

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 Гатілова Миколи Кириловича  
(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 Підвищення працездатності контактуючих поверхонь пар тертя  
ендопротезів суглобів пальців кисті людини  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, Ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Мамет'єв А.О.			
<b>розділів:</b>				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Мамет'єв А.О.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Мамет'єв А.О.			
Обґрунтування та розробка 3-D моделі ендопротезу	Мамет'єв А.О.			
Експлуатаційний розділ	Мамет'єв А.О.			
Рецензент	Мамет'єв А.О.			
Нормоконтролер	Науменко О.Г.			

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 Гатілова Миколи Кириловича академічної групи 132-20ск-4 ММФ  
 (прізвище та ініціали) (шифр)  
 спеціальності 132 Матеріалознавство  
 за освітньо-професійною програмою «Біотехнічне та медичне  
матеріалознавство»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 01.05.2022 р.  
 № 310-с

Розділ	Зміст	Термін
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз стану питання та постановка задач роботи.	
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Проведення функціонального аналізу ендопротезів, обґрунтування вибору матеріалу для дослідження.	
Обґрунтування та розробка 3-D моделі ендопротезу	Обґрунтування вибору моделі, розробка 3-D моделі, інженерний розрахунок, симуляція навантажень.	
Експлуатаційний розділ	Контроль якості ендопротезів, клінічні спостереження	

Завдання видано \_\_\_\_\_ **Маметєв А.О.**  
 (підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 22.05.2023 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 11.07.2023 р.

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ **Гатілов М.**

## РЕФЕРАТ

ЕНДОПРОТЕЗ, ФАЛАНГЕАЛЬНИЙ КОМПОНЕНТ, П'ЯСНИЙ КОМПОНЕНТ, КОНТАКТУЮЧА ПОВЕРХНЯ, ПАРА ТЕРТЯ, ФАЛАНГА ПАЛЬЦЯ, КОМП'ЮТЕРНА ТОМОГРАФІЯ

Пояснювальна записка: 77 с., 50 рис., 3 табл., 43 джерела.

Об'єкт розроблення – контактуюча поверхня пари тертя ендопротезу суглоба пальця кисті людини

Мета роботи – підвищити працездатність контактуючих поверхонь пар тертя ендопротезів суглобів пальців кисті руки.

Практична значимість кваліфікаційної роботи полягає у можливості застосування технологій проектування, вибору матеріалів та результатів випробування для підвищення працездатності пар тертя ендопротезів із застосуванням технології 3-D друку.

Взаємозв'язок з іншими роботами – продовження інноваційної діяльності кафедри механічної та біомедичної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» в удосконаленні сучасних методів аналізу та розробки рекомендацій щодо покращення елементів медичного призначення.

Сфера застосування розробки – експлуатація ендопротезів в умовах повсякденного життя пацієнта.

Результати та їх новизна – проведено аналіз сучасних матеріалів використовуваних в ендопротезуванні, сформульовані критерії працездатності, визначені недоліки ендопротезів, підібрано матеріал для підвищення працездатності ендопротезів.

## ЗМІСТ

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ	6
1.1 Значення кисті як органу та її функції	6
1.2 Протезування кисті	10
1.3 Протези кисті, їх види та типи	12
1.4 Вимоги до протезу	15
1.5 Постановка завдань дипломного проекту	17
2 ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ	18
2.1 Обґрунтування вибору матеріалу	18
2.2 Огляд методів та матеріалів, які використовуються для покращення працездатності контактуючих поверхонь	20
2.3 Функціональний аналіз ендопротезу	24
2.4 Біомеханічний аналіз суглобів пальців кисті	25
2.5 Фактори, що впливають на працездатність контактуючих поверхонь ендопротезу	31
2.6 Випробування та оцінка працездатності контактуючих поверхонь	32
2.7 Висновки	37
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА 3-D МОДЕЛІ ЕНДОПРОТЕЗУ	38
3.1 Обґрунтування математичної моделі	38
3.2 Обґрунтування методу побудови 3-D моделі	39
3.2.1 Програмне забезпечення Autodesk Inventor	39
3.2.2 Математичне моделювання об'єкту дослідження	39
3.2.3 Проектування 3-D моделі	42
3.3 3-D Моделювання об'єкту дослідження	44
3.4 Випробування та оцінка працездатності контактуючих поверхонь	51
3.5 Аналіз результатів випробувань та порівняльний аналіз з існуючими ендопротезами	62
3.6 Висновки	65

4 ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	66
4.1 Контроль якості виробничих процесів	66
4.2 Контроль якості ендопротезу	66
4.3 Вимоги та умови експлуатації ендопротезу	67
4.4 Клінічні спостереження пацієнтів	69
4.5 Висновки	72
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТКИ	78

## ВИСНОВКИ

1. Кисть руки один із головних органів людини. Він представляє собою складний механізм, який здатний виконувати багато функцій. Кисть виконує статичну, динамічну та сенсорну функції. Втрата функцій кисті веде до порушення життєдіяльності, та приводе до хірургічного втручання, тобто встановлення ендопротезу, якщо цього потребує пацієнт.

2. Для дослідження було обрано ендопротез с парами тертя титан-титан(Ti-6Al-4V), титан-поліетилен (Conventional UHMWPE). Метою кваліфікаційної роботи є підвищення працездатності контактуючих поверхонь пар тертя ендопротезів. Для виготовлення ендопротезу існують критерії міцності, довговічності, біосумісності, корозійна стійкість та інше.

3. Було змодельована 3-D модель на основі КТ та рентгенографії, та існуючої геометрично-правильної моделі.

4. Оскільки ендопротез буде завжди схильний до статичних і динамічних навантажень, було зроблено математичне моделювання об'єкту, симуляція навантажень(Stress-strain state) та порівняльний аналіз з існуючими ендопротезами(SWANSON). Аналіз результатів випробувань показав що кращий матеріал для покращення працездатності контактуючих поверхонь пар тертя є титан-титан (Ti-6Al-4V).

5. Подальшим розвитком цієї роботи є можливості підвищення працездатності пар тертя за рахунок перепрофілювання геометрії контактуючих поверхонь, що дозволило б збільшити діапазон робочого кута зі збереженням площі контакту.

6. Для здійснення контролю якості виготовлення, імплантації ендопротезу існують медичні стандарти. Вони передбачають повну перевірку імпланту, щоб визначити якість медичного виробу перед його впровадженням в медичну практику.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баранов О.М., Бойчук М.Т., Коломієць В.М. Ортопедична хірургія: Навчальний посібник 2014.
2. Васильєв О.С., Гнатюк В.О., Грабовський Є.О. Клінічна анатомія верхньої кінцівки: Навчальний посібник 2017.
3. Захаров С.С., Корж М.О., Мацьковський В.В., Філенко А.В. Ортопедія: Навчальний посібник 2015.
4. Кравчук Г.С., Заярна Л.С., Демчук Г.О Фізіотерапія в ортопедичній практиці: Навчальний посібник. 2012.
5. Олійник А.А., Козловський І.М., Баранов О.М. Травматологія і ортопедія: Навчальний посібник 2017.
6. Підгірний А.С., Яременко Л.П., Кривоніс О.С. Фізична реабілітація хворих з захворюваннями і ушкодженнями опорно-рухового апарату: Навчальний посібник 2011.
7. Піскун О.М., Рибачук В.П., Скоробагатько І.В. Хірургія верхньої кінцівки: Навчальний посібник 2017.
8. Синявська Т.М., Березуцька Л.П. Фізична реабілітація пацієнтів з травмами та хворобами опорно-рухового апарату: Навчальний посібник 2012.
9. Шестопалов І.В., Пристай Б.В., Іванов В.М. Ортопедична допомога та реконструктивна хірургія: Навчальний посібник 2016.
10. Гайко Г.В., Страфун С.С., Долгополов О.В., Полішко В.П., Дейнеко В.О. Аналіз стану травматолого-ортопедичної допомоги населенню України 2014-2015: довідник. Київ: Ін-т травматології та ортопедії НАМН України; 2016. 214 с.
11. Науменко ЛЮ, Іпатов АВ, Зуб ТО, Мамет'єв АО. Стан інвалідності внаслідок травм верхньої кінцівки в Україні у 2017 році. Травма. 2018.
12. Joyse TJ, Unsworth A. A literature review of “failures” of the Swanson finger prosthesis in the metacarpophalangeal joint. J Hand Surgery. 2002.

13. Elherik FK, Dolan S, Antrum J, Unglaub F, Howie CR, Breusch SJ. Functional and patient-reported outcomes of the Swanson metacarpo-phalangeal arthroplasty in the rheumatoid hand. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017.

14. Choi YJ, Ra HJ. Patient satisfaction after total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res.* 2016.

15. Swarup I, Lee YY, Chiu YF, Sutherland R, Shields M, Figgie MP. Implant survival and patient-reported outcomes after total hip arthroplasty in young patients. *J Arthroplasty.* 2018. 33 с.

16. Мурадов МИ, Мухамедкерим КБ. Современные концепции протезирование суставов пальцев кисти. *Вестник хирургии Казахстана.* 2016.

17. Alnaimat FA, Owida HA, Al Sharah A, Alhaj M, Hassan M. Silicone and Pyrocarbon Artificial Finger Joints. *Appl Bionics Biomech.* 202.

18. 15. Roy ME, Whiteside LA, Magill ME, Katerberg BJ. Reduced wear of cross-linked UHMWPE using magnesia-stabilized zirconia femoral heads in a hip simulator. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2011. 469 с.

19. Swanson, A. Flexible implant arthroplasty for arthritic finger joints. *Joint Surg.* 1972.

20. Zhang H, Xue D, Yu JJ. Is Swanson prosthesis better than Sutter prosthesis for metacarpophalangeal joint arthroplasty ? A meta-analysis. *J. Plast. Surg. Hand Surg.* 2015.

21. Weiss AP, Moore DC, Infantolino C, Crisco JJ, Akelman E, McGovern RD. Metacarpophalangeal joint mechanics after 3 different silicone arthroplasties. *J Hand Surg Am.* 2004;

22. Moller K, Sollerman C, Geijer M, Kopylov P, Tagil M. Avanta versus Swanson silicone implants in the MCP joint-a prospective, randomized comparison of 30 patient followed for 2 yers. *J Hand Surg Br.* 2005;

23. Herren DB, Schindele S, Goldhahn J, Simmen BR. Problematic bone fixation with pyrocarbon implants in proximal interphalangeal joint replacement: short-term results. *J Hand Surg Br.* 2016;



24. Hussein AI, Stranart JC, Meguid SA, Bogoch ER. Biomechanical validation of finite element models for two silicone meta-carpophalangeal joint implants. *J. Biomech. Eng.* 2011;
25. Delaney R, Trail IA, Nuttall D. A comparative study of outcome between the Neuflex and Swanson metacarpophalangeal joint replacements. *J. Hand Surg. Br.* 2005.
26. Gillespie T.E., Flatt A.E., Youm Y., Sprague B.L. Biomechanical evaluation of metacarpophalangeal joint prosthesis designs. *Am. J. Hand Surg.* 1979.
27. Waljee JF, Chung KC. Objective functional outcomes and patient satisfaction after silicone metacarpophalangeal arthroplasty for rheumatoid arthritis. *J Hand Surg Am.* 2012.
28. Johnstone BR. Proximal interphalangeal joint surface replacement arthroplasty. *Hand Surg.* 2011.
29. Trauner KB. The Emerging Role of 3D Printing in Arthroplasty and Orthopedics. *J. Arthroplasty.* 2018.
30. Wong TM. The use of three-dimensional printing technology in orthopaedic surgery: A review. *J. Orthop. Surg.* 2017.
31. Lee KH, Kim SJ, Cha YH, Kim JL, Kim DK, Kim SJ. Threedimensional printed prosthesis demonstrates functional improvement in a patient with an amputated thumb: A technical note. *Prosthet. Orthot. Int.* 2018.
32. Garino J, Rhaman MN, Bal BS. Reliability of modern alumina bearings in total hip replacements. *Semin arthroplasty.* 2006.
33. Beckenbaugh RD, Steffee AD. Total joint arthroplasty for the metacarpophalangeal joint of the thumb—a preliminary report. *Orthopaedics.* 1981.
34. Freitag T, Hein MA, Wernerus D, Reichel H, Bieger R. Bone remodelling after femoral short stem implantation in total hip arthroplasty: 1-year results from a randomized DEXA study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016.
35. Rajaratnam SS, Jack C, Tavakkolizadeh A, George MD, Fletcher RJ, Hankins M, et al. Long-term Results of a Hydroxyapatite Coated (JRI Furlong) Total

Hip Replacement Femoral Stem: A 15-21 Year Follow up. The journal of bone and joint surgery. 2008.

36. Sadovoy MA, Pavlov VV, Bazlov VA, Mamuladze TZ, Efimenko MV, Prokhorenko VM, et al. Modeling of 3D Implants via Personalized Contour Correction with Evaluation of Bone Tissue Density on the Hounsfield Scale. Biomedical Engineering. 2018.

37. Дутчак ЮВ. Біомеханіка. Хмельницький; 2013. 19 с. Dutchak YuV. Biomechanics. Khmelnytskyi; 2013. 19 с.

38. Chae MP, Lin F, Spsychal RT, Hunter-Smith DJ, Rozen WM. 3D-printed haptic “reverse” models for preoperative planning in soft tissue reconstruction: a case report. Microsurgery. 2015.

39. Штучний інтелект: URL: <https://chat.openai.com>

40. Баранов О.М., Бойчук М.Т., Коломієць В.М. Ендопротезування в ортопедії та травматології: Навчальний посібник 2013.

41. Калінченко С.Ю., Смаглюк В.М., Семенюк І.А. Ендопротезування верхньої кінцівки: Навчальний посібник 2018.

42. Смаглюк В.М., Калінченко С.Ю., Золотухін С.В. Реабілітація пацієнтів з ендопротезуванням верхньої кінцівки: Методичні рекомендації 2018.

43. Бойчук М.Т., Коломієць В.М., Світличний О.Ю. Реабілітація хворих після ендопротезування верхньої кінцівки - (2014)