

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2025.01.082

МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ FLYSHARE ДЛЯ ІНДИВІДУАЛІЗОВАНОГО ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТЕЗІВ НИЖНІХ КІНЦІВОК

Аврунін О.Г., Селіванова К.Г., Тимкович М.Ю., Носова Я.В.

Анотація. Реабілітаційна інженерія зараз є найактуальнішим напрямом в Україні, що потребує сучасних рішень та інноваційних технологій. Розробка біонічних кінцівок, автоматизовані системи заміщення втрачених органів та функцій людини дозволяють значно підвищити якість життя та прискорити функціональне відновлення військових та цивільних. Зростання потреби в реабілітаційних рішеннях вимагає швидкої адаптації світових досягнень у галузі протезування та ортезування, зокрема через обмежені ресурси і необхідність масштабування допомоги. Метою цієї дослідницької роботи є аналіз можливості використання програмного засобу Flyshare для створення індивідуалізованих 3D-моделей протезів нижніх кінцівок, а також демонстрація його потенціалу. Важливим етапом для створення персоналізованих протезів є точне тривимірне сканування культі пацієнта, яке дозволяє врахувати її анатомічні особливості, форму та розміри.

Ключові слова: охорона здоров'я, медичні інформаційні системи, протезування, ортезування, моделювання, тривимірне сканування, тривимірний друк, штучні кінцівки

У сучасних умовах, коли Україна стикається з тяжкими наслідками повномасштабної війни, проведення заходів реабілітації військових та цивільних осіб з ампутаціями верхніх та нижніх кінцівок набуває критичної ваги. Війна призвела до значного збільшення кількості пацієнтів, які потребують якісних, доступних та індивідуалізованих протезів. Традиційні методи виготовлення протезів, засновані на ручній роботі, часто є трудомісткими, довготривалими та не завжди дозволяють досягти оптимальної анатомічної відповідності. Саме тому впровадження інноваційних технологій, наприклад як тривимірне моделювання та цифрове протезування, стає не лише медичним, а й соціальним імперативом, спрямованим на відновлення функціональності та якості життя постраждалих [1].

Зростання потреби в реабілітаційних рішеннях вимагає швидкої адаптації світових досягнень у галузі протезування та ортезування, зокрема через обмежені ресурси і необхідність масштабування допомоги. Важливим кроком у цьому напрямку стала співпраця кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки з міжнародними партнерами. Французькою організацією Handicap International Humanity & Inclusion було створено тренінг від компанії Proteor - світового лідера у розробці спеціалізованого програмного забезпечення для протезування, такого як OrtenShape та Flyshape. У рамках наукового проєкту кафедра отримала не лише доступ до передових програмних інструментів, а й сучасне технічне оснащення: 3D-сканер для точного анатомічного знімання, спеціалізований 3D-принтер для виготовлення протезних компонентів та інструменти для віртуалізації процесів.

Метою цієї дослідницької роботи є аналіз можливості використання програмного засобу Flyshape для створення індивідуалізованих 3D-моделей протезів нижніх кінцівок, а також демонстрація його потенціалу [2].

Важливим етапом для створення персоналізованих протезів є точне тривимірне сканування культі пацієнта, яке дозволяє врахувати її анатомічні особливості, форму та розміри. Програмний засіб Flyshape пропонує гнучкі рішення для отримання таких даних, підтримуючи різноманітні методи 3D-сканування з використанням сучасних сенсорів. Серед них:

Apple LiDAR (Light Detection and Ranging) – технологія, що забезпечує швидке сканування завдяки інфрачервоному випромінюванню та створенню деталізованих хмар точок з високою точністю. Вона дозволяє отримувати дані навіть у умовах обмеженого освітлення, що робить процес неінвазійним і комфортним для пацієнта.

TueDepth – камери глибини, які генерують точні 3D-моделі завдяки інфрачервоній проєкції сітки точок. Їхня точність та можливість роботи в реальному часі ідеально підходять для динамічного сканування рухливих ділянок тіла.

Structure Sensor Camera для iPad – забезпечує високу деталізацію та здатний сканувати складні геометрії, включаючи рельєф культі, без фізичного контакту, що виключає ризик деформації м'яких тканин.

Ці технології відрізняються неінвазивністю, швидкістю (процес займає 5-15 хвилин) та доступністю, оскільки використовують портативні пристрої, які можна застосовувати як у клініці, так і мобільно. Для порівняння, традиційні методи (наприклад, гіпсування) часто вимагають тривалого контакту з пацієнтом, можуть спричиняти дискомфорт і дають менш точні результати через ризик деформації матеріалу [3-5].



Рисунок 1 – Тривимірне сканування у Flyshape: а – доступні засоби тривимірного сканування у ПЗ Flyshape; б – 3D Structure sensor для iPad

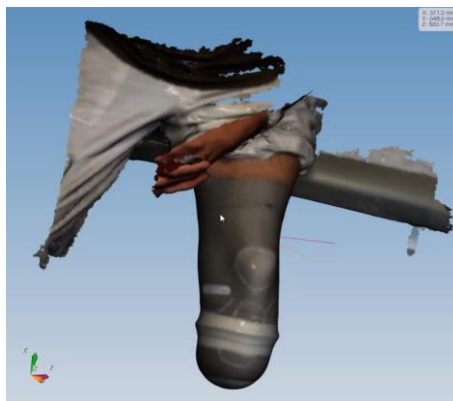


Рисунок 2 - Ілюстрація етапу реєстрації тривимірної проєкції під час тривимірного сканування кінцівки [2]

Приклад такого індивідуального скану пацієнта наведено на рис. 3.

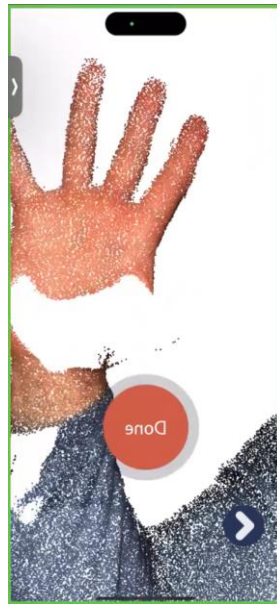


Рисунок 3 – Приклад тривимірного скану пацієнта

Програмний засіб Flyshape надає можливість створення індивідуалізованих протезів для різних рівнів ампутації нижніх кінцівок. Кожен випадок вимагає урахування унікальних анатомічних особливостей, механічних навантажень та функціональних потреб пацієнта. Розглянемо процес моделювання на прикладі протезу, де ключовим етапом є точна адаптація гнізда протезу до форми культі.

Після завантаження 3D-скану культі у Flyshape, користувач послідовно проходить інтерактивні етапи:

- Відмітка анатомічних орієнтирів;
- Програма дозволяє візуально позначати критичні точки (наприклад, кісткові виступи, сухожилля, зони підвищеного тиску), що допомагає автоматизувати подальше моделювання з урахуванням біомеханіки.



Рисунок 4 – Ілюстрація відмітки анатомічних орієнтирів

- Корегування тривимірного скану;
- Виправлення артефактів сканування (наприклад, нечітких ділянок) та оптимізація геометрії культі за допомогою фільтрів згладжування;
- Орієнтування моделі;
- Встановлення правильної позиції культі у просторі відносно осей навантаження (вертикальна, фронтальна), що критично для розподілу ваги тіла під час ходи;
- Секційне редагування стиснення (Dynamic Volume Reduction);
- Імітація тиску на м'які тканини за рахунок створення моделі гнізда, яка є на 2-5% меншою за обсягом, ніж сканована культя. Це забезпечує щільне прилягання протезу без надмірного тиску на окремі ділянки. Регулювання стиснення виконується секційно — окремі зони (наприклад, передня частина гомілки) можна зменшувати або збільшувати індивідуально;
- Редагування кривими Безьє та обрізка (Trimlines);
- Визначення меж гнізда протезу за допомогою кривих Безьє, які дозволяють створити плавні та ергономічні контури. Trimlines враховують зони фіксації протезу, рухливість суглобів та комфорт пацієнта;
- Редагування регіонів тиску;
- Додаткове зменшення або збільшення щільності матеріалу в зонах підвищеного навантаження (наприклад, навколо кісткових виступів);
- Інтеграція кріплень та компонентів;
- Використання бібліотеки стандартних модулів (шарніри, роз'єми, амортизатори) або створення індивідуальних кріплень, які інтегруються в 3D-модель;
- Генерування G-code для 3D-друку;
- Експорт оптимізованої моделі у формат, сумісний з 3D-принтерами, та автоматичне створення G-code з урахуванням параметрів матеріалу та технології виготовлення [4].

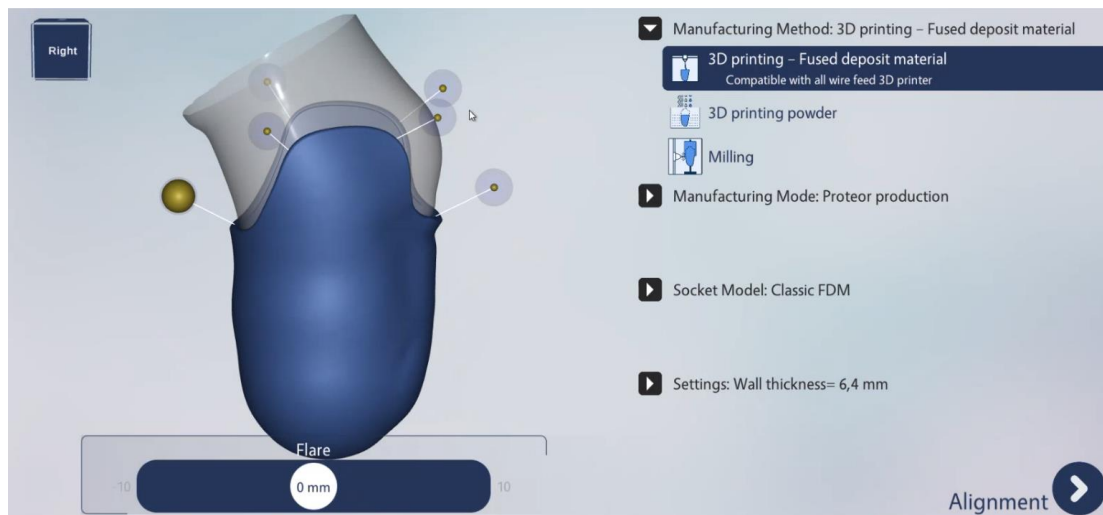


Рисунок 5 – Етап вибору методу виробництва та відповідних параметрів



Рисунок 6 – Візуалізація етапу фінального вирівнювання протезу

Висновки. Програмний засіб Flyshape показав свою ефективність як інноваційний інструмент з широким спектром можливостей для індивідуалізованого тривимірного моделювання протезів нижніх кінцівок. Його унікальна архітектура поєднує точність анатомічного сканування, гнучкість проєктування та інтеграцію з сучасними методами виробництва, що робить його незамінним у контексті масового протезування, зокрема в умовах війни. Завдяки автоматизації ключових етапів (від корекції стиснення до генерування G-коду) Flyshape не лише скорочує час виготовлення протезів, але й забезпечує високу відтворюваність результатів, мінімізуючи вплив людського фактору [5].

ЛІТЕРАТУРА

1. O. Korolovych, K. Selivanova, Y. Nosova and M. Tymkovych, "Physical Rehabilitation System of the Upper Extremities Muscle Dysfunction," 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv, Ukraine, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755903.
2. Tymkovych, M., Avrunin, O., Selivanova, K., Kolomiets, A., Bednarchyk, T., & Smailova, S. (2024). CORRESPONDENCE MATCHING IN 3D MODELS FOR 3D HAND FITTING. Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 14(1), 78–82. <https://doi.org/10.35784/iapgos.5498>
3. Королович О. С. Основні вимоги до процесу фізичної реабілітації м'язової дисфункції верхніх кінцівок / О. С. Королович, К. Г. Селіванова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. – Харків : НТУ «ХПІ». – С. 1342.
4. Інтеграція відкритих освітніх ресурсів для українських студентів: міжнародний досвід та співпраця в умовах кризових обставин / А. А. Соколов, К. Г. Селіванова, Я. В. Носова, А. О. Боєчко-Немовча // Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р.– Харків : Держ. біотехнологічний ун-т., 2024. – С. 251-252.
5. Селіванова К. Г. Використання можливостей інтелектуального робота для прискорення процесу фізичної реабілітації рук / К. Г. Селіванова, О. Г. Аврунін // Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 125-річному ювілею Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 13-14 грудня 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 196-198.

INTERNATIONAL EXPERIENCE IN THE USE OF FLYSHAPE SOFTWARE FOR INDIVIDUALIZED THREE-DIMENSIONAL MODELING OF LOWER LIMB PROSTHESES

Avrunin O.G., Selivanova K.G., Tymkovych M.Y., Nosova Y.V.

Abstract. *Rehabilitation engineering is currently the most relevant area in Ukraine, requiring modern solutions and innovative technologies. The development of bionic limbs, automated systems for replacing lost human organs and functions can significantly improve the quality of life and accelerate the functional recovery of military and civilians. The growing need for rehabilitation solutions requires rapid adaptation of global achievements in the field of prosthetics and orthotics, in particular due to limited resources and the need to scale assistance. The purpose of this research work is to*

analyze the possibility of using the Flyshape software tool to create individualized 3D models of lower limb prostheses, as well as to demonstrate its potential. An important step for creating personalized prostheses is an accurate three-dimensional scan of the patient's stump, which allows taking into account its anatomical features, shape and size.

Keywords: *healthcare, medical information systems, prosthetics, orthotics, modeling, three-dimensional scanning, three-dimensional printing, artificial limbs*

REFERENCES

1. O. Korolovych, K. Selivanova, Y. Nosova and M. Tymkovych, "Physical Rehabilitation System of the Upper Extremities Muscle Dysfunction," 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv, Ukraine, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755903.
2. Tymkovych, M., Avrunin, O., Selivanova, K., Kolomiets, A., Bednarchyk, T., & Smailova, S. (2024). CORRESPONDENCE MATCHING IN 3D MODELS FOR 3D HAND FITTING. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 14(1), 78–82. <https://doi.org/10.35784/iapgos.5498>
3. Korolovych O. S. Basic requirements for the process of physical rehabilitation of muscle dysfunction of the upper extremities / O. S. Korolovych, K. G. Selivanova // *Information technology: science, technology, technology, education, health: abstracts of the XXXII International Scientific and Practical Conference MicroCAD-2024*, May 22-25, 2024 - Kharkiv: NTU "KHPI." - P. 1342.
4. Integration of open educational resources for Ukrainian students: international experience and cooperation in crisis circumstances / A. Sokolov, K. Selivanova, Y. Nosova, A. Boyechko-Nemovcha // *Electricity, electromechanics and technologies in the agro-industrial complex: materials of the International scientific and practical conference*, November 6, 2024 - Kharkiv: State Biotechnology University, 2024. - P. 251-252.
5. Selivanova K. G. Using the capabilities of an intelligent robot to accelerate the process of physical rehabilitation of hands / K. G. Selivanova, O. G. Avrunin // *Current state and prospects of biomedical engineering: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*, December 13-14, 2023 - Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023.