

**Костянтин ДЯДЮРА**, д-р техн. наук., проф.,

**Павло ПРОКОПОВИЧ**, студент

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: dyadyura.k.o@op.edu.ua,  
pashaprokopovich@gmail.com

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ДАНИХ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ АДИТИВНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ КІСТКОВИХ ЗАМІННИКІВ**

**Анотація.** Науковим напрямом досліджень є розробка принципів та методів прийняття науково-обґрунтованих рішень при проектуванні та адитивному виготовленні кісткових заміників на основі апатит-біополімерних композитів з функціональними властивостями в залежності від характеру локалізації порожнинного кісткового дефекту та його розмірів. Запропоновано комплекс методів аналізу зображень кісткової тканини з урахуванням її просторової структури, які одержані сенсорами різної фізичної природи. Отримані в результаті виконання проєкту нові знання стануть необхідною базою для прийняття на практиці оптимальних рішень для впровадження новітніх методів лікування та протезування в травматичну хірургію, онкологію, черепно-щелепну хірургію, стоматологію з урахуванням ризиків біосумісності апатит-біополімерних композитів.

**Ключові слова:** Комп’ютерна томографія, сегментація, адитивне виробництво, оптимізовані дані медичних зображень.

**Актуальність дослідження.** На сьогодні лікування пошкоджень кісткової тканини є соціально-економічною проблемою світового рівня, у зв’язку із збільшенням чисельності та важкості різного виду травмувань, у тому числі отриманих у результаті поранень під час військових дій та терористичних актів. Впровадження новітніх методів лікування та протезування формує запит на різноманітні за складом, пористістю та міцністю апатит-біополімерні композити. Виготовлення кісткового заміника з функціональними властивостями, що враховують закономірності новоутворення кісткової тканини стало можливим завдяки застосуванню системи інженерного CAD/CAM/CAE проектування та використанню адитивних технологій (3D, 4D і 5D). Для прийняття обґрунтованих рішень при управлінні процесами проектування та адитивного виготовлення пористих кісткових заміників необхідна точність і швидкість обробки зображень отриманих за допомогою сучасних методів рентгенографії, комп’ютерної та магнітно-резонансної томографії. За останні роки було представлено ряд методів та алгоритмів, що застосовуються для вирішення цих завдань, одними з найбільш ефективних є глибокі нейронні мережі складної архітектури [1]. Важливим критерієм оцінки роботи нейронної мережі у разі розпізнавання зображення – це точність та швидкість. Існуючі тенденції Big Data (великі обсяги, різноманітність, мінливість), обробки інформації в умовах невизначеності призводять до закономірної проблеми – збільшення обчислювальних ресурсів, які витрачаються на їх навчання та перенавчання. Аналіз показав, що час навчання глибоких нейронних мереж значною мірою визначається оптимізаційними методами, які використовуються. Удосконалення методів навчання нейронних мереж (НМ) [1] при розпізнаванні параметрів зображень для отримання біоматеріалів з контрольованим складом, пористістю та міцністю оптимальних для конкретної ділянки кісткового заміщення є актуальним науковим напрямом прикладного дослідження, що дозволить підвищити ефективність лікування та протезування в ортопедії та травматології. Найбільш поширенішими при навчанні глибоких НМ є низка методів, в основі яких лежить градієнтний метод оптимізації. Однак усім їм властивий в умовах багатоцільової, мультимодальної та зашумленої функції загальний недолік – «повільна» збіжність, яка суттєво збільшує час навчання. Для його усунення в даному дослідженні запропоновано модифікацію методів навчання НМ на основі градієнтного спуску, що ґрунтується на застосуванні теорії нелінійної динаміки, та розроблено відповідні теоретичні положення для реалізації методів.

**Метою дослідження** є створення наукових основ підтримки прийняття рішень при проектуванні кісткових замінників з контрольованим складом, пористістю та механічною міцністю і подальшого вибору адитивних технологій їх виготовлення з апатит-полімерних біоматеріалів, у тому числі з нанорозмірною структурою.

**Основні матеріали досліджень.** Для відновлення кісткових тканин застосовуються пористі біоматеріали, у тому числі з нанорозмірною структурою, на основі кальцій дефіцитного гідроксиапатиту (cdГА) з молярним співвідношення Ca/P в межах від 1.5 до 1.67 в комбінації з біодеградуєчими полімерними біомолекулами, а також необхідними лікарськими засобами для їх дозованого вивільнення в зоні дефекту протягом регенеративного циклу [2].

Науковий підхід, що реалізується у дослідженні базуються на використанні загальносистемних еволюційних трансдисциплінарних моделей. Для створення системи підтримки прийняття рішень систематизована клінічна інформація відповідно до теми та завдань дослідження. Методи дослідження: загально клінічні, рентгенологічні, комп'ютерні, денсиметричні, електронно мікроскопічні. Розроблено новий алгоритм функціональної оцінки стану пацієнтів при пошкоджені кісткової тканини відповідно при поступленні в клініку, після проведення хірургічного втручання та на контрольних оглядах, а також прогнозування результатів лікування та реабілітації хворих в після операційному періоді. Функціональна оцінка проводиться за результатами суб'єктивних та клінічних методів дослідження. Запропонована нова схема оцінки результатів імплантації дефекту кісткової тканини, яка враховує вид деформації кісткової тканини, заповнення або проростання мозолі, мінеральну щільність кісткової тканини. Запропоновано новий алгоритм визначення показників напружено-деформованого стану кісткової тканини за умов моделювання методами CAD/CAM/CAE проектування різних типів дефектів і методик їхнього заповнення біоматеріалом. Детально розглянуто всі етапи та елементи інформаційної моделі в процесі оптимізації форми кісткового замінника. Розроблено нові методологічні засади прийняття рішень на основі розроблення комплексу методів аналізу зображень, одержаних сенсорами різної фізичної природи, для створення твердотільних 3D моделей кісткового замінника та його виготовлення методами адитивних технологій. Для досягнення кращої точності та часу обробки сегментації кісток використовували чотири різні типи планарних даних. Для вимірювання точності використана матриця плутанини, тобто істинно позитивний, хибно позитивний та хибно негативний. Розроблено нові методи прийняття багатокритеріальних рішень щодо процесів проектування кісткового замінника з контрольованим складом, нанорозмірною структурою, пористістю та механічною міцністю і подальшого вибору адитивної технології виготовлення з апатит-полімерних біоматеріалів. Методи дослідження: методи теорії функцій комплексного змінного та геометричного комплексного аналізу, методи теорії розпізнавання образів, методи імітаційного моделювання, методи теорії управління нелінійними дискретними динамічними системами, методи теорії оптимізації та системного аналізу, методи глибокого навчання нейронних мереж, методи інтелектуального аналізу даних. Запропоновані нові методи попередньої обробки, зберігання та аугментації прикладів, яких не вистачає для навчання. Розроблено нові методи та алгоритм пошуку оптимальних параметрів для запропонованих модифікацій методів градієнтного спуску. Розроблені інформаційно-аналітичні матеріали, рекомендацій, пропозицій тощо. Проведена апробація програмної реалізації інтелектуальної системи підтримки прийняття для військово-цивільного застосування в ортопедії та травматології.

### **Висновок**

В умовах військових дій при наданні допомоги пораненим актуальним питанням залишається пошук замісних матеріалів для пошкоджених тканин опорно-рухової системи, зокрема кісткової, з можливістю відновлення анатомічної активності та функції кістки як органу. Дослідження спрямовані на ідентифікацію та класифікацію уражень кісткової тканини. Вперше, з урахуванням світового досвіду, розробляються методологічні принципи

прийняття багатокритеріальних рішень при аналізі зображень кісткової тканини з урахуванням її просторової структури для проектування та адитивного виготовлення кісткового замітника з функціональними властивостями, залежно від анатомічних даних, характеру та локалізації порожнинного кісткового дефекту, його розмірів та умов навантаження. Впровадження результатів дослідження може бути в травматичну хірургію, онкологію, черепно-щелепну хірургію, стоматологію тощо де формується запит на біоматеріали з функціоналізованими властивостями. Результати проєкта можуть бути використані у подальших прикладних дослідженнях і розробках, для підготовки рекомендацій вибору апатит-полімерних композитних матеріалів за результатами *in vivo* досліджень.

### **Література**

1. Top, N., Şahin, İ., Gökçe, H. et al. Computer-aided design and additive manufacturing of bone scaffolds for tissue engineering: state of the art. *Journal of Materials Research*. 36, 2021, pp. 3725–3745.
2. Sukhodub, L.F., Sukhodub, L.B., Kumeda, M.O. Physical and chemical factors influencing the porosity of apatite-biopolymer composites. *Himia, Fizika ta Tehnologija Poverhni*, 13(3), 2022, pp. 301–310.