Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Image not found or type unknow

Державний обліковий номер: 0826U002973

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 30-06-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: 4/15-108 від 14.09.2026

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Тимощук Дмитро Іванович
2. Dmytro Tymoshchuk

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0246-2236

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп’ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Комп'ютерні науки

Дата захисту: 26-08-2026

Спеціальність за освітою: Металорізальні верстати та системи

Місце роботи здобувача: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 15086

Повне найменування юридичної особи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.54.03, 20.54.06, 30.19.59

Тема дисертації:

1. Методи та моделі машинного навчання для прогнозування гістерезисної поведінки сплавів з пам’яттю форми

2. Methods and models of machine learning for predicting the hysteresis behavior of shape memory alloys

Реферат/анотація:

1. Дисертація стосується розв’язання науково-практичної задачі побудови, оцінювання та порівняльного аналізу моделей машинного навчання для прогнозування гістерезисної поведінки сплавів з пам’яттю форми за умов циклічного навантаження, а також інтерпретації отриманих прогнозів засобами пояснюваного штучного інтелекту. Актуальність дослідження зумовлена широким застосуванням сплавів з пам’яттю форми в сучасних технічних системах, де важливими є висока точність прогнозування деформації, оцінювання впливу функціональної втоми, скорочення обсягу дорогих і тривалих експериментальних досліджень та забезпечення фізично обґрунтованої інтерпретації результатів моделювання. Особливу складність становить прогнозування еволюції гістерезисних петель на циклах навантаження, що виходять за межі навчального діапазону, оскільки залежність між напруженням і деформацією має нелінійний характер і залежить від

історії навантаження, частоти та накопичення втомних ефектів. У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання роботи, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про їх апробацію, практичне використання та висвітлення в наукових публікаціях. У першому розділі виконано аналіз предметної області. Розглянуто фізичні основи гістерезисної поведінки сплавів з пам'яттю форми, природу ефекту пам'яті форми та надпружності, особливості формування гістерезисних петель у координатах «напруження–деформація», а також вплив частоти навантаження, кількості циклів і фазових перетворень. Проаналізовано сучасні дослідження щодо застосування методів машинного навчання для прогнозування властивостей SMA та методів пояснюваного штучного інтелекту для інтерпретації результатів. Обґрунтовано доцільність використання машинного навчання для екстраполяційного прогнозування гістерезисної поведінки сплавів з пам'яттю форми. У другому розділі описано експериментальний набір даних, отриманий під час випробувань NiTi-дроту з пам'яттю форми на малоциклову втому за різних частот циклічного навантаження. Запропоновано математичну модель прогнозування деформації SMA з урахуванням номера циклу як незалежної вхідної змінної, що дало змогу відокремити прогнозування в межах навчального діапазону від екстраполяційного режиму. Вхідними змінними визначено напруження, номер циклу навантаження-розвантаження та індикатор фази циклу, а вихідною змінною — прогнозоване значення деформації. Розглянуто ансамблеві моделі VotingRegressor і StackingRegressor, рекурентні нейронні мережі SimpleRNN, LSTM, GRU та темпоральну згорткову мережу TCN. Запропоновано стратегію групового розбиття та валідації даних за номером циклу, а також описано структуру програмної системи дослідження. У третьому розділі наведено результати попередньої обробки експериментальних даних, статистичного аналізу вхідних ознак і цільової змінної та виявлення аномальних значень. Подано результати навчання й оцінювання моделей у межах навчального діапазону циклів 100–250. Для ансамблевих моделей виконано налаштування гіперпараметрів методом GridSearchCV, а для нейромережевих архітектур — методом Hyperband. Проведено порівняльний аналіз точності моделей за метриками MSE, MAE, MAPE та R^2. Встановлено, що побудовані моделі забезпечують високу точність прогнозування в межах навчального діапазону та здатні відтворювати залежність «напруження–деформація» і форму гістерезисних петель. У четвертому розділі представлено результати екстраполяційного прогнозування гістерезисної поведінки сплавів з пам'яттю форми на віддалених циклах навантаження. Досліджено узагальнювальну здатність моделей на циклах 251, 260, 300, 350, 400, 450 та 500. Встановлено, що найкращі результати у задачі довгострокового прогнозування забезпечує модель LSTM. Для інтерпретації прогнозів застосовано методи SHAP та Integrated Gradients. Показано, що домінуючий вплив на прогнозоване значення деформації має параметр напруження, тоді як внесок номера циклу зростає зі збільшенням тривалості циклічного навантаження, що узгоджується з накопиченням ефектів функціональної втоми. Отримані результати підтверджують фізичну узгодженість побудованих моделей і їх практичну придатність для прогнозування гістерезисної поведінки сплавів з пам'яттю форми.

2. The dissertation addresses the scientific and practical problem of developing, evaluating, and comparatively analyzing machine learning models for predicting the hysteresis behavior of shape memory alloys under cyclic loading, as well as interpreting the resulting predictions using explainable artificial intelligence methods. The relevance of the study is driven by the widespread use of shape memory alloys in modern engineering systems, where high accuracy in strain prediction, assessment of the effects of functional fatigue, reduction in the scope of costly and time-consuming experimental investigations, and physically grounded interpretation of modeling results are of great importance. A particular challenge lies in predicting the evolution of hysteresis loops for loading cycles beyond the training range, since the stress–strain relationship is nonlinear and depends on loading history, frequency, and the accumulation of fatigue effects. The introduction substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the aim and objectives of the study, defines the object, subject, and research methods, reveals the scientific novelty and practical significance of the obtained results, and provides information on their approbation, practical application, and presentation in scientific publications. The first chapter presents an analysis of the subject area. It examines the physical foundations of the hysteresis behavior of shape memory

alloys, the nature of the shape memory effect and superelasticity, the specific features of hysteresis loop formation in the “stress–strain” domain, as well as the influence of loading frequency, number of cycles, and phase transformations. Current research on the application of machine learning methods for predicting SMA properties and explainable artificial intelligence methods for interpreting results is analyzed. The chapter substantiates the feasibility of using machine learning for the extrapolative prediction of the hysteresis behavior of shape memory alloys. The second chapter describes the experimental dataset obtained during low-cycle fatigue testing of NiTi shape memory wire under different frequencies of cyclic loading. A mathematical model for predicting SMA strain is proposed, in which the cycle number is treated as an independent input variable, making it possible to distinguish prediction within the training range from the extrapolative regime. The input variables are defined as stress, loading–unloading cycle number, and a cycle-phase indicator, while the output variable is the predicted strain value. The chapter considers the ensemble models VotingRegressor and StackingRegressor, the recurrent neural networks SimpleRNN, LSTM, and GRU, and the temporal convolutional network TCN. A strategy for group-based data splitting and validation by cycle number is proposed, and the structure of the research software system is described. The third chapter presents the results of preprocessing the experimental data, statistical analysis of the input features and target variable, and outlier detection. It reports the results of training and evaluating the models within the training cycle range of 100–250. For the ensemble models, hyperparameter tuning was performed using GridSearchCV, whereas the neural network architectures were optimized using the Hyperband method. A comparative analysis of model accuracy was carried out using the MSE, MAE, MAPE, and R2 metrics. It was established that the developed models provide high prediction accuracy within the training range and are capable of reproducing the “stress–strain” relationship and the shape of hysteresis loops. The fourth chapter presents the results of extrapolative prediction of the hysteresis behavior of shape memory alloys for distant loading cycles. The generalization ability of the models was investigated for cycles 251, 260, 300, 350, 400, 450, and 500. It was established that the LSTM model provides the best performance in the long-term prediction task. The SHAP and Integrated Gradients methods were applied to interpret the predictions. The results show that the stress parameter has the dominant influence on the predicted strain value, whereas the contribution of the cycle number increases with the duration of cyclic loading, which is consistent with the accumulation of functional fatigue effects. The obtained results confirm the physical consistency of the developed models and their practical applicability for predicting the hysteresis behavior of shape memory alloys.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Tymoshchuk, D., & Yasniy, O. (2025). Modelling of hysteresis behaviour of nickel-titanium shape memory alloy using artificial neural network. Measuring and Computing Devices in Technological Processes, (2), 285–289. https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-82-40
- Tymoshchuk, D., & Yasniy, O. (2025). Information technology for predicting the hysteresis behavior of shape memory alloys based on a stacking ensemble machine learning model. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, 119(3), 134–146. https://doi.org/10.33108/ visnyk_tntu2025.03.134
- Tymoshchuk, D., Yasniy, O., Didych, I., Maruschak, P., & Lutsyk, N. (2025). Recurrent neural networks with integrated gradients explanation for predicting the hysteresis behavior of shape memory alloys. Sensors, 26(1), 110 (SCOPUS Q1). https://doi.org/10.3390/s26010110
- Tymoshchuk, D., Yasniy, O., Didych, I., Stanko, A., & Medvid, V. (2026). Prediction of SMA hysteresis behavior by ensemble stacking machine learning model with SHAP-based explanation. Progress in Engineering

Science, 100237 (SCOPUS Q2). https://doi.org/10.1016/j.pes.2026.100237

- Tymoshchuk, D., Yasniy, O., Didych, I., Maruschak, P., Lapusta, Y. (2026). Prediction of SMA Hysteresis Behavior: A Deep Learning Approach with Explainable AI. Computers, Materials & Continua, 87(3), 24 (SCOPUS Q2). https://doi.org/10.32604/cmc.2026.077062
- asniy, O., Tymoshchuk, D., Didych, I., Iasnii, V., & Pasternak, I. (2024, August 26-30). Modeling of hysteresis in shape memory alloys using artificial neural network. European Conference on Fracture 2024 Structural Integrity and Durability (ECF24), Zagreb, Croatia
- Yasniy, O., Tymoshchuk, D., Didych, I., Iasnii, V., & Tymoshchuk, V. (2024, November 17- 19). Modelling of shape memory alloys hysteretic behaviour considering the loading cycle frequency. 12th Annual Conference of Society of Structural Integrity and Life (DIVK12), Belgrade, Serbia
- Tymoshchuk, D., Yasniy, O., Didych, I., Medvid, V., & Stanko, A. (2025, November 25-28). Prediction of SMA hysteresis behaviour by ensemble stacking machine learning. 1st Biennial ESIS-CSIC Conference on Structural Integrity (BECCSI 2025), Belgrade, Serbia
- Tymoshchuk, D., Yasniy, O., Didych, I., Pasternak, I., & Nykytyuk, V. (2025, October 15- 17). Modeling the hysteresis behavior of SMA by an ensemble voting machine learning model. VIII International Conference "In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction" (DMDP 2025), Ternopil, Ukraine

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: Науково-дослідна тема ВК 76-24 «Розв'язування задач науки методами штучного інтелекту», № 01250000584

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ясній Олег Петрович

2. Oleh Yasnii

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.02.04

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9820-9093

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Водка Олексій Олександрович

2. Oleksii Vodka

Кваліфікація: к. т. н., 05.02.09

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4462-9869

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Грицюк Юрій Іванович

2. Yurii Hrytsiuk

Кваліфікація: д. т. н., 01.05.04

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Коноваленко Ігор Володимирович

2. Ihor Konovalenko

Кваліфікація: к. т. н., 05.11.13

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2529-9980

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Яцишин Василь Володимирович
2. Vasyl Yatsyshyn

Кваліфікація: к. т. н., 01.05.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5517-6359

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Код за ЄДРПОУ: 05408102

Місцезнаходження: вул. Руська, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46001, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Литвиненко Ярослав Володимирович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Литвиненко Ярослав Володимирович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Мартиняк Ірина Олександрівна
Реєстратор	Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна