

DOI: 10.32347/2412-9933.2021.46.76-83

УДК 69:002;69.059

Терентьев Александр Александрович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, orcid.org/0000-0001-6995-1419

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Горбатюк Євгеній Володимирович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних машин, orcid.org/0000-0002-8148-5323

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Доля Олена Вікторівна

Доцент, кандидат фізико-математичних наук, orcid.org/0000-0003-2503-2634

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Серпінська Ольга Ігорівна

Старший викладач кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, orcid.org/0000-0003-3589-2267

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Лященко Марія Андріївна

Магістр, orcid.org/0000-0002-0102-7964

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕСТУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ
СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ**

***Анотація.** У статті запропоновано методологічні засади побудови інформаційної системи діагностики технічного стану конструкцій будівель і споруд та обґрунтування ефективності технологій інструментального визначення параметрів будівель, споруд на всіх етапах їх життєвого циклу, які розглядаються з позиції стратегічного інформаційного менеджменту; проведена, з позиції системного підходу, формалізація процесів зношення конструкцій будівель, що дає змогу створення ефективного і надійного аналітичного апарату моніторингу технічного стану та діагностики майбутніх станів у процесі їх надійної і безпечної експлуатації; побудовані, з використанням апарату нечітких множин, моделі і методи моніторингу певного технічного стану будівель; набула подальшого розвитку інформаційна технологія системи підтримки прийняття рішень, яка базується на потужних щодо інтелектуалізації аналітичних засобах, які допомагають експертам здійснювати більш правдоподібне оцінювання та приймати управлінські рішення. За результатами вивчення наукових джерел зроблено висновки щодо відсутності або необхідності поглиблення розв'язків таких проблемних задач: визначення загальних принципів формування системи діагностики технічного стану будівель на всіх етапах їх життєвого циклу; відсутність методології обґрунтування ефективності технологій та засобів інструментального визначення параметрів будівель, споруд і території забудови на всіх етапах життєвого циклу; адаптація методів визначення організаційно-технологічних показників для розрахунку ефективності систем вимірювання та технології їх застосування; визначення впливу організаційно-технічних показників на ефективність систем вимірювання та технологію їх застосування; визначення тривалості та періодичності інструментальних обстежень у складі витрат на експлуатацію вимірювальних систем; встановлення необхідних обсягів інструментальних спостережень при експлуатації будівель і споруд; обґрунтування витрат часу на виконання вимірювальних робіт на всіх етапах життєвого циклу будівельних об'єктів; відсутність єдиної методології для створення автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель; відсутність інтегрованих моделей та методів моделювання процесів діагностики, які б дали змогу забезпечити ефективне функціонування інформаційних технологій діагностики технічного стану будівель та високу точність прийняття експертних рішень щодо їх стану і прогнозування основних технічних характеристик їх функціонування в умовах впливу зовнішнього та внутрішнього середовищ; відсутність єдиної інформаційної бази даних, що дала б можливість порівнювати результати обстежень, спостерігати динаміку старіння будівель, систематизувати висновки про їх стан.*

Ключові слова: методи обстеження; аналіз причин пошкоджень; технічний стан

Вступ

Виявлення і аналіз причин руйнування будівельних конструкцій, розроблення методів їх пошуку та оцінювання здійснюється в процесі технічної діагностики об'єктів будівництва.

Для технічної діагностики будівель необхідно структурно формалізувати опис та засоби контролю фактичних значень параметрів конструкцій будівельних споруд і їхніх експлуатаційних якостей. З них можна виокремити декілька найбільш загальних, які суттєво впливають на експлуатаційну придатність: міцність і стійкість будівельних конструкцій; теплозахисні властивості; герметичність, особливо будівельних конструкцій; звукоізоляцію; освітленість; вологість матеріалів будівельних конструкцій.

Перелік таких параметрів та їхні нормативні або розрахункові значення для кожного типу будівельних конструкцій встановлюються проектом. Порівнюючи фактичне значення параметра, встановлене за експертною оцінкою, з нормативним, роблять висновок про експлуатаційну придатність конструкції і споруди в цілому. Потім приймається рішення про заходи з підтримки цього параметра на заданому нормах або розрахунковому рівні. У процесі проведення технічної діагностики використовують такі методи обстеження: візуальний, візуально-інструментальний, неруйнівний.

Виклад основного матеріалу

Для автоматизації процесів оцінювальної діяльності від збирання інформації до прийняття рішення необхідна складна система збереження, підготовки, опрацювання даних. Архітектури інформаційної системи тестування нейронної мережі наведено на рис. 1.

Система передбачає наявність підсистеми збирання статистичної інформації, опрацювання і розподілення даних для штучної нейронної мережі, ядро нейромережевого апроксиматора та додатки експертів-оцінювачів для управління. СУБД інформаційної системи має клієнт-серверну архітектуру для забезпечення роботи декількох експертів одночасно (рис. 2).

Підсистема підготовки щодо тестування має свій конфігуратор, де користувач може визначити кількість даних, які необхідно виділити для тестування нейронної мережі і для навчання. Робота підсистеми починається з вибору даних з бази даних за допомогою запиту, що конфігурується.

Вся схема роботи підсистеми підготовки інформації щодо тестування нейронної мережі зображена на рис. 3.

Після отримання результатів запиту дані надходять до модуля, що визначає типи атрибутів та

їх варіанти даних. Потім дані, що мають числовий тип, відокремлюються від даних, що мають текстовий тип. Оскільки мережа не може сприймати дані як текстовий тип, пропонується деталізувати таблицю нечислових даних, тобто кожен варіант представити як атрибут, що має значення тільки «0» або «1».

Дані, що є чисельно вираженими, теж потребують опрацювання. Оскільки на вхід сигмоїдального нейрона подаються сигнали тільки в межах від 0 до 1, то значення таких параметрів, як площа, ціна необхідно перемасштабувати. Приклад зведення значень таких факторів зображено на рис. 4.

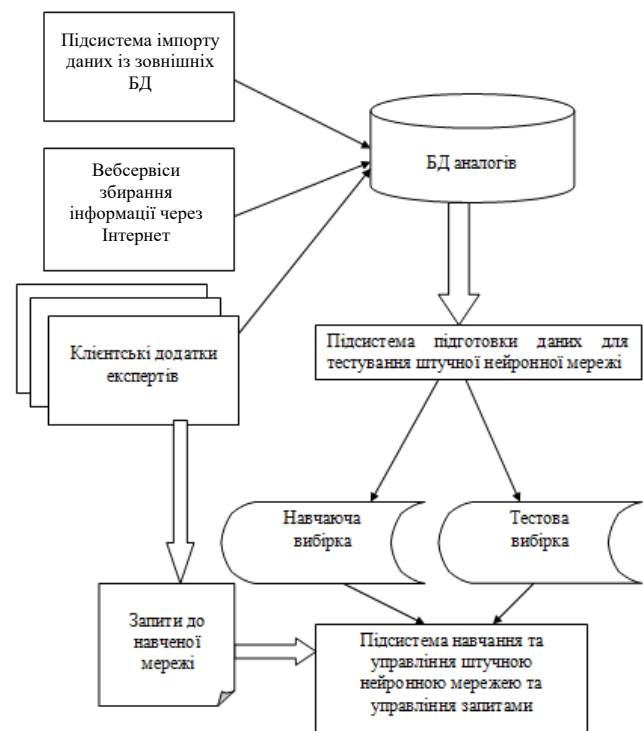


Рисунок 1 – Архітектура інформаційної системи тестування нейронної мережі

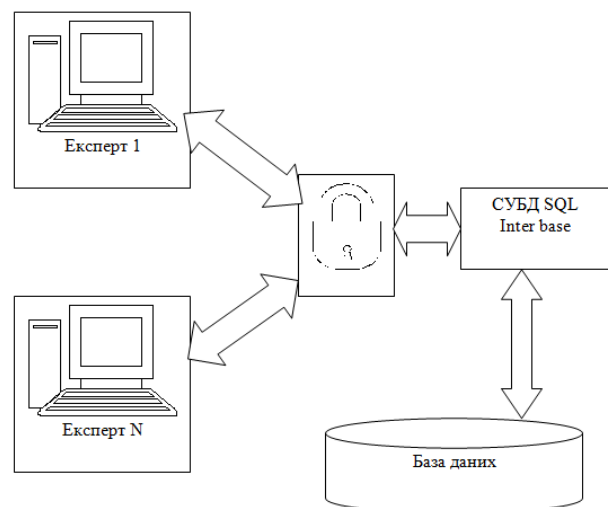


Рисунок 2 – Клієнт-серверна архітектура підсистеми збирання інформації

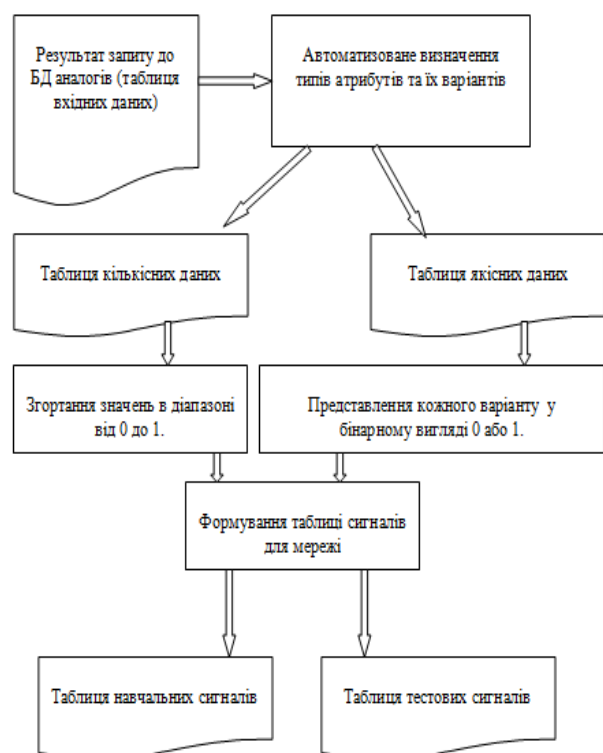


Рисунок 3 – Підсистема підготовки інформації щодо тестування нейронної мережі

Перед опрацюванням

S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPVV	F_TP	F_CT	P_PV	P_PSH	P_PPP
0	0	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0
0,05	0,05	1	0,05	0,05	0,05	1	0,05	0,05
0,1	0,1	1,6	0,1	0,1	0,1	1,6	0,1	0,1
0,125	0,125	1,9	0,125	0,125	0,125	1,9	0,125	0,125
0,135	0,135	2	0,135	0,135	0,135	2	0,135	0,135

Після опрацювання

S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPVV	F_TP	F_CT	P_PV	P_PSH	P_PPP
0	0	0	0	0	0	0	0,11694912542	0
0,01466666666	0,01	0,01011123470	0,0005	0,0005	0,01466666666	0,01011123470	0	0,000625
0,00333333333	0,02	0,01666626704	0,001	0,001	0,00333333333	0,01666626704	0,01694912542	0,00125
0,00446666666	0,025	0,02002245941	0,00125	0,00125	0,00446666666	0,02002245941	0,02542720813	0,0015625

Рисунок 4 – Приклад зведення числових значень в діапазон від 0 до 1

Задача апроксимації функцій штучною нейронною мережею, складність яких заздалегідь невідома, потребує прикладного програмного забезпечення з широкими можливостями конфігурації. Для цього була розроблена об'єктно-орієнтована модель мережі, що дає змогу легко управляти її параметрами (кількістю прошарків, нейронів у прошарках). Модель допомагає слідкувати за кожним нейроном окремо і в разі необхідності змінювати його конфігурацію (тип функції активації, швидкість навчання, вхідні сигнали та зв'язки з іншими нейронами). Модель мережі зображено на рис. 5.

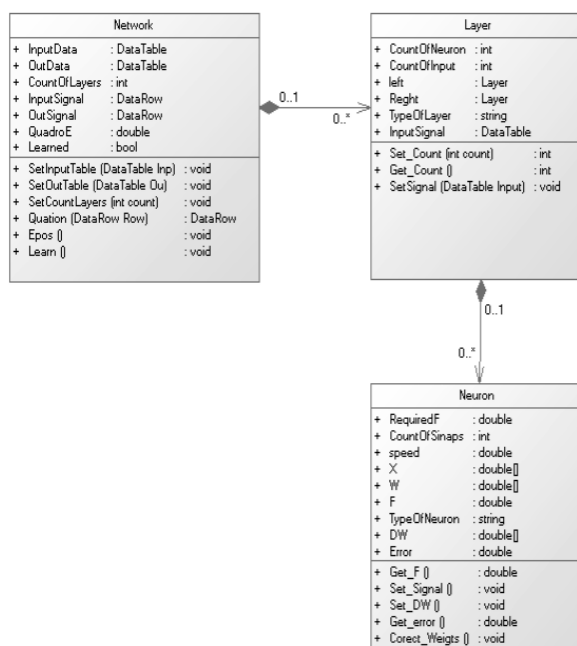


Рисунок 5 – Діаграма класів реалізації нейронної мережі

На рис. 6 зображено основне вікно спостереження за мережею та її управління.

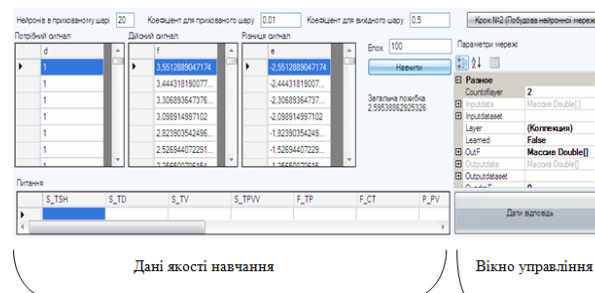


Рисунок 6 – Інтерфейс управління і спостереження за штучною нейронною мережею

Інструментами управління і налаштування мережі є діалогові вікна для управління прошарками над нейронами в прошарках, а також відкритими для редагування властивостями. Вікно редагування властивостей прошарку зображено на рис. 7. Аналогічним є інструмент редагування властивостей штучних нейронів (рис. 8).

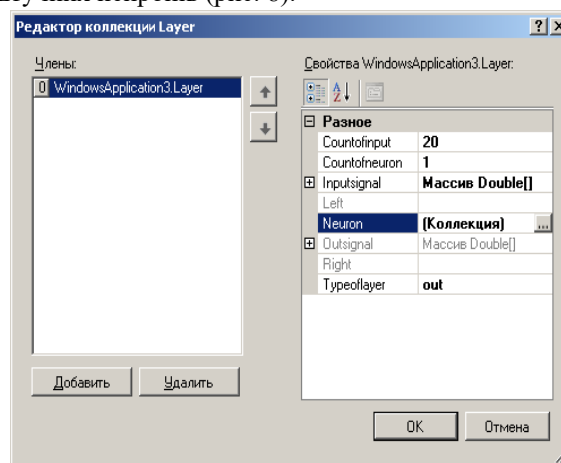


Рисунок 7 – Редактор прошарків

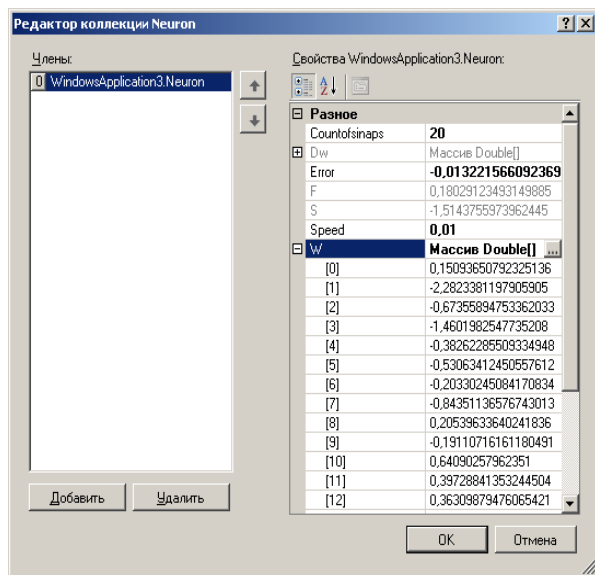


Рисунок 8 – Редактор штучних нейронів

Програмне забезпечення передбачає модульну структуру для підтримки можливості інтеграції окремих частин з іншими додатками. Також модульна структура полегшує подальше вдосконалення окремих частин без залежностей від інших. Схема модулів програмного забезпечення зображена на рис. 9.

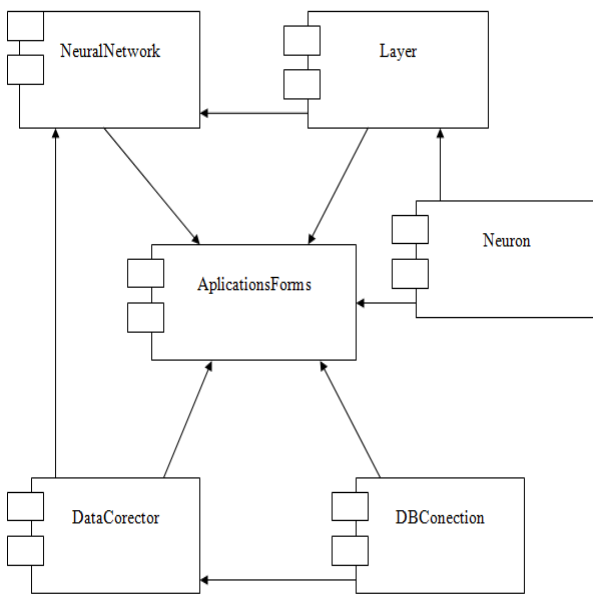


Рисунок 9 – Модулі програмного забезпечення нейронної мережі

NeuralNetwork – модуль реалізації штучної мережі. Містить в собі опис метаданих класу Network.

Layer – модуль реалізації колекції прошарків нейронів. Містить в собі опис метаданих класу Layer.

Neuron – модуль реалізації колекції штучних нейронів. Містить в собі опис метаданих класу Neuron. ApplicationsForms – модуль інтерфейсної частини програмного забезпечення.

DataCorector – модуль реалізації підсистеми підготовки даних для навчання та тестування мережі.

DBConection – модуль підбору навчальної множини, з’єднаний за базою даних. Має підтримку формування запитів до бази даних.

Даталогічна модель бази даних інформаційної системи представлена на рис. 10.

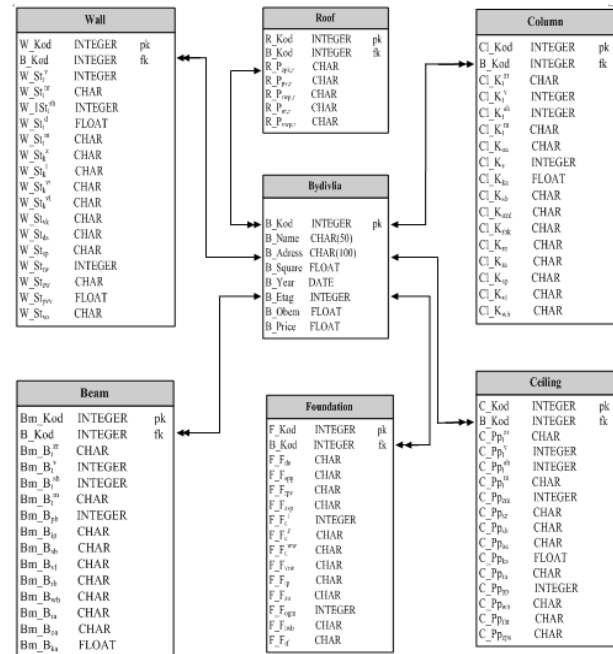


Рисунок 10 – Даталогічна модель бази даних інформаційної системи

На рис. 11 наведено план проведення експериментального дослідження щодо тестування нейронної мережі.

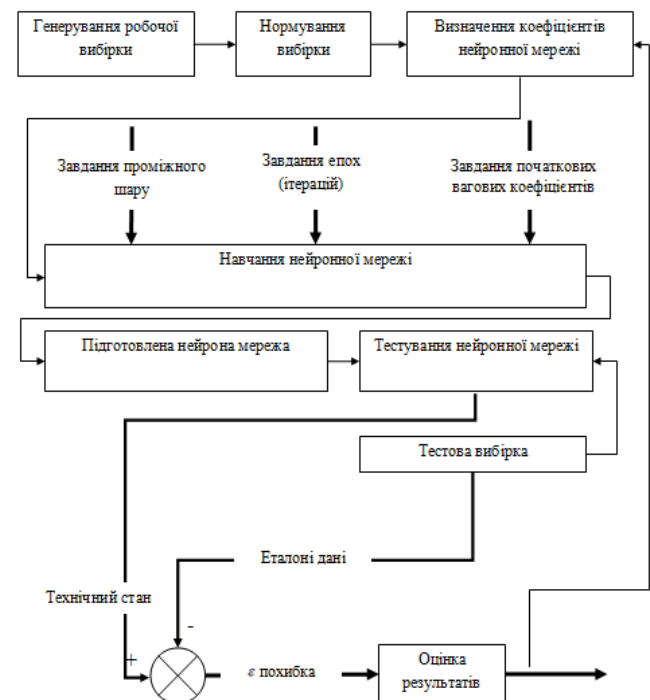


Рисунок 11 – План експериментального дослідження тестування нейронної мережі

Для тестування мережі використовувались свіжі статистичні дані, що зібрані з доступних інтернет-ресурсів. Для навчання штучної нейронної мережі вибірка становила 220 прикладів, з яких 20 було використано для тестування мережі, а 200 – для навчання. Вибірка для тестування мережі не входила в набір даних, що корегують синапатичні коефіцієнти. Тому саме вона і була основним показником ефективності. Вибірка для навчання формувалася за допомогою критеріїв, які описані в таблиці.

Оскільки на вхід сигмоїдального нейрона подаються сигнали тільки в межах від 0 до 1, то система перетворює занесені дані. Перетворені дані представлені на рис. 12.

Дані після обробки (нормовані дані для навчання)

S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPVV	F_TP	F_CT	P_PV	P_FSH	P_PPP
0	0	0	0	0	0	0	0,016949162542	0
0,014666666666	0,01	0,010011123470	0,0005	0,0005	0,016666666666	0,010011123470	0	0,000625
0,002333333333	0,02	0,016666205784	0,001	0,001	0,002333333333	0,016666205784	0,016949162542	0,00125
0,004166666666	0,025	0,020022469841	0,00125	0,00125	0,004166666666	0,020022469841	0,025423728813	0,0015625

Рисунок 12 – Нормовані дані

Після нормування даних проводиться корегування нейронної мережі, а саме кількість нейронів у прихованому шарі обирається 20. Далі встановлюються коефіцієнти вагів для внутрішнього – 0,1 і 0,5 – зовнішнього шарів нейронної мережі, а також кількість епох (ітерацій) 100 представлено на рис. 13.

Після внесення коефіцієнтів починається навчання нейронної мережі. І чим більше кількість епох, тим довше навчається система, що представлено на рис. 14.

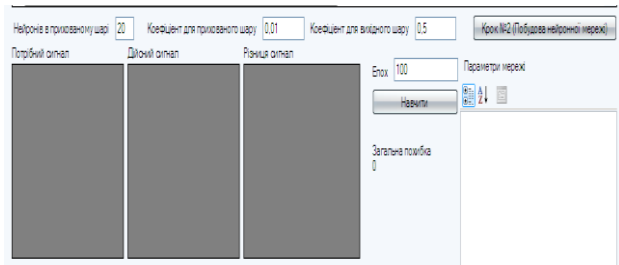


Рисунок 13– Введення коефіцієнтів

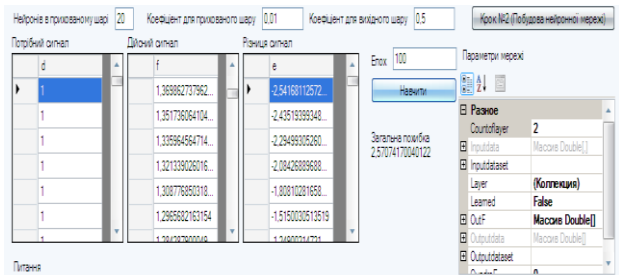


Рисунок 14 – Навчання нейронної мережі

Після навчання визначається загальна похибка ідентифікації. Перевіряється нейрона мережа контрольною вибіркою і отримується результат (рис. 15).

Таблиця – Вхідні дані нейромережі

Назва елемента будівлі	Назва пошкоджень	Стани			
		нормальний	задовільний	непридатний	аварійний
Стіна	St_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,125	0,125...0,25	0,25...1	1...3
	St_t^d – довжина тріщин	0...0,2	0,2...0,3	0,3...1	1...5
	St_t^v – вид тріщин	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90
	St_{pvv} – перевищення допустимого відхилення від вертикалі	0...1,5	1,5...3	3...10	10...100
Фундамент	F_{tp} – тріщини в плитній частині	0...0,5	0,5...1	1...5	5...100
	F_c^t – тріщини цокольної частини	0...0,25	0,25...0,5	0,5...5	5...30
Плити перекриття	Pp_t^v – вид тріщин	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90
	Pp_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,15	0,15...0,3	0,3...1	1...3
	Pp_{pp} – прогин плит	0...2,5	2,5...0,5	5...30	30...80
Залізобетонні колони	K_t^v – вид тріщин	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90
	K_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,15	0,15...0,3	0,3...1	1...3
	K_v – викривлення колони	0...2,5	2,5...0,5	5...10	10...50
Залізобетонні балки	B_t^v – вид тріщин	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90
	B_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,15	0,15...0,3	0,3...1	1...3
	B_{pb} – прогин балки	0...2,5	2,5...0,5	5...10	10...40

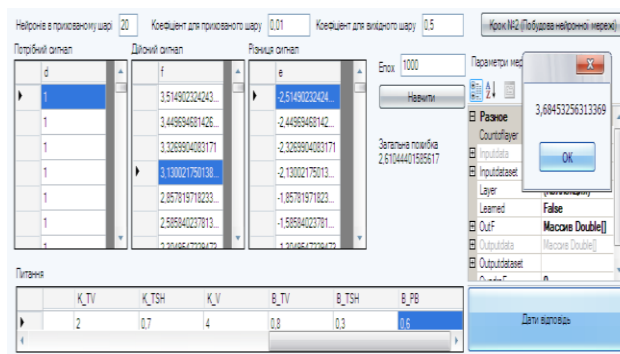


Рисунок 15 – Виведення результатів нейронної мережі

На рис. 16 представлено результат тестування нейронної мережі.

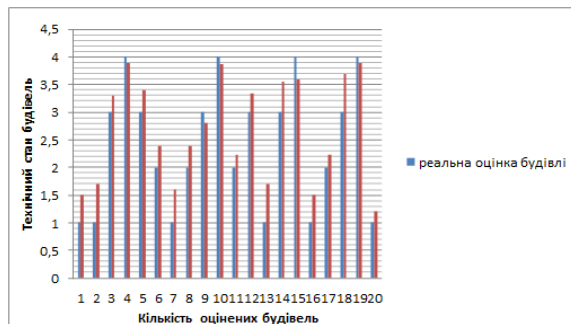


Рисунок 16 – Гістограма тесту на реальних даних

Час навчання штучної нейронної мережі становив 10 хвилин 68000 епох. Графік залежності загальної середньої квадратичної похибки від номера епохи навчання показано на рис. 17.

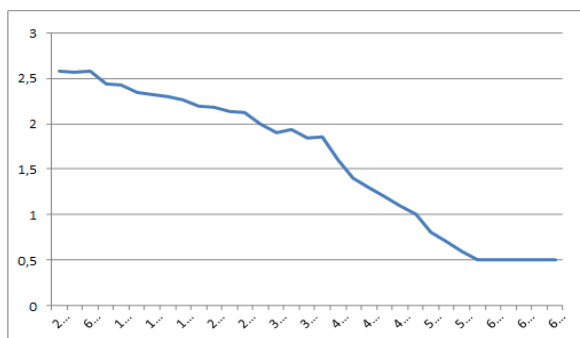


Рисунок 17 – Зменшення значення похибки при навчанні

Проведене дослідження доводить потенційну ефективність використання нейронних мереж також для аналізу ринку нерухомості при проведенні оцінювальної діяльності.

Подальше збільшення прикладів для навчання мережі та кількості критеріїв зменшить загальну похибку мережі.

Спочатку будуватиметься і навчатиметься нейронна мережа, що зображена на рис. 18 і 19.

Після навчання нейронної мережі вносяться дані про будівлі, натискається кнопка "Дати відповідь" і система видає результат (рис. 20).

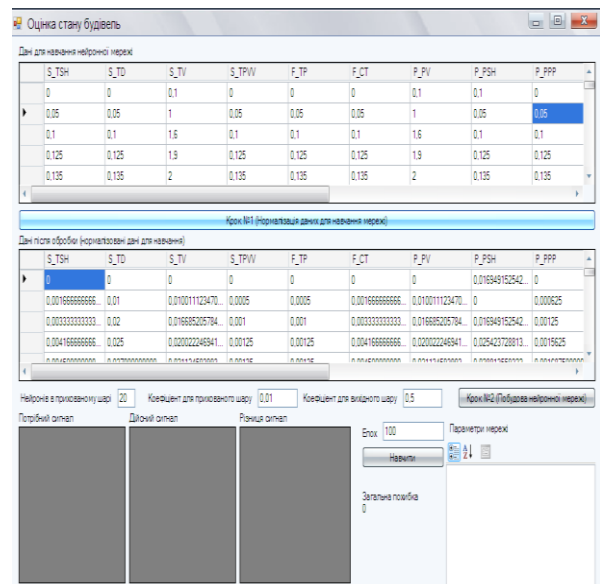


Рисунок 18 – Побудова нейронної мережі

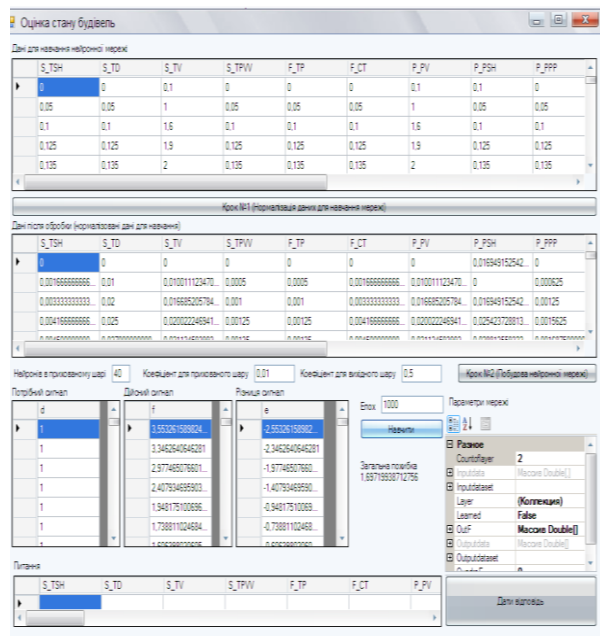


Рисунок 19 – Навчання нейронної мережі

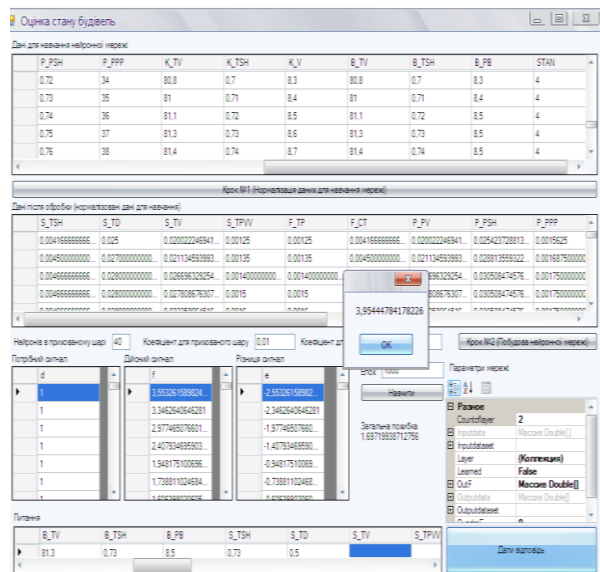


Рисунок 20 – Результат нейронної мережі

Висновок

Проведене дослідження доводить потенційну ефективність використання нейронних мереж для

інформаційної системи діагностики технічного стану будівель.

Список літератури

1. Михайленко В. М., Григоровський П. Є., Русан І. В., Терентьев О.О. Інтегровані моделі і методи автоматизованої системи діагностики технічного стану об'єктів будівництва : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2017. 230 с.
2. Інтегровані моделі та методи автоматизованої системи діагностики технічного стану конструкцій будівель та споруд : підручник / О. О. Терентьев, І. В. Русан, Є. В. Горбатюк та ін. Київ : Компринт, 2019. 239 с.
3. Інтелектуальні інформаційні системи і технології діагностики технічного стану будівель : навчальний посібник / О. О. Терентьев, І. В. Русан, Є. В. Бородавка та ін. Київ : Компринт, 2019. 121 с.
4. Моделі, методи та інформаційна технологія діагностики технічного стану будівельних конструкцій і споруд : монографія / В. М. Михайленко, О. О. Терентьев, Є. Є. Шабала та ін. Київ : ЦП «Компринт», 2017. 161 с.
5. Моделі та методи інформаційної системи діагностики технічного стану об'єктів будівництва : підручник / В. М. Михайленко, І. В. Русан, П. Є. Григоровський та ін. Київ : Компринт, 2018. 325 с.
6. Terentyev Olexander. Development of models and methods for determining the physical deterioration of items for the task of diagnostics of technical condition of buildings and structures /Olexander Poltorak. Scientific Journal «ScienceRise» №8/2(25), August 2016. P. 14–19.
7. Terentyev O. O., Grigorovskiy P. E., Tugaj A. A., Dubynka O. V. Building a System of Diagnosis Technical Condition of Buildings on the Example of Floor Beams Using Methods of Fuzzy Sets. Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations, June 14, 2020. Pp. 729–739.
8. Oleksandr Terentyev, Svitlana Tsiutsiura, Tetyana Honcharenko, Tamara Lyashchenko. Multidimensional Space Structure for Adaptable Data Model. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-3, September 2019. Pp. 7753-7758. DOI:10.35940/ijrte.C6318.098319.
9. Evaluation methods of the results of the scientists' research activities based on citation analysis of publications / A. Biloshchytskyi, A. Kuchansky, Yu. Andrashko, S. Biloshchytska, O. Kuzka, O. Terentyev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 № 3/2 (87), March 2017. Pp. 4–10.
10. Terentyev O., Gorbatyuk I., Rusan I., Borodavka Y., Balina O. Building a system of diagnosis technical condition of buildings on the example of floor beams using methods of fuzzy sets. Theoretical aspects of modern engineering, Boston : Primedia eLaunch, 2020. Pp. 92–100.

Стаття надійшла до редколегії 05.05.2021

Terentyev Alexander

DSc (Eng.), Associate Professor, Department of Information Technology of Design and Applied Mathematics, orcid.org/0000-0001-6995-1419

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Gorbatyuk Yevhenii

PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Construction Machinery, orcid.org/0000-0002-8148-5323

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Dolya Olena

PhD., Associate Professor, Department of Information Technology of Design and Applied Mathematics,

orcid.org/0000-0003-2503-2634

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Olha Serpinska

Senior Lecturer of the Department of Information Technologies, Design and Applied Mathematics, orcid.org/0000-0003-3589-2267

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Mariia Liashchenko

Master, orcid.org/0000-0002-0102-7964

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGY FOR TESTING THE NEURAL NETWORK OF THE DIAGNOSTIC SYSTEM OF TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS

Abstract. *The methodological bases of construction of information system of diagnostics of technical condition of constructions of buildings and constructions and substantiation of efficiency of technologies of instrumental definition of parameters of buildings, constructions at all stages of their life cycle which are considered from a position of strategic information management are offered; carried out, from the standpoint of a systematic approach, the formalization of the processes of wear of building structures, which allows the creation of an effective and reliable analytical apparatus for monitoring the technical condition and diagnosis of future conditions in the process of their reliable and safe operation; built, using the apparatus of fuzzy*

sets, models and methods of monitoring a certain technical condition of buildings; The information technology of the decision support system, which is based on powerful intellectualizing analytical tools that allow experts to make more plausible assessments and management decisions, has been further developed. Based on the results of studying scientific sources, conclusions were made about the absence or need to deepen the solutions to the following problems: establishing general principles for the formation of a system for diagnosing the technical condition of buildings at all stages of their life cycle; lack of methodology to substantiate the effectiveness of technologies and tools for instrumental determination of parameters of buildings, structures and building areas at all stages of the life cycle; adaptation of methods for determining organizational and technological indicators to calculate the effectiveness of measurement systems and technology of their application; determining the impact of organizational and technical indicators on the efficiency of measurement systems and technology of their application; determination of the duration and periodicity of instrumental inspections as part of the operating costs of measuring systems; establishment of necessary volumes of instrumental observations at operation of buildings and constructions of substantiation of expenses of time for performance of measuring works at all stages of a life cycle of construction objects; lack of a single methodology for creating an automated system for diagnosing the technical condition of buildings; lack of integrated models and methods of modeling diagnostic processes that would ensure the effective functioning of information technology diagnostics of technical condition of buildings and high accuracy of expert decisions on their condition and forecasting the main technical characteristics of their operation under external and internal environments; the lack of a single information database that would make it possible to compare the results of surveys, to observe the dynamics of aging of buildings, to systematize conclusions about their condition.

Keywords: examination methods; analysis of the causes of damage; technical condition

References

1. Mikhailenko, V. M., Grigorovsky, P. E., Rusan, I. V., Terentyev, O. O. (2017). Integrated models and methods of automated system for diagnostics of technical condition of construction objects: monograph. Kyiv: CP "Comprint", 230.
2. Terentyev, O. O., Rusan, I. V., Gorbatyuk, E. V. and ot. (2019). Integrated models and methods of the automated system of diagnostics of a technical condition of constructions of buildings and constructions: textbook. Kyiv: Comprint, 239.
3. Terentyev, O. O., Rusan, I. V., Borodavka, E. V. and ot. (2019). Intelligent information systems and technologies for diagnosing the technical condition of buildings: a textbook. Kyiv: Comprint, 121.
4. Mikhailenko, V. M., Terentyev, O. O., Shabala, E. E. and ot. (2017). Models, methods and information technology for diagnosing the technical condition of building structures and structures: a monograph. Kyiv: CP "Comprint", 161.
5. Mikhailenko, V. M., Rusan, I. V., Grigorovsky, P. E. and ot. (2018). Models and methods of information system for diagnostics of technical condition of construction objects: textbook. Kyiv: Comprint, 325.
6. Terentyev, Olexander. (2016). Development of models and methods for determining the physical deterioration of items for the task of diagnostics of technical condition of buildings and structures. *ScienceRise*, 8/2(25), 14–19.
7. Terentyev, O. O., Grigorovskiy, P. E., Tugaj, A. A., Dubynka, O. V. (2020). Building a System of Diagnosis Technical Condition of Buildings on the Example of Floor Beams Using Methods of Fuzzy Sets. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations*, June 4, 729–739.
8. Oleksandr, Terentyev, Svitlana, Tsiutsiura, Tetyana, Honcharenko, Tamara, Lyashchenko. (2019). Multidimensional Space Structure for Adaptable Data Model. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8, 3, 7753-7758. DOI:10.35940/ijrte.C6318.098319.
9. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S., Kuzka, O., Terentyev, O. (2019). Evaluation methods of the results of the scientists' research activities based on citation analysis of publications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/2 (87), 4–10.
10. Terentyev, O., Gorbatyuk, I., Rusan, I., Borodavka, Y., Balina, O. (2020). Building a system of diagnosis technical condition of buildings on the example of floor beams using methods of fuzzy sets. *Theoretical aspects of modern engineering*, Boston : Primedia eLaunch, 92–100.

Посилання на публікацію

- APA Terentyev, Alexander, Gorbatyuk, Yevhenii, Dolya, Olena, Olha, Serpinska & Mariia, Liashchenko. (2021). Research and implementation of intelligent information technology for testing the neural network of the diagnostic system of technical condition of buildings. *Management of Development of Complex Systems*, 46, 76–83, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.46.76-83.
- ДСТУ Терентьев О. О., Горбатюк Е. В., Доля О. В., Серпинська О. І., Лященко М. А. Дослідження та реалізація інтелектуальної інформаційної технології тестування нейронної мережі системи діагностики технічного стану будівель. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2021. № 46. С. 76 – 83, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.46.76-83.