

УДК 004.896:004.891.3:621.120.30

*Теренчук С.А., к. ф.-м.н, доц.,
Полтораченко Н.І., к.т.н., доц.,
Кошарна Ю.В., к.т.н.
КНУБА, м. Київ*

АНАЛІЗ ЗДАТНОСТІ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Запропоновано експертну систему оцінювання технічного стану будівельних конструкцій, структура якої передбачає впровадження штучних нейронних мереж. На основі аналізу нейромереж різної архітектури, що використовуються в системах неруйнівного контролю та діагностики металоконструкцій і виробів із композитних матеріалів, побудовано інфоологію оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій. Визначено задачі, які здатні виконувати штучні нейромережі та показано перспективи застосування системи на різних етапах життєвого циклу об'єкта будівництва.

Ключові слова: залізобетонна конструкція, інфоологія оцінювання, кластерний аналіз, технічний стан, штучна нейронна мережа.

Вступ. Проблема довгострокової експлуатації будівельних конструкцій (БК) вимагає розробки ефективних засобів прогнозування технічного стану (ТС) конструкцій та об'єктів будівництва (ОБ) з урахуванням невизначеності різного характеру. При цьому, аналіз натурних спостережень показав, що БК частіше переходять в аварійний стан від агресивного впливу середовища, ніж від досягнення граничних навантажень і впливів [1].

Невизначеність, що пов'язана з майбутніми впливами середовища, зміна бази сировини, вдосконалення засобів проектування та автоматизації системи неруйнівного контролю забезпечує попит на інтелектуальні системи і технології, що

здатні вирішувати багатокритеріальні задачі в умовах невизначеності та ризиків. Розробкою зазначених систем і технологій займаються спеціалізовані організації. Та, незважаючи на значний обсяг проведених робіт, досі відсутня єдина технологія оцінювання конструкцій з дефектами та пошкодженнями різного характеру. Такий стан пояснюється складністю задач, що пов'язані з обробкою та аналізом великих обсягів різномірної інформації [2].

Задача кластеризації багатовимірних спостережень є невід'ємною частиною інтелектуального аналізу даних, для розв'язання якої існують різноманітні додатки, що пов'язані з медициною, біологією, економікою, соціологією і т. п.

Робота сучасних інтелектуальних систем діагностування ґрунтується на застосуванні штучних нейронних мереж (ШНМ), але їх навчання передбачає існування надійної бази знань (БЗ) в області застосування, без якої неможлива обробка даних.

Аналіз сучасного стану проблеми.

Аналіз класифікаційних ознак категорій ТС конструкцій будівель і споруд; ТС конструкцій каркасів, перекриттів і покриттів промислових будівель зі збірного та монолітного залізобетону та ознак категорій ТС залізобетонних конструкцій (ЗБК) показав, що правила для оцінювання часто є неповними і суперечливими, а вхідні дані – слабо структуровані [3].

Невизначеність, що пов'язана з описаними вище умовами, відображає залежність ТС від сукупного впливу різних факторів середовища. Іншими причинами, які необхідно враховувати при вирішенні даної проблеми, є відсутність аналітичного зв'язку між параметрами деградації і категоріями ТС, а також методології вибору суттєвих параметрів деградації в кожному конкретному випадку.

У загальному випадку вибір множини суттєвих факторів деградації будівельних конструкцій та параметрів впливу середовища є багатокритеріальним. У таких умовах застосовують методи кластерного аналізу, які дозволяють

класифікувати об'єкти, що описуються великою кількістю різномірних даних. При цьому, різні алгоритми кластеризації породжують різні рішення для одних і тих же даних, які до того ж можуть відрізнитись від реальної структури. При виборі методу кластеризації та оцінці їх якості необхідно розуміти від яких факторів залежить якість і які критерії краще використовувати [4].

Одним найпопулярніших методів багатофакторної кластеризації є метод найближчого сусіда, який полягає у віднесенні об'єкта до певного класу на основі обчислення відстаней між точками. Застосування методу не потребує великої кількості даних, але обмежене вимогами до параметрів стану об'єкта.

Алгоритм k -середніх найчастіше використовується при виборі серед ітеративних методів. Його головною перевагою вважається стійкість до помилок у виборі початкових центроїдів. До суттєвих недоліків алгоритму відносять необхідність мати гіпотезу про кількість кластерів і його чутливість до викидів, які можуть значно зміщувати середні кластерів.

При застосуванні нечітких методів кластеризації вважається, що кожний кластер являє собою множину об'єктів, які можуть належати різним кластерам з відповідною мірою належності. Дане припущення надає їм перевагу у випадках, коли вхідна інформація неповна, дані слабо структуровані, або правила для виведення суперечливі.

До інших переваг нечітко множинного підходу розв'язання задач діагностики технічного стану будівельних конструкцій слід віднести можливість [5 – 7]:

- формалізувати і застосовувати в неоднорідну інформацію;
- робити оцінювання категорій ТС конструкцій ефективним у випадках, коли вихідна інформація ґрунтується на малих вибірках;
- реалізувати оцінювання категорій

ТС в нейромережевому логічному базисі.

В [7] проведені дослідження ШНМ різних архітектур, які застосовуються для розпізнавання образів, розділення сигналів або виділення сигналів на фоні завад, оцінювання категорій ТС металоконструкцій та виробів із композитних матеріалів.

У [5] проведено аналіз алгоритмів навчання та роботи багатосарового перцептрон (БШП), радіально базисних функцій (RFB – мережі), мереж Кохонена (SOM) та адаптивної резонансної теорії (ART) та гібридної нейронної мережі (ГНМ).

Успішне застосування ШНМ в системах діагностики конструкцій із композитних матеріалів і металів робить привабливими дослідження, що спрямовані на їх впровадження в системи діагностування ЗБК. Проте гетерогенна структура бетону суттєво відрізняється від структури композитних матеріалів і металів, що значно відрізняє еталони та правил для виведення діагнозу [8]. Таким чином, розробка систем, що здатні не тільки накопичувати дані, а і формувати надійну БЗ, лишається актуальною.

Мета роботи полягає в дослідженні можливостей штучних нейронних мереж різної архітектури до розв'язання задач оцінювання технічного стану ЗБК.

Виклад основного матеріалу. На кожному етапі життєвого циклу ОБ існують різні задачі забезпечення надійної та безпечної експлуатації в умовах випадкових навантажень і впливів, які можуть призвести до відхилень реальних показників технічного стану конструкцій від розрахункових [9-10]. Вчасне проведення заходів для збереження, відновлення чи адаптації властивостей ОБ до різних змін середовища потребує розробки та використання надійних систем оцінювання технічного стану (СОТС). Будівельних конструкцій (рис. 1).

Структурну схему СОТС БК, яка інтегрується в процес управління життєвим циклом ОБ, надано на рис. 2.

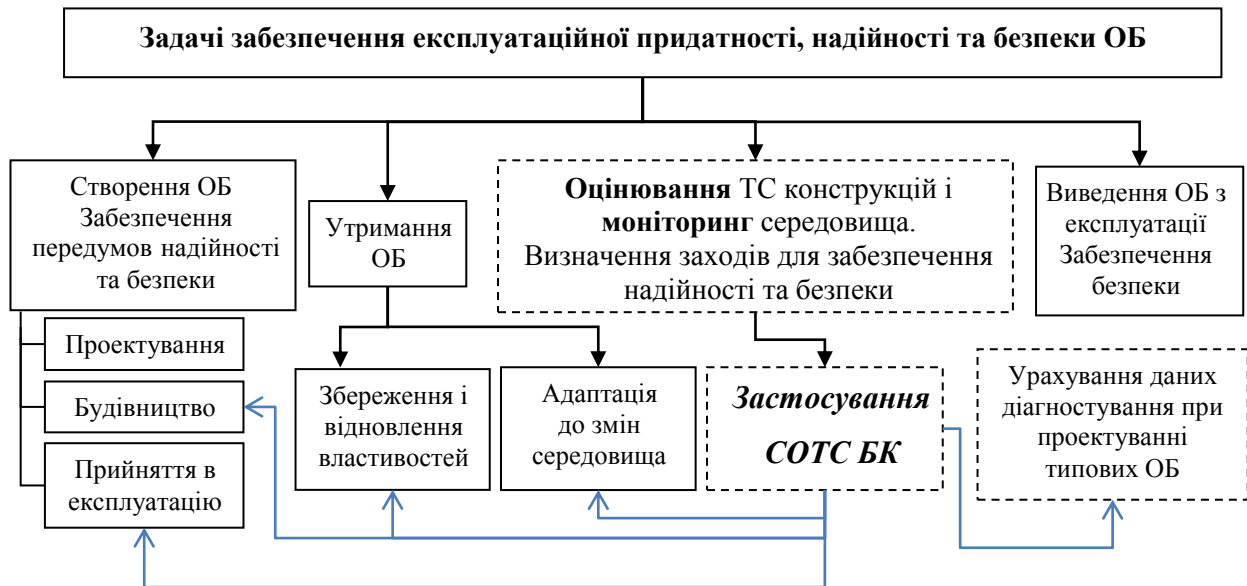


Рис. 1. Можливості застосування СОТС на різних стадіях життєвого циклу об'єкта будівництва

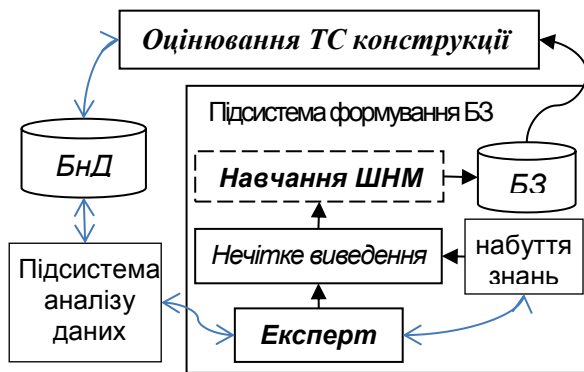


Рис.2. Структурна схема СОТС БК

Банк даних (БНД) СОТС БК містить інформаційні моделі будівель і потоки даних про БК різних ОБ починаючи з монтажу; контрольні карти характеристик якості; форми документів, нормативно-довідникову інформацію; інші документи, що необхідні для аналізу відповідності ТС об'єкта проектним даним.

У БЗ зберігаються класифікаційні ознаки категорій ТС різних ЗБК, що мають дефекти і пошкодження, з переліком можливих причин і наслідків їх розвитку в різних умовах; протоколи обстежень і правила, що формуються і застосовуються при оцінюванні ТС різних БК з описанням умов їх застосування; атлас еталонів з описанням умов їх експлуатації.

Задачі оцінювання категорії ТС конструкцій відповідає відображення [11]:

$$\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \rightarrow d, \quad d \in D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}, \quad (1)$$

де \vec{X} – множина діагностичних параметрів; D – множина категорій технічного стану ЗБК;

x_i – нечітка вхідна ознака з множини $M_i(x, \mu(x))$ з мірою належності $\mu(x)$ [3]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x = x_i \\ 0, & x \neq x_i \end{cases} \quad (2)$$

Навчання системи будується на основі аналізу даних натурних обстежень БК і правил, що являють собою формалізовані знання експертів [3].

Модуль «нечітке виведення» функціонує як «біла скринька», надійність роботи якої в умовах невизначеності гарантується людиною-експертом, яке може надати формалізоване правило про зв'язки між процесами руйнування та процесами, що протікають в середовищі [3, 12].

Алгоритм нечіткого виведення, що надає можливість формувати нечіткі правила на базі співставлення результатів обстежень технічного стану БК з результатами моніторингу середовища у вигляді, що є придатним для обробки ШНМ, система нечіткого виведення та приклади експертного оцінювання на основі моделей Мамдані та Сугено описані в [3, 10, 11].

Модуль «набуття знань» призначається

для генерації тестових задач, що доповнюють навчальну вибірку ШНМ з використанням зовнішніх розрахункових комплексів, в яких здійснюються побудова інформаційної моделі ОБ та виконується розрахунок напружено-деформованого стану БК.

Аналіз результатів ШНМ мереж різної архітектури та алгоритмів їх навчання виявив наступні переваги і недоліки кожної з них при діагностуванні будівельних конструкцій:

1) SOM призначена для вирішення задач кластерного аналізу без учителя, але достовірність формування класів дефектів знижується у випадках лінійно-нероздільних просторів даних;

2) RFB – мережі розроблялись для розв'язання задач класифікації на основі відновлення сумішей розподілів і підходять для умов, при яких складно визначити ступінь впливу кожного з факторів середовища, але потребують великої вибірки для навчання;

3) мережі АРТ дозволяють виконувати аналіз форми сигналів із завадами, якими характеризується інформація про фактори впливу та мають переваги, що полягають в здатності до сприйняття нових аномальних об'єктів при збереженні інформації про вже відомі класи;

4) мережа Хопфілда здатна до розв'язання задачі розпізнавання образів за геометричними параметрами, але її застосування для ідентифікації дефектів ЗБК обмежується об'ємом пам'яті мережі (відносно кількості еталонів);

5) класифікатор на основі багаточарового перцептрону є універсальним засобом апроксимації функцій, що дозволяє використовувати її для задач класифікації різної складності, але перцептрон не може динамічно розширювати свою базу знань і адаптуватись до появи об'єктів, які відносяться до невідомих класів, тому його застосування неможливе при вирішенні задач безеталонної діагностики;

6) ГНМ, складовими якої є шар Кохонена та шар БШП, має всі переваги її складових, але передбачає первинний відбір діагностичних ознак, за якими буде формуватись діагностичне рішення.

На рис. 3 представлено інфологію оцінювання категорії технічного стану залізобетонних будівельних конструкцій.

Суцільною лінією на рисунку показані задачі, розв'язання яких лишається за експертами, а пунктирною – задачі, які здатні виконувати сучасні штучні нейронні мережі різної архітектури:

- SOM – задачі 2, 6, 7, 8, 9;
- RFB – мережі – задачі 7, 8, 9;
- мережі АРТ – задачі 7, 8;
- БШП, ГНМ, мережа Хопфілда – задача 7.

Висновки.

На основі проведеного аналізу алгоритмів кластеризації та штучних нейронних мереж різної архітектури побудовано інфологію оцінювання технічного стану залізобетонних будівельних конструкцій, програмна підтримка кожної з яких може здійснюватись окремо.



Рис. 3. Інфологія оцінювання категорії технічного стану залізобетонних будівельних конструкцій

Подальші дослідження будуть спрямовані на формування тестових задач для навчання ШНМ за рахунок доповнення статистичної бази протоколів натурних обстежень даними обчислювальних експериментів до об'ємів, достатніх для формування надійної бази знань системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Барабаш М.С., Городецкий О.С. Концепция интеграции систем автоматизированного проектирования с использованием технологии информационного моделирования. *Нові технології в будівництві*. – 2011. – №1(21) – С.67 – 70.

2. Рудниченко Н.Д. Оценка структурного и функционального рисков сложных технических систем / Н.Д. Рудниченко, В.В. Вычужанин // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. №1(67). С. 18-22.

3. Теренчук С.А. Оцінювання технічного стану будівельних конструкцій на основі нечіткого виведення / С.А. Теренчук, Б.М. Єременко, А.О. Пашко // *Будівельне виробництво*. – 2016. – № 61/2016. – С. 23-31.

4. Sarycheva L.V. Objective Cluster Analysis of Data Based on GMDH // *Journal of Automation and Information Sciences*, 40/4. 2008. P. 28-48.

5. Єременко В.С. Застосування нейромережевих технологій у системах неруйнівного контролю / В.С. Єременко, А.В. Переїденко, О.В. Монченко // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2012. – №1. – С. 35-41.

6. Hammah, R. Fuzzy cluster algorithm for the automatic identification of joint sets [Text] / R. Hammah, J. Curran // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*. – 2010. Vol. 35, Issue 7. – P. 889-905. doi: 10.1016/s0148-9062(98)00011-4/

7. Переїденко А.В. Дослідження алгоритмів проведення кластерного аналізу для вирішення задач неруйнівного контролю / А.В. Переїденко, В.С. Єременко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2010. №1/5(43). С. 40-43.

8. Eremenko B.M. Modeliuvannia intelektualnoi systemy dlia diagnostyky

tekhnichnogo stanu ob'ektiv budivnytstva [Modeling intellectual system for diagnostics of technical state of construction], *Tekhnologichniy audyt ta rezervy vyrobnytstva* [Technology of production and reserves audit], 2015, vol. 1/2, no. 21, 44-48 pp.

9. Бородавка Є.В. Модель розширеної системи автоматизації життєвого циклу будівельного об'єкта / Є.В. Бородавка // *Управління розвитком складних систем*, 2010. – № 4. – С. 69-71.

10. Міхайленко В.М. Обробка експериментальних результатів роботи експертної системи для задачі діагностики технічного стану будівель / В.М. Міхайленко, О.О. Терентьев, Б.М. Єременко // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. – 2014. – Вып. 78. – С. 190-195.

11. Terenchuk S. Implementation of Intelligent Information Technology for the Assessment of Technology for Condition of Building Structures in the Process of Diagnosis / S. Terenchuk, B. Yeremenko, T. Sorotuyk // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/3(83), P. – 30-39.

12. Халимон А.Ю. Створення ефективної процедури лінгвістичного моделювання для прогнозування процесів різної структури / А.Ю. Халимон, І.В. Баклан // *Інформатика та обчислювальна техніка – ІОТ-2016*. – К.: НТУУ КПІ.

REFERENCES:

1. Barabash M.S. & Gorodetsky A.S. (2011). The concept of integration of CAD systems using information modelling technologies. *New technologies in construction* 1(21), 67-70 [in Russian].

2. Rudnichenko, N. D. (2014). Otsenka strukturnogo i funktsional'nogo riskov slozhnykh tekhnicheskikh sistem / N.D. Rudnichenko, V.V. Vychuzhanin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (67), 18-22 [in Russian].

3. Terenchuk, S. A. (2016). Otsinyuvannya tekhnichnoho stanu budivel'nykh konstruksiy na osnovi nechitkoho vyvedennya / S.A. Terenchuk, B.M. Yeremenko, A.O. Pashko // *Budivel'ne vyrobnytstvo*, 61/2016, 23-31 [in Ukrainian].

4. Sarycheva L.V. Objective Cluster

Analysis of Data Based on GMDH // Journal of Automation and Information Sciences, 40/4. 2008. P. 28-48 [in English].

5. Pereyidenko A. V. (2010). Doslidzhennya alhorytmiv provedennya klasternoho analizu dlya vyrishennya zadach neruynivnoho kontrolyu / A.V. Pereyidenko, V.S. Yeremenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1/5 (43), 40-43. [in Ukrainian].

6. Hammah, R. (2010). Fuzzy cluster algorithm for the automatic identification of joint sets / R. Hammah, J. Curran // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. 35, Issue 7, 889-905. doi: 10.1016/s0148-9062(98)00011-4/ [in English].

7. Yeremenko V. S. (2012). Zastosuvannya neyromerezhevykh tekhnolohiy u systemakh neruynivnoho kontrolyu / V.S. Yeremenko, A.V. Pereyidenko, O.V. Monchenko // Tekhnicheskaya dyahnostyka u nerazrushayushchyy kontrol', 1, 35-41 [in Ukrainian].

8. Yeremenko B. M. (2015). Modelyuvannya intelektual'noyi systemy dlya diahnostryky tekhnichnoho stanu ob'yektiv budivnytstva. Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva, 1/2 (21), 44-48. [in Ukrainian].

9. Borodavka YE. V. (2010). Model' rozshyryuvanoyi systemy avtomatyzatsiyi zhyttyevoho tsyklu budivel'noho ob'yekta. Management of complex systems. Kyiv, Ukraine: 4, 69-71. [in Ukrainian].

10. Mikhaylenko V. M. (2014). Obrobka eksperymental'nykh rezul'tativ roboty ekspertnoyi systemy dlya zadachi diahnostryky tekhnichnoho stanu budivel' / V.M. Mikhaylenko, O.O. Terent'yev, B.M. Yeremenko // Stroytel'stvo, materialovedenye, mashynostroenye, 78, 190-195 [in Ukrainian].

11. Terenchuk S. Implementation of Intelligent Information Technology for the Assessment of Technology for Condition of Building Structures in the Process of Diagnosis / S. Terenchuk, B. Yeremenko, T. Sorotuyk // Eastern European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5/3(83), P. – 30-39. [in English].

12. Khalymon, A.YU. & Baklan, I.V. (2016). Stvorennaya efektyvnoyi protsedury lnhvistychnoho modelyuvannya dlya prohnozuvannya protsesiv riznoyi struktury Informatyka ta obchyslyuval'na tekhnika, Kyiv, Ukraine : NTUU KPI. [in Ukrainian].

АННОТАЦИЯ

Предложена экспертная система оценивания технического состояния строительных конструкций. На основе анализа искусственных нейронных сетей, которые находят применение в системах диагностики и неразрушающего контроля металлоконструкций и изделий из композитных материалов, построена инфология оценивания технического состояния железобетонных конструкций и определены задачи, решение которых допускает применение нейросетей разной архитектуры. Показаны перспективы использования системы на различных этапах жизненного цикла строительного объекта.

Ключевые слова: инфология оценивания, искусственная нейронная сеть, кластерный анализ, железобетонная конструкция, техническое состояние.

ANNOTATION

The main purpose of research is to implement a process of assessing the technical state of structural defects and injuries automated systems. The article shows the expert system, the functioning of which involves the use of artificial neural networks. To formalize the expertise offered to use models and methods of fuzzy mathematics. Based on the analysis of algorithms and networks that are used in automated systems of diagnostics and nondestructive testing of metal structures and composite materials based on conceptual evaluation of the technical state of reinforced concrete structures. Detected problem solving are able to network different pieces of architecture, and show prospects of the system at different life stages of construction.

Keywords: reinforced concrete structure, appraisal concept, cluster analysis, technical condition, artificial neural network.