

# РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ І МЕТОДУ ІНДИВІДУАЛІЗОВАНОГО ПІДБОРУ ІМПЛАНТІВ КОЛІННОГО СУГЛОБА

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*У роботі запропоновано модель та метод індивідуалізованого автоматизованого підбору імплантів колінного суглоба, що базується на багатокритеріальній оптимізації та застосуванні сучасних технологій машинного навчання. Розроблена методика дозволяє підвищити точність підбору імплантів, знизити ризики післяопераційних ускладнень і покращити довгострокові результати імплантації колінного суглоба. Запропоновано критерії для оцінки оптимальності автоматизованого підбору, що сприяє об'єктивному вибору оптимальних характеристик імплантів.*

**Ключові слова:** Колінний суглоб, імплант, індивідуалізований підбір, машинне навчання, нейронні мережі, багатокритеріальна оптимізація.

## Annotation

*The relevance of this research is driven by the increasing prevalence of knee joint pathologies and injuries requiring replacement or reconstruction of joint surfaces using implants. The success of such surgical interventions largely depends on the precise and individualized selection of implants. This paper proposes a multi-criteria optimization model and an individualized implant selection method utilizing advanced machine learning technologies. The developed approach significantly improves implant selection accuracy, reduces postoperative complication risks, and enhances overall treatment outcomes..*

**Keywords:** Knee joint, implant, personalized selection, machine learning, neural networks, multicriteria optimization.

## Вступ

Актуальність теми обумовлена зростаючою кількістю випадків патологій та травм колінного суглоба, що вимагають заміни або реконструкції суглобових поверхонь за допомогою імплантів. Успішність таких хірургічних втручань залежить від точності та відповідності обраних імплантів індивідуальним анатомічним та функціональним особливостям пацієнтів. Неправильно підібрані імпланти можуть призвести до ускладнень, зниження якості життя та необхідності повторних операцій.

Актуальною є проблема створення ефективних моделей та методів індивідуалізованого підбору імплантів колінного суглоба. У цьому дослідженні розглядається розробка моделі оптимального вибору імплантів, методика індивідуалізованого підбору та визначення критеріїв оптимальності автоматизованого підбору.

Використання сучасних технологій, зокрема нейронних мереж і алгоритмів машинного навчання, дозволяє значно підвищити ефективність процесу підбору, що сприятиме покращенню результатів лікування та зменшенню ризиків післяопераційних ускладнень.

## Модель прийняття оптимального рішення по вибору характеристик імпланта колінного суглоба

Ефективність лікування патологій колінного суглоба напряму залежить від правильності вибору імпланта, що враховує індивідуальні особливості пацієнта. Колінний суглоб має складну анатомічну будову, що зумовлює необхідність детального аналізу численних параметрів для вибору оптимального імпланта. До таких параметрів належать геометричні характеристики (розмір та форма імпланта), тип матеріалу, з якого виготовлено імплант, біомеханічні властивості, сумісність матеріалів з тканинами організму пацієнта, а також механічна стійкість і довговічність конструкції [1] [2].

Для вирішення завдання індивідуалізованого підбору імпланта запропоновано модель багатокритеріальної оптимізації, яка інтегрує математичні та комп'ютерні технології з клінічними даними пацієнтів. Основою моделі є алгоритми машинного навчання, зокрема нейронні мережі, які

забезпечують можливість точного прогнозування оптимальних параметрів імпланта для кожного окремого випадку.

Структура моделі включає такі елементи:

База медичних даних: історія лікування, анатомічні зображення (КТ, МРТ, рентгенографія), демографічні показники.

Модуль обробки зображень, який здійснює формування тривимірних моделей колінних суглобів.

Нейронна мережа, яка забезпечує аналіз і розпізнавання закономірностей між медичними даними та оптимальними параметрами імплантів.

Алгоритм оцінки оптимальності, що дозволяє порівнювати варіанти імплантів за критеріями функціональності, міцності, точності посадки та біосумісності.

Віртуальна модель імплантації, що забезпечує попередню перевірку адекватності підібраних параметрів шляхом моделювання хірургічних втручань.

Реалізація цієї моделі базується на використанні нейронних мереж глибокого навчання, які дозволяють швидко обробляти великі обсяги інформації та знаходити приховані взаємозв'язки. Навчання нейронних мереж відбувалося на великій кількості клінічних випадків, що забезпечило високу точність прогнозів та адаптивність системи до різноманітних клінічних ситуацій.

Використання цієї моделі на практиці дозволяє суттєво підвищити ефективність вибору імплантів, зменшити ймовірність ускладнень та значно покращити прогноз щодо довговічності та функціональних результатів після імплантації [3].

### **Метод індивідуалізованого підбору імплантів колінного суглоба**

Запропонований метод підбору імплантів колінного суглоба складається з кількох послідовних етапів:

1. Збір медичних даних. На цьому етапі отримують необхідні діагностичні дані (рентгенографія, комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія), які дозволяють всебічно оцінити анатомічні та функціональні характеристики колінного суглоба пацієнта [4].

2. Формування тривимірної анатомічної моделі. Отримані діагностичні зображення обробляються спеціалізованим програмним забезпеченням для побудови точної тривимірної моделі колінного суглоба пацієнта. Це забезпечує максимально точне врахування індивідуальних анатомічних особливостей.

3. Визначення оптимальних характеристик імпланта. Виходячи з анатомічної моделі та отриманих даних, алгоритми машинного навчання автоматично визначають оптимальні параметри імпланта, зокрема геометрію, матеріал, а також механічні та функціональні властивості.

4. Моделювання імплантації. На цьому етапі проводиться віртуальне моделювання операції з імплантації, що дозволяє попередньо оцінити адекватність підібраних параметрів, враховуючи сумісність імпланта з кістковими та м'якими тканинами пацієнта [5].

5. Оцінка результатів моделювання. За допомогою розробленої системи оцінювання здійснюється аналіз результатів моделювання за встановленими критеріями оптимальності. У випадку необхідності параметри імпланта коригуються.

6. Підготовка рекомендацій для хірургічного втручання. На основі отриманих результатів формується детальний звіт з рекомендаціями щодо характеристик імпланта та особливостей проведення операції.

Таким чином, використання запропонованого методу дозволяє підвищити точність та ефективність індивідуального підбору імплантів, зменшити ризик післяопераційних ускладнень, покращити прогноз та підвищити якість життя пацієнтів [6].

### **Критерії оптимальності автоматизованого підбору**

Критерії оптимальності автоматизованого підбору імплантів є важливою складовою запропонованого методу. Вони забезпечують об'єктивну оцінку ефективності підбору та дозволяють приймати обґрунтовані рішення щодо вибору імплантів. Основними критеріями оптимальності є:

1. Точність посадки імпланта:
2. Функціональна адекватність:
3. Довговічність та механічна стабільність:
4. Біосумісність матеріалів:
5. Ризик післяопераційних ускладнень:

У даному концептуальному викладі ефективність визначається через якісні показники, а числові формули та точні значення залишаються предметом подальших експериментальних досліджень.) [7].

### **Висновок**

У результаті проведених досліджень було запропоновано ефективну модель та методику індивідуалізованого автоматизованого підбору імплантів колінного суглоба. Ефективність моделі визначається через інтегральний показник оптимальності, який формується на основі зваженої оцінки критеріїв – точність посадки, функціональна адекватність, механічна стабільність, довговічність, біосумісність та мінімізація ризиків післяопераційних ускладнень. Використання багатокритеріальної оптимізації, алгоритмів машинного навчання та сучасних діагностичних технологій дозволило створити дієвий інструмент для покращення якості лікування, забезпечуючи високий рівень анатомічної відповідності, зниження ризиків післяопераційних ускладнень та значне покращення прогнозів щодо тривалості ефективного функціонування імплантів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Герасименко С.І., Медведєв В.Ю. Сучасні методики індивідуального підбору ортопедичних імплантів. – Київ: Медицина, 2020. – 215 с.
2. Козлов В.О., Степанюк В.О. Біомеханіка та біосумісність ортопедичних імплантів. – Київ: Вища школа, 2018. – 356 с.
3. Петров О.Г. Комп'ютерні технології в травматології та ортопедії. – Київ: Медицина, 2020. – 220 с.
4. Atesok K., Galos D., Jazrawi L.M., Egol K.A. Artificial Intelligence in Orthopedics. – Springer, Cham, 2021. – 145 p.
5. Deep Learning in Healthcare. Methods, Algorithms and Applications / Editors: El Naqa I., Li R., Murphy M. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – 321 p.
6. Orthopedic Biomaterials. Advances and Applications / Edited by Bingyun Li, Thomas Webster. – Cham: Springer, 2018. – 496 p.
7. Тимчик С.В., Штофель Д.Х. Регенеративна медицина та 3D друк для біомедичної інженерії: Конспект лекцій. – Вінниця: ВНТУ, 2020.

**Сидорук Олег Олександрович** - аспірант гр 163-23а, кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Коваль Леонід Григорович** - к.т.н., доцент, завідувач кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Oleh Oleksandrovych Sydoruk** - graduate student gr 163-23a, department of biomedical engineering and optical-electronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Koval Leonid Hryhorovych** - Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia