

4. Gutrya, S.S., Yaglinsky, V.P., Bezuglenko, O.U. (2004). Multi-criterion optimization functional trajectories of industrial robots. *Annals of DAAAM International, Vienna*, 37-38.

УДК 621.7, 617-7

**Пасічник В.А.,** докт. техн. наук, професор  
**Бурбурська С.В.,** аспірант

**Лашина Ю.В.,** канд. техн. наук

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

[y.lashyna@gmail.com](mailto:y.lashyna@gmail.com)

ТОВ «Остеоніка», м. Львів

## МОДЕЛЮВАННЯ І АДДИТИВНЕ ВИГОТОВЛЕННЯ ХІРУРГІЧНИХ НАВІГАТОРІВ ДЛЯ КАСТОМНИХ ОРТОПЕДИЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ

Сучасні адитивні технології відкривають нові можливості економічно доцільного виготовлення одиничних виробів екстремально складної геометрії, що в свою чергу створює умови для поширення використання індивідуальних ортопедичних імплантатів замість стандартизованих виробів того ж призначення [1]. Виготовлення кастомних ортопедичних імплантатів є комплексною задачею, для вирішення якої використовується міждисциплінарний підхід, що потребує взаємодії фахівців в різних галузях, зокрема медицини, автоматизованого проектування, адитивного і субтрактивного виробництва та управління [2]. При цьому можна виділити три ключові бізнес-ролі: медичні послуги, розробка, виробництво. Ресурси (*Resources – R*), необхідні для реалізації виробництва кастомного імплантату нами були розділені на три групи: людські (*Human Resources – H*), інформаційні (*IT Resources – I*) та матеріальні (*Material Resources – M*).

Важливою підзадачею при розробці кастомних імплантатів є конструювання і виготовлення хірургічних навігаторів. Ці пристрої використовуються для визначення положення та обмеження переміщення різального інструменту під час виконання хірургічної операції. Особливістю хірургічних навігаторів є те, що вони розробляються під конкретний випадок і є одноразовими [3]. Наприклад, пристрій, показаний на рис. 1, розроблений Лабораторією біомедичної інженерії «Osteonica» [4] дозволяє визначити необхідну траєкторію переміщення інструменту при свердлінні отворів і обмежити хід свердла. Також в конструкції пристрою реалізовано визначення положення і обмеження робочого ходу хірургічної пилки. Кріплення пристрою реалізується за допомогою шпиль, які встановлюються в спеціальні отвори.

Метою дослідження є аналіз ресурсів, необхідних для розроблення й виробництва хірургічних навігаторів для кастомних імплантатів як частини загальної комп'ютерно-інтегрованої моделі, придатної для вирішення задач оптимізації за критеріями часу або вартості.

Проектування хірургічного навігатора виконується на основі тривимірної моделі імплантату, а також вихідних даних щодо проведення хірургічної операції, отриманих від медичного закладу. Множина ресурсів, необхідних для реалізації цієї підзадачі може бути представлена наступним чином:  $R_{D1} = \{H_D^{CAD}, I_{SW}^{CAD}, I_{Kn}^{DB}\}$ , де

$H_D^{CAD}$  - людський ресурс, інженер-конструктор;

$I_{SW}^{CAD}$  – інформаційний ресурс, система тривимірного моделювання (наприклад, Autodesk Fusion 360);

$I_{Kn}^{DB}$  – інформаційний ресурс, а саме: «Робоча інструкція з проектування хірургічних шаблонів, згідно вимог Технічного регламенту щодо медичний виробів».

Тривалість виконання задач:  $T_{D1}.time = H_D^{CAD}.time$

Вартість використання ресурсів:  $T_{D1}.cost = H_D^{CAD}.cost + I_{SW}^{CAD}.cost + I_{Kn}^{DB}.cost$ .

Де загальна вартість використання ресурсу визначається як добуток обсягу його споживання  $Resource.amount$  і вартості його використання в одиницю обсягу  $Resource.rate$ :

$$Resource.cost = Resource.amount \times Resource.rate$$

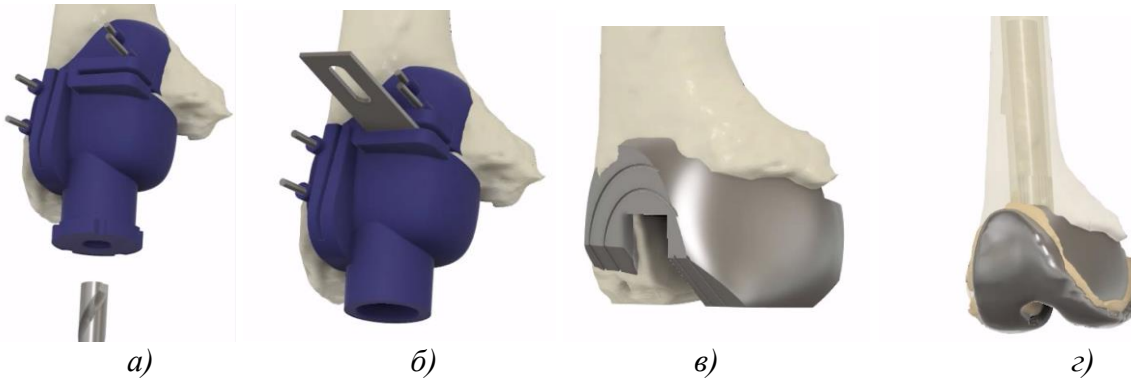


Рис. 1. – Приклад хірургічного навігатора:

а) свердління отвору; б) різання пилкою; в) і г) моделі імплантатів

Оскільки пристрій є індивідуальним і одноразовим, його доцільно виготовляти за допомогою адитивних технологій. Основними критеріями вибору адитивного способу виготовлення хірургічних навігаторів є: якість поверхні, вартість та час виготовлення. Найбільш раціональним з точки зору цих трьох показників є процес, який відноситься до групи VAT Photopolymerization. В даному випадку використовується процес LCD.

Ресурси, необхідні для виготовлення хірургічних навігаторів можуть бути представлені наступним чином:

$R_{D2} = \{H_D^{RP}, I_{SW}^{RP}, M_{Eq}^F, M_M^F\}$ , де  $H_D^{RP}$  – людський ресурс, спеціаліст з 3D-друку;

$I_{SW}^{RP}$  – інформаційний ресурс, програмне забезпечення підготовки управляючої програми для обладнання 3D-друку (наприклад, Chitubox);

$M_{Eq}^F$  – матеріальний ресурс, 3D-принтер та обладнання для пост-оброблення (наприклад, LCD Phrozen Sonic 4k);

$M_M^F$  – матеріальний ресурс, матеріал хірургічних навігаторів (наприклад, фотополімерна смола NextDent SG (Surgical Guide)).

Тривалість виконання задачі:  $T_{D2}.time = H_D^{RP}.time + M_{Eq}^F.time - t'$ ,

де  $t'$  – тривалість спільного використання ресурсів  $H_D^{RP}$  і  $M_{Eq}^F$ .

Вартість використання ресурсів:  $T_{D2}.cost = H_D^{RP}.cost + M_{Eq}^F.cost + M_M^F.cost + I_{SW}^{RP}.cost$

Проаналізовані ключові людські, інформаційні та матеріальні ресурси, необхідні для успішного виконання задачі розроблення і виготовлення хірургічних навігаторів. Тривалість і вартість задачі представлено у виді залежностей від часу і вартості використання ресурсів. Визначення необхідних ресурсів розглянуто на практичному прикладі.

#### Список посилань

1. Adam E. Jakus PhD. An Introduction to 3D Printing - Past, Present, and Future Promise, 3D Printing in Orthopaedic Surgery, Elsevier Inc. 2019, 1-15p

2. Margaret Hauser, Russell King, Richard Wusk, Ola Harrysson. Resource planning for direct fabrication of customized orthopedic implants using EBM technology, Journal of Manufacturing Systems, Volume 60, 2021, Pages 500-511, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.003>.

3. Pasichnyk, V., Kryvenko, M., Burburska, S., Haluzynskyi, O. (2021). Design and Engineering Assurance for the Customized Implants Production Using Additive Technologies. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Zajac, J., Peraković, D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_9).

4. Laboratory of Biomedical Engineering “Osteonica”, <https://osteonica.com/en>, last accessed 2023/05/19