

ВИСНОВОК ПРО НАУКОВУ НОВИЗНУ, ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Чопорової Оксани Володимирівни на тему «Прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях з використанням комп'ютерного навчання», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки (галузь знань 12 – Інформаційні технології)

Дисертація Оксани Володимирівни на тему «Прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях з використання комп'ютерного навчання», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки (галузь знань 12 – Інформаційні технології), виконана на кафедрі програмної інженерії математичного факультету Запорізького національного університету Міністерства освіти і науки України. Тема дисертації затверджена на засіданні науково-технічної ради Запорізького національного університету (протокол № 6 від 13 грудня 2018 р.).

Для підготовки висновку про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях з використанням комп'ютерного навчання» Вченою радою Запорізького національного університету (протокол № 5-дф від 22 грудня 2020 року) визначено, що попередня експертиза дисертації проводитиметься на математичному факультеті Запорізького національного університету, та призначено двох рецензентів:

1. Завідувача кафедри фундаментальної математики Запорізького національного університету, доктора технічних наук, доцента Гребенюка Сергія Миколайовича;

2. Доцента кафедри комп'ютерних наук Запорізького національного університету, кандидата фізико-математичних наук, доцента Єрмолаєва Вадима Анатолійовича.

1. Ступінь актуальності теми дослідження

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню прикладної науково-практичної задачі – розробці штучних нейронних мереж для прогнозування напружено-деформованого стану пластин та оболонок із ізотропного матеріалу з різними умовами закріплення.

Автоматизоване проектування об'єктів сучасної техніки пов'язане з необхідністю швидкого прогнозування їх стану або поведінки у залежності від геометричних і/або фізико-механічних параметрів. Класичні методи математичного моделювання дозволяють робити такі прогнози з необхідною точністю. Проте підготовка адекватних математичних моделей та проведення відповідних обчислювальних експериментів можуть бути тривалими за часом.

Розробка методів і моделей машинного навчання дозволяє робити швидкі оцінки необхідних параметрів стану об'єкту. З практичної точки зору моделі машинного навчання для прогнозування значень параметрів стану конструкції можуть слугувати як інтерактивні асистенти у процесі проектування.

2. Об'єкт, предмет, мета та завдання роботи

Об'єктом дослідження є моделі та методи комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану пластин і оболонок.

Предметом дослідження методи та моделі машинного навчання для регресійного аналізу при комп'ютерному дослідженні напружено-деформованого стану пластин і оболонок.

Метою роботи є розробка штучних нейронних мереж для прогнозування напружено-деформованого стану пластин, оболонок та комбінації оболонок із ізотропного матеріалу з довільними умовами закріплення, які знаходяться під дією рівномірно розподіленого по всій поверхні поперечного тиску.

Для досягнення мети в роботі, на основі систематичного огляду та аналізу літературних джерел, що розкривають сучасний стан досліджень в обраній області, поставлені та вирішені наступні завдання:

- розробити метод формування вибірки для навчання та тестування моделей;
- розробити нейромережеві методи прогнозування максимального прогину пластин та оболонок;
- розробити нейромережеві методи прогнозування максимальних значень інтенсивності напружень за Мізесом у пластинах та оболонках.
- розробити метод генетичної оптимізації архітектури нейронної мережі для моделювання напружено-деформованого стану тонкостінних конструкцій.

3. Методи дослідження

Досягнення мети та виконання завдань дисертаційного дослідження здійснено за допомогою використання методів аналітичної геометрії, математичного моделювання, теорії нейронних мереж, генетичних алгоритмів.

4. Рівень обізнаності здобувача про сучасний стан досліджень у контексті роботи

Науковим підґрунтям для виконання дисертаційної роботи слугують наукові праці українських та закордонних фахівців, які авторкою систематично досліджено та проаналізовано. Досліджувався сучасний світовий науковий доробок у наступних розділах галузей знань та наступних авторів, що достатньо покриває існуючий стан наукових досліджень у контексті дисертації:

- у розвиток теорії та практики розробки нейромережевих моделей розв'язання задач розпізнавання суттєвий внесок зробили такі вчені: Безсонов О. О., Бодянський Є. В., Зайченко Ю. П., Згуровський М. З.,

Нестеренко Б. Б., Новотарський М. А., Олійник О. О., Руденко О. Г., Синеглазов В. М., Субботін С. О., Тимошук П. В., Чумаченко О. І., Ямпольський Л. С., Bengio Y., Goodfellow I., Hinton G., LeCun Y., Ng A., Rosenblatt F., Schmidhuber J. та ін.

– істотний внесок у розвиток еволюційних методів та їх використання в задачах дискретної оптимізації зробили такі науковці, як: Безсонов О. О., Козін І. В., Олійник А. О., Пічугіна О. С., Перепелиця В. О., Субботін С. О., Скобцов Ю. А., Holland J., Fogel L., Rechenberg I., Schwefel H-P. та ін.

Попри значне поширення нейромережевих моделей, не існує загальних рекомендацій та схем їх застосування на практиці, а саме для прогнозування напружено-деформованого стану пластин та оболонок із ізотропного матеріалу. Досить велику кількість параметрів таких моделей дослідники часто налаштовують у процесі виконання серії обчислювальних експериментів. Відсутність розроблених штучних нейронних мереж для прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях суттєво ускладнює вирішення поставлених задач. Отже, дисертаційна робота є новаторською у цьому науково-технічному напрямку, вищезазначені факти актуалізують представлене в дисертації дослідження та зумовлюють його теоретичне та практичне значення.

5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Здобувачка вірно визначає зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами тощо. Результати дослідження отримано у межах виконання науково-дослідної тематики кафедри програмної інженерії Запорізького національного університету, а також таких держбюджетних науково-дослідних робіт:

– «Розробка математичного забезпечення для інженерного аналізу об'єктів аерокосмічної техніки на базі хмарних технологій» (№ держреєстрації: 0117U007204);

– «Математичне та програмне забезпечення автоматизованого проектування аерокосмічної техніки» (№ держреєстрації: 0118U000210).

6. Наукова новизна, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Дисертаційна робота є розв'язком науково-технічної задачі підвищення точності та швидкості моделювання об'єктів у процесі проектування новітньої техніки. У результаті проведеного дослідження отримано такі науково обґрунтовані результати:

Уперше:

- розроблено нейромеревий метод для визначення напружено-деформованого стану пластин з довільними умовами закріплення, який дозволяє визначити максимальний прогин, а також максимальне значення інтенсивності напружень за Мізесом;
- розроблено нейромеревий метод для визначення напружено-деформованого стану циліндричної оболонки та комбінації циліндричної та конічної оболонок, який дозволив визначити прогин та інтенсивність напружень за Мізесом;
- розроблено нейромеревий метод на базі архітектури «автокодувальник» для визначення можливих зон руйнування у квадратних пластинах з отвором шляхом генерації ймовірних картин розподілу напружень.

Удосконалено:

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

7. Практичне значення результатів дисертації

Практичне значення дисертаційної роботи є суттєвим. Розроблені в дисертаційній роботі методи та моделі машинного навчання дозволяють робити швидкі оцінки параметрів стану об'єкту, а саме визначення напружено-деформованого стану. Під час розв'язання задач дисертаційного дослідження було розроблено декілька штучних нейронних мереж для визначення максимального прогину та інтенсивності напружень за Мізесом у пластинах та оболонках. Також були розроблені алгоритми формування вибірки для навчання та тестування моделей. Досліджено можливості застосування генетичного алгоритму для оптимізації нейронної мережі регресійного аналізу і прогнозування максимального прогину пластин та оболонок. Виявлено, що алгоритми дозволяють прогнозувати значення прогину з похибкою приблизно 10% відносно аналітичного рішення. Отже, з практичної точки зору моделі машинного навчання для прогнозування значень параметрів стану конструкції можуть слугувати як інтерактивні асистенти у процесі проектування.

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.

8. Публікації, що висвітлюють основні результати дисертації, та особистий внесок здобувача

Наукові положення і результати, що представлені в дисертаційній роботі, отримані здобувачкою особисто. Наукові публікації результатів дисертаційної роботи написані у співавторстві. Нижче наведені ці публікації та вказано особистий внесок здобувача і розділи дисертації, що висвітлюються цими публікаціями.

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.

Особистий внесок здобувача: розробка генетичного алгоритму оптимізації структури штучної нейронної мережі для прогнозування напружено-деформованого стану прямокутної пластини з круглим отвором.

Розділи дисертації: Вступ, 1.3, 4.1 – 4.3

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)

Особистий внесок здобувача: розробка архітектури штучної нейронної мережі для прогнозування напружено-деформованого стану прямокутної пластини та алгоритму генерації даних.

Розділи дисертації: 1.2, 2.1 – 2.4

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: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098720535&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=80dfe74813393a8626e1696d73fee20a&pot=b&sdt=b&sl=112&s=TITLE+%28Using+machine+learning+to+predict+the+stress-strain+state+of+a+rectangular+pl.> (**Scopus**).

Особистий внесок здобувача: розробка архітектури штучної нейронної мережі для прогнозування напружено-деформованого стану прямокутної пластини з

круглим отвором з довільними умовами закріплення та алгоритму генерації даних.

Розділи дисертації: 2.1 – 2.6, 4.2

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)

Особистий внесок здобувача: розробка генетичного алгоритму оптимізації структури штучної нейронної мережі для прогнозування напружено-деформованого стану прямокутної пластини.

Розділи дисертації: 1.2, 1.3, 2.1 – 2.6, 4.2

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).

Особистий внесок здобувача: аналіз алгоритмів машинного навчання. Огляд літературних джерел з подальшим аналізом існуючих методів машинного навчання.

Розділи дисертації: 1.2, 1.3, 2.1, 4.1

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.

Отже, можна зазначити, що:

1) Здобувачкою опубліковано п'ять наукових робіт, що висвітлюють основний зміст дисертації, серед яких одна робота – розділ колективної монографії, виданої англійською мовою у Європейському Союзі; одну статтю опубліковано у міжнародному періодичному виданні, що проіндексовано у базі даних Scopus; три статті опубліковано у наукових виданнях України, що включено до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії; також опубліковано чотири роботи апробаційного характеру.

2) Ці публікації достатньо повно розкривають основний зміст дисертації та відповідають умовам зарахування їх за темою дисертації відповідно пункту 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії (*Постанова КМУ № 167 від 6.03.2019 р. із змінами згідно з Постановою КМУ № 979 від 21.10.2020 р.*).

3) Наукові результати дисертаційної роботи апробовано на Всеукраїнських і Міжнародних конференціях, серед яких «Сучасні проблеми

машинобудування» конференція молодих вчених та спеціалістів (м. Харків, 15-18 квітня 2019); Десята Всеукраїнська, сімнадцята регіональна наукова конференція молодих дослідників «Актуальні проблеми математики та інформатики» (м. Запоріжжя, 25-26 квітня 2019); 8-ї Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні системи та технології (ICT-2019)» (м. Коблево-Харків, 9-14 вересня 2019); 16th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications, PhD Symposium (м. Харків, 06-10 жовтня 2020) та інших.

9. Відповідність дисертації вимогам, передбаченим пунктом 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленої кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису, що виконувалася здобувачем особисто. Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати проведених здобувачем досліджень, що мають істотне значення для галузі інформаційні технології. Це ґрунтовно підтверджено публікаціями, що розкривають основний зміст роботи. Дисертація свідчить про суттєвий особистий внесок здобувача в науку та характеризується єдністю змісту.

Дисертацію оформлено у повній відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України (Наказ №40 від 12.01.2017 із змінами, *внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019*).

Дисертаційну роботу написано грамотною українською мовою. Стиль викладення матеріалу відповідає прийнятому в науковій літературі з інформаційних технологій та характеризується точністю, логічністю, зрозумілістю, зв'язністю, цілісністю та завершеністю.

ВИСНОВОК

Ознайомившись із дисертацією Чопорової Оксани Володимирівни «Прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях з використанням комп'ютерного навчання» та науковими публікаціями, у яких висвітлено основні наукові результати дисертації, а також взявши до уваги підсумки фахового семінару, вважаємо, що:

1. Дисертація Чопорової Оксани Володимирівни «Прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях з використанням комп'ютерного навчання» є фундаментальним науковим дослідженням з актуальних питань, характеризується єдністю змісту, містить наукові результати, яким властива наукова новизна, теоретичне та практичне значення, а отже, свідчить про істотний особистий внесок здобувача у розвиток інформаційних технологій.

2. Дисертація Чопорової Оксани Володимирівни «Прогнозування зон руйнування в інженерних конструкціях з використанням комп'ютерного навчання» може бути рекомендована до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки» (галузь знань 12 – «Інформаційні технології») у разовій спеціалізованій вченій раді.

Рецензент:

завідувач кафедри фундаментальної математики

Запорізького національного університету,

доктор технічних наук, доцент  С. М. Гребенюк «04» лютого 2021 р.

(підпис)

Рецензент:

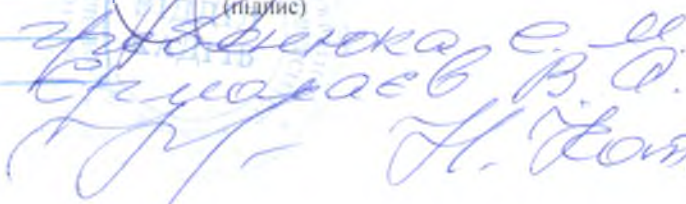
доцент кафедри комп'ютерних наук

Запорізького національного університету,

кандидат фізико-математичних наук  В. А. Єрмолаєв «04» лютого 2021 р.

(підпис)

Підпис
засвідчую


Комарова О. В.
Єрмолаєв В. А.
Н. Комарова