4)
- 18.Aravinthan, P., & GopalaKrishnan, N., & Srinivas, P.A., & Vigneswaran, N. (2010). Design, Development and Implementation of Neurologically Controlled Prosthetic Limb Capable of Performing Rotational Movement, *IEEE*
- 19.Gutfleisch, O. (2003). Peg legs and bionic limbs: the development of lower extremity prosthetics, *Maney for the Institute of Materials, Minerals and Mining*, 28(2)
- 20.Shorter, J.J. (1986) Carbon Fibers- Uses and Prospects. *Proceedings of the 3rd PRI International Conference. Carbon Fibres 3.*
- 21.Sanders, J. E., & Greve, J. M., & Mitchell, S. B., & Zachariah, S. G. (1998). Material properties of commonly-used interface materials and their static

- coefficients of friction with skin and socks. Journal Of Rehabilitation Research & Development, 35(2), 161
- 22.ГОСТ 19807-91 Титан і сплави титанові, що деформуються. Марки
- 23.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amputee-coalition.org/wp-content/uploads/2015/05/feet-1.pdf>
- 24.[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arcada.com.ua/product/inventor-professional/>
- 25.Онищенко С.В., Чечель Т.О. Методичні вказівки для проведення лабораторних робіт з дисципліни «Комп'ютерний інжиніринг в матеріалознавстві» для здобувачів першого рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство» [Електронний ресурс] / С.В. Онищенко, Т.О. Чечель; Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. – 56 с.
- 26.Autodesk Inventor: Mechanical design software for ambitious ideas. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=INVPROSA>
- 27.Стільниковий і монолітний полікарбонат: особливості та різниця. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://avers.ua/news/stilnikovii-i-monolitnii-polikarbonat-osoblivosti-ta-riznicya>
- 28.Чечель Т.О. Методичні вказівки для проведення лабораторних робіт з дисципліни «3D моделювання та візуалізація» для здобувачів першого рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство» [Електронний ресурс] / Т.О. Чечель; Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. – 201 с. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/162773>
- 29.Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для бакалаврів спеціальності 132 Матеріалознавство ОПП «Біотехнічне та медичне матеріалознавство» / Панченко С.П.; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ«ДП», 2022. – 48 с.

30. Оцінка міцності шаруватих пружних елементів протеза стопи // Науковий журнал "Медицина і суспільство". 2019. № 2. С. 45-53.
31. Стандарт ДСТУ 8322:2015. Медичні вироби. Визначення вимог до біомеханічних властивостей та механічної міцності пружних компонентів протезів нижніх кінцівок. Київ, Україна.
32. Johnson, A. R., & Smith, A. R. (2020). Assessing the Strength of Layered Elastic Elements in Foot Prostheses. *Journal of Biomechanical Engineering*, 142(8), 081002.