

АНОТАЦІЯ

Чопорова О. В. Прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях з використанням комп'ютерного навчання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». – Запорізький національний університет Міністерства освіти і науки України, Запоріжжя, 2021.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет дослідження, розкрито наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у наукових публікаціях. Висвітлено відомості щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

У першому розділі «Аналіз предметної області моделювання тонкостінних конструкцій методами машинного навчання» розглянуто та проаналізовано сучасний стан досліджень за тематикою роботи. Зроблено огляд публікацій, проаналізовано нейромережеві методи моделювання та прогнозування у задачах механіки. Розглянуто публікації із застосування генетичних алгоритмів для структурної оптимізації нейронних мереж. Проаналізовано генетичні алгоритми у задачах моделювання напружено-деформованого стану конструкцій. З аналізу публікацій зроблено висновок, про актуальність розробки нейромережевих методів моделювання мереж для визначення напружено-деформованого стану та інтенсивності напружень за Мізесом пластин та оболонок, а також прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях. Підкреслено, що нейромережеві моделі є одним із найбільш адаптивних методів прогнозування, однак використання цих методів на практиці вимагає налаштування великої кількості параметрів нейронних мереж. Одним із підходів до автоматичного вибору структури нейромереж та налаштування їхніх гіперпараметрів є генетичні алгоритми.

Другий розділ присвячено розробці нейромережевого методу для

прогнозування напружено-деформованого стану плоских пластин. Зокрема, квадратної, круглої та кільцевої пластин, а також квадратної пластини з круглим вирізом та з різними умовами закріплення. Сфокусовано увагу на особливостях генерації навчальної вибірки, архітектури нейронної мережі та обчислювальному експерименті для кожного випадку форми пластини. Розглянуто випадки нейромережевого моделювання пласти зі сталими умовами закріплення (наприклад, затиснених), а також особливості архітектури нейронних мереж для моделювання пластин з довільними крайовими умовами. Досліджено вплив кількості нейронів, шарів нейронів і функцій активації на точність моделювання. Для генерації навчальної вибірки пластин з отвором довільного розміру та розташування розроблено скінченно-елементну модель. Параметри навчальних вибірок обрано таким чином, щоб моделі включали переважну більшість типових металевих пластин.

Розділ 3 «Використання машинного навчання для прогнозування напружено-деформованого стану оболонок» сконцентровано на розробці нейромережевих методів для прогнозування напружено-деформованого стану циліндричної оболонки, а також комбінації циліндричної та конічної оболонок. Для кожного випадку навчальну вибірку згенеровано на базі скінченно-елементної моделі оболонки. Розроблена архітектури нейронних мереж, а також проведено обчислювальні експерименти. Проілюстровано точність прогнозування нейромережевих моделей.

Четвертий розділ «Використання генетичного алгоритму для оптимізації архітектури нейронної мережі прогнозування напружено-деформованого стану конструкції» присвячено особливостям застосування генетичного алгоритму для оптимізації архітектури нейронної мережі. Розглянуто кодування архітектури нейронної мережі, функцій кросоверу та мутації. Проведено обчислювальний експеримент з генетичної оптимізації архітектури нейронної мережі для моделювання напружено-деформованого стану прямокутної пластини. Також приділено увагу генетичній оптимізації архітектури нейронної мережі для моделювання напружено-деформованого

стану циліндричної оболонки.

У висновках наведено наукову новизну роботи, її практичну значимість і перспективи подальшого розвитку.

У дисертаційній роботі отримано такі наукові результати:

– уперше розроблено нейромережевий метод для визначення напружено-деформованого стану пластин з довільними умовами закріплення, який дозволяє визначити максимальний прогин, а також максимальне значення інтенсивності напружень за Мізесом;

– уперше розроблено нейромережевий метод для визначення напружено-деформованого стану циліндричної оболонки та комбінації циліндричної та конічної оболонок, який дозволив визначити прогин та інтенсивність напружень за Мізесом;

– уперше розроблено нейромережевий метод на базі архітектури «автокодувальник» для визначення можливих зон руйнування у квадратних пластинах з отвором шляхом генерації ймовірних картин розподілу напружень;

– удосконалено нейромережеві методи моделювання напружено-деформованого стану тонкостінних конструкцій шляхом розробки генетичного алгоритму оптимізації архітектури нейронної мережі, що дало змогу підвищити точність прогнозування.

Програмну реалізацію розроблених методів виконано мовою програмування Python з використанням бібліотек scikit-learn, numpy, Pandas і Keras.

Отримані результати дослідження впроваджено в навчальний процес при вивченні дисциплін «Емпіричні методи програмної інженерії», «Засоби машинного навчання», «Нейронні мережі» та виконанні кваліфікаційних робіт студентами спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» Запорізького національного університету.

Ключові слова: мережа штучних нейронів, напружено-деформований стан, пластина, оболонка, прогнозування, генетичний алгоритм, популяція, мутація, схрещування, функція активації.

ABSTRACT

Choporova, O. V. **Damage zones forecasting for engineering constructions using machine learning.** PhD Thesis. Manuscript. Qualifying scientific.

Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Study program: 122 – Computer Science. Zaporizhzhia National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Zaporizhzhia, 2021.

The introduction substantiates the relevance of the work, formulates the purpose, objectives, object, subject of research, reveals the scientific novelty and practical significance of the results, provides data on testing the work and implementation of the results in practice, the number of publications.

In the first chapter the current state of research on the subject of work is considered and analyzed. A review of publications is made, neural network methods of modeling and predicting in mechanics problems are analyzed. Publications on the application of genetic algorithms for structural optimization of neural networks are considered. Genetic algorithms in the problems of modeling the stress-strain state of structures are analyzed. From the analysis of publications, it is concluded that there is no instrumental system for modeling neural networks to determine the stress-strain state and stress intensity according to Mises of plates and shells, and predicting failure zones in engineering structures. Underlined, that neural network models are one of the most adaptive methods of forecasting, but the use of these methods in practice requires the adjustment of a large number of parameters of neural networks.

The second chapter is devoted to the development of a neural network method for predicting the stress-strain state of flat plates. In particular, square, round and ring plates, and a square plate with a circle cut-out and with different boundary conditions. Features of training sample generation, neural network architecture and computational experiment for each case of plate shape are considered. Cases of

neural network modeling of a layer with constant fixing conditions (for example, clamped), as well as features of neural network architecture for modeling plates with arbitrary boundary conditions are considered. The influence of the number of neurons, layers of neurons and activation functions on the accuracy of modeling has been studied. A finite element model has been developed to generate a training sample of plates with a cut-out of arbitrary size and location. The parameters of the training samples were chosen so that the models included the vast majority of typical metal plates.

Chapter 3 "Using machine learning to predict the stress-strain state of shells" focuses on the development of neural network methods for predicting the stress-strain state of a cylindrical shell, and a combination of cylindrical and conical shells. For each case, the training sample was generated on the basis of a finite-element model. The architecture of neural networks is developed, and also computational experiments are carried out. The accuracy of forecasting neural network models is illustrated.

The fourth chapter "Using of a genetic algorithm to optimize the architecture of the neural network for predicting the stress-strain state of the structure" is devoted to the features of the application of genetic algorithms for the optimization of the neural network architecture. The coding of neural network architecture, crossover functions and mutations is considered. A computational experiment on genetic optimization of neural network architecture for modeling the stress-strain state of a rectangular plate is performed. Attention is also paid to the genetic optimization of the neural network architecture for modeling the stress-strain state of a cylindrical shell.

The conclusions present the scientific novelty of the work, its practical significance and prospects for further development.

The following results were obtained:

- for the first time a neural network method was developed to determine the stress-strain state of plates with arbitrary boundary conditions, which allows to

determine the maximum deflection, and the maximum value of the stress intensity according to Mises;

- for the first time a neural network method was developed to determine the stress-strain state of a cylindrical shell and a combination of cylindrical and conical shells, which allowed to determine the deflection and intensity of stresses according to Mises;

- for the first time developed a neural network method based on the architecture "autocoder" to determine possible fracture zones in square plates with a cut-out by generating probable patterns of stress distribution;

- improved neural network methods for modeling the stress-strain state of structures by developing a genetic algorithm for optimizing the architecture of the neural network, which allowed to increase the accuracy of prediction.

The software implementation of the developed methods is performed in the Python programming language using the scikit-learn, numpy, Pandas and Keras libraries.

The obtained research results are introduced into the educational process in the study of disciplines «Empirical methods of software engineering», «Machine learning tools», «Neural networks» and qualification work of students majoring in 121 «Software Engineering» Zaporizhzhia National University.

Keywords: network of artificial neurons, stress-strain state, plate, shell, prediction, genetic algorithm, population, mutation, crossing, activation function.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

Наукові публікації, що висвітлюють основний зміст дисертаційної роботи:

1) **Choporova O. V.**, Choporov S. V., Lisniak A. A. Implementation of genetic algorithm for neural network optimization for making predictions of the stress-strain state of a rectangular plate with a circular cut out. In the book: *Mathematical and Computer Modelling of Engineering Systems*. Riga: Baltija Publishing. 2020 P. 1-18. URL: <http://www.baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/89/2215/4790-1>. DOI: 10.30525/978-9934-26-019-3-1.

2) **Чопорова О. В.**, Чопоров С. В., Лісняк А. О. Використання машинного навчання для прогнозування напружено-деформованого стану квадратної пластинки. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2019. № 2(69). С. 192-201. (Index Copernicus).

3) Lisnyak A. O., **Choporova O. V.** Using machine learning to predict the stress-strain state of a rectangular plate with a circular cut-out. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2791. P. 1–6. ISSN: 1613-0073. URL: [4\) **Чопорова О. В.**, Чопоров С. В., Лісняк А. О. Використання генетичного алгоритму для оптимізації параметрів нейронної мережі при прогнозуванні напружено-деформованого стану квадратної пластинки. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. Т. 3 № 2.1. С. 290–300. \(Index Copernicus\).](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098720535&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=80dfe74813393a8626e1696d73fee20a&sp; sot=b&sdt=b&sl=112&s=TITLE+%28Using+machine+learning+to+predict+the+stress-strain+state+of+a+rectangular+pl. (Scopus).</p></div><div data-bbox=)

5) **Чопорова О. В.**, Кривохата А. Г. Оптимізація згорткових нейронних мереж та їх ансамблів. *Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових статей. Фізико-математичні науки*. 2019. № 1. С. 107–115. (Index Copernicus).

Наукові публікації, що висвітлюють апробацію дисертаційної роботи:

6) **Чопорова О. В.** Використання машинного навчання для прогнозування поведінки інженерних конструкцій. *Сучасні проблеми машинобудування*. Харків: Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного, 2019. С. 19.

7) **Чопорова О. В.**, Чопоров С. В., Лісняк А. О. Модель прогнозування напружено-деформованого стану прямокутної пластини з круглим вирізом. *Інформаційні системи та технології (ICT-2019): VIII Міжнародна науково-технічна конференція*. Коблево-Харків: ХНУРЕ, 2019. С. 97–99. URL: http://istconf.nure.ua/archive/ist_2019.pdf.

8) **Чопорова О. В.**, Чопоров С. В., Лісняк А. О. Реалізація генетичного алгоритму для оптимізації нейронної мережі при прогнозуванні напружено-деформованого стану прямокутної пластини з круглим вирізом. *Інформаційні системи та технології (ICT-2020): 9-та Міжнародної науково-технічної конференції*. Коблево-Харків: ХНУРЕ, 2020. С. 303–306. URL: http://istconf.nure.ua/archive/ist_2020.pdf.

9) **Чопорова О. В.**, Лісняк А. О. Аналіз можливостей мови програмування Python у машинному навчанні. Збірка тез доповідей Десятої Всеукраїнської, сімнадцятої регіональної наукової конференції молодих дослідників "Актуальні проблеми математики та інформатики". Запоріжжя: Видавничий дім "Гельветика", 2019. С. 57–59.