

УДК 004.8:624

## МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Савицький М. В.<sup>1</sup>, д. т. н., проф., Данішевський В. В.<sup>2</sup>, д. т. н., проф.,  
Гайдар А. М.<sup>3</sup>, к. т. н., доц.

Придніпровська академія будівництва та архітектури

<sup>1</sup>ms@pgasa.dp.ua;

<sup>2</sup>vladyslav.danishkevskyy@pgasa.dp.ua;

<sup>3</sup>nastuel\_gaidar@pgasa.dp.ua

**Постановка проблеми.** Останнім часом в усіх галузях науки і техніки спостерігається швидкий розвиток методів штучного інтелекту (ШІ). Результати пошуку у наукометричній базі даних Scopus за ключовими словами «artificial intelligence» (штучний інтелект) та «artificial neural network» (штучна нейронна мережа) свідчать, що з 2017 по 2021 роки щорічна кількість наукових публікацій з даної тематики зросла більше ніж у 2,5 рази. Тому важливим науковим напрямом є розробка та застосування методів ШІ для розв'язання актуальних задач будівельної галузі.

**Мета дослідження.** У даній роботі проведено огляд сучасних методів ШІ та наведено приклади їх практичного застосування в будівництві. За визначенням Міжнародної організації зі стандартизації, ШІ являє собою здатність інженерної системи обробляти, застосовувати та вдосконалювати здобуті знання та вміння [1]. Існують різні типи методів ШІ, які використовуються для розв'язання наступних задач: чисельна оптимізація (еволюційні алгоритми, методи колективного інтелекту), розв'язання задач в умовах неповної інформації (нечітка логіка, м'які обчислення), розпізнавання образів, класифікація даних, прогнозування та прийняття рішень (штучні нейронні мережі), виявлення та аналіз закономірностей, прихованих у великих наборах даних (добування та глибинний аналіз даних). Розглянемо детально методи колективного інтелекту та нейронні мережі.

**Методи колективного інтелекту.** Методи колективного інтелекту (МКІ) дозволяють розв'язувати задачі оптимізації. МКІ імітують поведінку колективних біологічних систем із самоорганізацією. Такі системи є децентралізованими та складаються з окремих осіб (агентів). Агенти обмінюються інформацією та взаємодіють один з одним за певними правилами. Незважаючи на відсутність будь-якого центру управління, це призводить до виникнення інтелектуальної групової поведінки. Система в цілому виявляється здатною знаходити кращі розв'язки, ніж це може зробити кожен з агентів окремо. Відзначимо, що дані методи є наближеними. Їх збіжність не доведена строго математично, але експериментально встановлено, що у більшості випадків вони дають досить хороший результат.

МКІ мають наступні переваги:

- відсутність обмежень на типи функцій і параметрів, що входять у математичну модель задачі;
- можливість досліджувати весь простір розв'язків та захищеність від «зависання» в локальних екстремумах;
- не потрібно обчислювати похідні цільової функції;
- простота реалізації;
- можливість розпаралелити обчислювальний процес.

У порівнянні з класичними методами оптимізації, МКІ особливо ефективні для знаходження екстремумів нелінійних мультимодальних функцій, а також для

розв'язання задач великої розмірності. До недоліків слід віднести залежність швидкості збіжності від значень вільних параметрів і вагових коефіцієнтів, кількість яких у більшості методів досить велика.

Авторами розвинуто один із МКІ – метод рою частинок – для раціонального проектування систем сейсмічного захисту багатоповерхових будинків із демпферами сухого тертя. Демпфери сухого тертя відзначаються простотою і надійністю конструкції, низькою вартістю, зручністю монтажу, а також високими дисипативними характеристиками [3]. При цьому визначення місць розташування демпферів всередині будівлі є складною задачею, яка потребує комплексного аналізу динамічних властивостей споруди і, як правило, не може бути розв'язана у рамках стандартних методів проектування.

Розроблено аналітичну динамічну модель багатоповерхового будинку із демпферами сухого тертя та математичну модель сейсмічного навантаження. Досліджено нестационарні коливання будинку під дією сейсмічних навантажень. Нелінійні динамічні рівняння, що описують коливання будинку, розв'язано чисельно за допомогою методу Рунге-Кутти. Застосування методу рою частинок дозволило визначити місця раціонального розташування демпферів сухого тертя, які забезпечують мінімальні прискорення та перекося поверхів [4; 5]. Одержані результати можуть використовуватись при розробці проектів будівель і споруд із підвищеною стійкістю до сейсмічних і динамічних впливів, а також при реконструкції існуючих будівель з метою підвищення їх сейсмічного захисту.

**Штучні нейронні мережі.** Нейронні мережі (НМ) – математичні моделі, що імітують роботу мозку. НМ складаються з системи з'єднаних та взаємодіючих один з одним вузлів (нейронів). У процесі навчання НМ досліджує набір навчальних зразків: прикладів, для яких заздалегідь відомі правильні відповіді. При цьому формуються відповідні зв'язки між нейронами (синапси). Після завершення навчання, НМ здатна аналізувати та узагальнювати нові дані, з якими стикається вперше. НМ застосовуються для апроксимації функцій, розпізнавання образів (зображень, звуків, текстів тощо), виявлення прихованих закономірностей у великих наборах даних, прийняття рішень та управління системами.

Актуальною проблемою сучасного будівництва є розробка нових методів ідентифікації дефектів будівельних конструкцій, які б заощаджували людські ресурси та зменшували залежність результатів обстеження від суб'єктивних людських чинників. Авторами розроблено згорткову НМ для виявлення тріщин у бетонних стінах та їх класифікації в залежності від напрямлення (вертикальні чи горизонтальні).

Для навчання моделі використано базу даних SDNET2018 [6]. SDNET2018 містить 56 тисяч фотографій бетонних стін із тріщинами та без них, зроблених на 72 будівельних об'єктах. Вихідний набір зображень сформовано з 1086 фотографій, рівномірно поділених на три групи: вертикальні тріщини, горизонтальні тріщини та неушкоджені конструкції. Відповідно, кожна група складається з 352 фотографій. У подальшому вихідний набір зображень розділено на дві частини: 80 % зображень використовувались для навчання НМ, а 20 % зображень – для тестування НМ та перевірки, наскільки ефективно вона може обробляти дані, з якими стикається вперше.

Для розробки НМ використано бібліотеку машинного навчання TensorFlow [7] та хмарне середовище Colaboratory [8]. Дані сервіси від компанії Google дають можливість гнучкої розробки НМ із складною архітектурою та її ефективного навчання на віртуальних машинах з потужними графічними процесорами. Програмний код моделі НМ написано на Python. Розроблена модель включає 23 нейронних шара, з яких 9 – шари, що навчаються (у тому числі 6 згорткових шарів). Кількість параметрів

(вагових коефіцієнтів) НМ, значення яких визначалися у процесі навчання, дорівнює 68 тисяч.

Аналіз результатів навчання моделі (функцій точності та втрат), а також перевірка роботи моделі на тестових зразках свідчать про високу точність розробленої НМ та високу достовірність прийнятих нею рішень. Розроблена НМ може використовуватись для автоматизованої технічної діагностики будівель і споруд шляхом аналізу зображень з фотокамери смартфона чи квадрокоптеру. При цьому виключається фізична присутність спеціаліста на об'єкті, що особливо важливо при роботі у небезпечних місцях: на висоті, в аварійних та частково зруйнованих будівлях, на замінованих територіях тощо.

**Висновки.** Методи ШІ можуть ефективно застосовуватися в будівництві для розв'язання широкого кола задач: виявлення пошкоджень конструкцій шляхом аналізу даних про їх дефекти; моніторингу стану будівель в реальному часі, попередження про необхідність ремонту; розпізнавання зображень для контролю безпечних умов праці на виробництві; прогнозування властивостей бетонів; класифікації ґрунтів та прогнозування їх властивостей; прогнозування ризиків у рамках управління проектами та багато інших.

Разом із тим, необхідно також відмітити деякі недоліки методів ШІ:

- Евристична сутність. ШІ спроможний знайти прийнятне рішення серед багатьох рішень, але неспроможний гарантувати, що це рішення буде найкращим.
- Індуктивний, але не дедуктивний висновок. ШІ узагальнює дані, але не піддає їх логічному осмисленню. Тому одержані рішення можуть виявитися безглуздими.
- ШІ не здатен відтворити роботу мозку. Незважаючи на механістичну подібність, ШІ не є аналогом біологічних систем.

Робота виконана за підтримки наукового гранту ЄС за програмою Горизонт 2020 «A novel decentralized edge-enabled prescriptive and proactive framework for increased energy efficiency and well-being in residential buildings», номер гранту 958284.

### Список використаних джерел

1. ISO/IEC TR 24028:2020. Information technology – Artificial intelligence – Overview of trustworthiness in artificial intelligence. *International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission*. 2020. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:tr:24028>
2. Eberhart R., Shi Yu and Kennedy J. *Swarm Intelligence*. Morgan Kaufmann, Elsevier. 2001. 512 p.
3. Soong T. T. and Dargush G. F. *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. Chichester, New York : Wiley, 1997. 368 p.
4. Гайдар А. М. Рациональное проектирование железобетонных и полимербетонных зданий с демпферами сухого тертя с помощью методов ройового интеллекта: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.17 – строительная механика. Дніпро, 2020. 157 с.
5. Danishevskyy V., Savytskyi V., Gaidar A. Rational design of lightweight earthquake resistant buildings with friction dampers using the particle swarm optimization. *AIP Conference Proceedings*, 2022 (in press).
6. Maguire M., Dorafshan S., Thomas R. J. *SDNET2018 : A concrete crack image dataset for machine learning applications*. Utah : Utah State University, 2018. URL: <https://doi.org/10.15142/T3TD19>
7. Платформа машинного обучения TensorFlow. URL: <https://www.tensorflow.org>
8. Хмарне середовище розробки програмного забезпечення Colaboratory. URL: <https://colab.research.google.com>