

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя
д.т.н., професору Пастуху Олегу Анатолійовичу

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента **Федака Сергія Ігнатовича**
на дисертаційну роботу **Демчика Владислава Івановича**
«Методи машинного навчання для моделювання функціональних
властивостей та довговічності сплавів»,
подану до захисту на здобуття
ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології»
зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації

У сучасному матеріалознавстві та механіці деформівного твердого тіла важливим завданням є прогнозування функціональних властивостей і довговічності сплавів з пам'яттю форми. Традиційні експериментальні методи є фінансово затратними та тривалими, тому застосування машинного навчання як інструменту моделювання забезпечує ефективну альтернативу. Дослідження Демчика В.І. спрямоване на розробку моделей для NiTi-сплавів, що мають унікальні властивості (ефект пам'яті форми, псевдопружність, високу міцність і корозійну стійкість), актуальні для медицини, робототехніки та промисловості.

Наукова новизна положень, результатів і висновків дисертації

У ході виконання дисертаційної роботи одержано вагомі результати, що мають наукову новизну.

У дисертації вперше:

- розроблено методики прогнозування функціональних властивостей сплавів з використанням алгоритмів машинного навчання (нейронні мережі, випадкові ліси, метод опорних векторів).
- запропоновано підхід до моделювання функціональних властивостей NiTi-сплавів на основі регресійних залежностей, побудованих із застосуванням системи Orange.
- побудовано аналітичну модель петель гістерезису нікель-титанового СПФ на основі мінімізації функціоналу методом найменших квадратів із

застосуванням кусково-лінійних функцій, що забезпечує новий інструмент для опису нелінійної поведінки матеріалу.

Практична цінність одержаних результатів

Практична значущість дисертаційної роботи Владислава Івановича Демчика полягає у створенні та застосуванні методів машинного навчання для моделювання функціональних властивостей та довговічності сплавів. Отримані результати мають безпосереднє прикладне значення.

Моделі дозволяють прогнозувати характеристики NiTi-сплавів без проведення тривалих і дорогих експериментів, що оптимізує процес розробки нових матеріалів. Результатами можна скористатися для створення надійних імплантів, ортопедичних конструкцій та медичних інструментів, де критично важлива довговічність і біосумісність матеріалів. Також розроблені алгоритми показують можливості інтеграції машинного навчання у матеріалознавство, відкриваючи перспективи для міждисциплінарних досліджень. Застосування методів прогнозування дозволяє скоротити витрати на дослідження та розробку, підвищуючи ефективність наукових і виробничих проєктів.

Таким чином, результати дисертаційної роботи мають значний потенціал для практичного використання у наукових дослідженнях, промислових розробках та медичних застосуваннях, забезпечуючи підвищення якості та надійності матеріалів.

Обґрунтованість і достовірність результатів

Висновки дисертаційної роботи підтверджено застосуванням належним чином обґрунтованих методичних підходів, системним оцінюванням ефективності розроблених моделей та узгодженістю отриманих результатів із положеннями, наведеними у працях інших дослідників. Це забезпечує високий рівень достовірності та надійності наукових висновків.

Результати дослідження пройшли апробацію на наукових конференціях та опубліковані у провідних фахових виданнях. Зокрема, автор представив дві статті у періодичних виданнях, що індексуються міжнародними наукометричною базою Scopus, що підтверджує відповідність роботи сучасним вимогам академічної спільноти та її визнання у міжнародному науковому просторі.

Зв'язок роботи з державними програмами

Дисертаційна робота В. Демчика пов'язана з науковими дослідженнями на кафедрі систем штучного інтелекту та аналізу даних Тернопільського національного університету імені Івана Пулюя і виконана у рамках науково-дослідних робіт «Моделювання функціональних і конструкційних властивостей сплавів з пам'яттю форми методами машинного навчання» (реєстраційний № 0122U001858) та «Розв'язування задач науки методами штучного інтелекту».

Структура та зміст

У першому розділі дисертації детально висвітлено особливості сплавів з пам'яттю форми та їхні ключові функціональні властивості: здатність до відновлення, псевдопружність і високу демпфуючу здатність. Автор підкреслює широке застосування таких матеріалів у промисловості — від кріпильних і з'єднувальних елементів, температурно-чутливих систем безпеки та побутових приладів до актуаторів у робототехніці й медичних пристроях. Окремо розглянуто фазові перетворення між мартенситною та аустенітною фазами, що відбуваються бездифузійно та зворотно, забезпечуючи унікальні механічні властивості. Проаналізовано термічний гістерезис, який формує петлі при нагріванні та охолодженні й впливає на поведінку матеріалу під дією термічної втоми, а також механічні характеристики: високу міцність та значне видовження без руйнування, корозійну стійкість і біосумісність, що робить NiTi-сплави придатними для імплантатів; втомну поведінку, яка залежить від фазового стану, температури переходу та мікроструктури.

У другому розділі подано методіку прогнозування властивостей сплавів з пам'яттю форми за допомогою машинного навчання. Для цього автор скористався програмним середовищем Orange, що забезпечило повний цикл аналізу даних та побудову регресійних моделей. Описано процедури попередньої обробки (нормалізація ознак у діапазон $[0,1]$) та методи аугментації даних (кубічні сплайни, інтерполяція Акіма, модифікований метод *takima*). Запропонована блок-схема відображає основні етапи побудови регресійних залежностей.

У третьому розділі змодельовано регресійні залежності для розмаху залишкових деформацій та розсіяння енергії з використанням різних алгоритмів машинного навчання: kNN, SVM, SGD, Random Forest, Neural Network, Gradient Boosting, AdaBoost. Найкращі результати за точністю показали методи kNN, AdaBoost, Gradient Boosting та Random Forest.

Також змодельовано втомну довговічність титанових сплавів. Запропонована модель на основі багатошарового перцептрона з високою точністю прогнозує довжину втомної тріщини (похибка не перевищує 0,4 %). Вона показала здатність узагальнювати дані без перенавчання та враховувати різні умови навантаження. Це дозволяє оцінювати залишковий ресурс матеріалу та приймати рішення щодо ремонту чи подальшої експлуатації конструкцій.

Побудовано математичну модель гістерезисних петель із застосування методу найменших квадратів, що адекватно описує діаграми деформування сплавів.

У дослідженні розглянуто моделювання розсіяння енергії NiTi-сплавів із врахуванням частоти циклів навантаження (0,1–10 Гц). Для цього застосовано ансамблеві методи AdaBoost та Random Forest, які показали найнижчі похибки прогнозування (MAPE = 0,074 для AdaBoost і 0,144 для Random Forest). Методи Gradient Boosting та Neural Network виявилися менш ефективними для цієї задачі.

Повнота викладу матеріалів у роботах, які опубліковано автором

Основні результати дисертації опубліковано у 3 статтях у наукових фахових виданнях України та 2 статтях у періодичних виданнях, які індексується міжнародною наукометричною базою Scopus, а також у 2 працях, що відображають апробацію результатів на міжнародних конференціях, з яких 1 індексується наукометричною базою Scopus. На мою думку, В. Демчик виконав усі вимоги щодо кількості та якості публікацій дисертаційної роботи.

Загальний обсяг дисертації складає 142 сторінки друкованого тексту, з яких основний текст викладено на 137 сторінках. Список першоджерел налічує 131 позицію.

Відомості про дотримання академічної доброчесності

Під час ознайомлення з дисертаційною роботою не виявлено порушень здобувачем норм академічної доброчесності. Текст дисертації відповідає змісту опублікованих праць автора, а використані матеріали інших дослідників мають відповідні бібліографічні посилання.

Зауваження та рекомендації до дисертаційної роботи

1. Доцільно було б ширше висвітлити реакцію моделей на шуми та модифікації даних, що підвищило б їхню надійність.

2. Варто розглянути порівняння з сучасними трансформерними архітектурами, які активно застосовуються у прогнозуванні складних залежностей.
3. Бажано доповнити аналіз залежністю точності моделей від розміру навчальних вибірок.

Наведені зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають на високу оцінку наукової цінності та обґрунтованості висновків дисертації.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам

Дисертаційна робота Владислава Івановича Демчика «Методи машинного навчання для моделювання функціональних властивостей та довговічності сплавів» є завершеним, цілісним і самостійним дослідженням, що має високу наукову новизну та практичну значущість.

На мою думку, зміст дисертації, рівень наукової новизни, практичне значення та сформульовані висновки відповідають усім вимогам, що висуваються до робіт у галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», а також вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом МОН України № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» від 12 січня 2017 р. і Постановою Кабінету Міністрів України № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (від 12 січня 2022 р.; зі змінами від 21 березня 2022 р., № 341, від 19 травня 2023 р., № 502 і від 03 травня 2024 р., № 507). Автор дисертаційної роботи - Демчик Владислав Іванович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри вищої математики
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя



Сергій ФЕДАК

