

Командиров Олексій Вікторович

Завідувач відділу досліджень проєктної документації та вартості будівельних робіт,

orcid.org/0000-0002-3655-780X

Київський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, Київ

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ОЦІНЮВАННЯ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ НАВАНТАЖЕНЬ
І ВПЛИВІВ ТРАНСПОРТНИХ МАГІСТРАЛЕЙ**

***Анотація.** Досліджено задачі оцінювання технічного стану об'єктів будівництва, які опинились в зоні впливу вібродинамічних навантажень транспортних магістралей. Розглянуто комплекс причин погіршення технічного стану несучих конструкцій будівель і споруд, що експлуатуються поблизу магістралей швидкісного рейкового транспорту. Надано модель спеціалізованої інтелектуальної системи оцінювання технічного стану об'єктів будівництва. При цьому основна увага приділяється вирішенню проблеми обґрунтування моделей і методів оцінювання технічного стану конструкцій об'єктів, які опинились в зоні впливу будівельної діяльності. Для забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки будівельно-технічної експертизи запропоновано використовувати BIM-технологію і штучну нейро-нечітку мережу Takagi-Sugeno-Kang. Показано, що застосування цієї моделі надає можливість автоматизувати процес оцінювання технічного стану об'єктів будівельно-технічних експертиз. Обґрунтовано доцільність навчання штучної нечіткої нейронної мережі на результатах аналізу натурних спостережень і чисельних експериментів з використанням програмного комплексу ЛІРА САПР. Практичне застосування результатів дослідження очікується при впровадженні системи підтримки будівельно-технічних експертиз з питань обґрунтування пропозицій щодо місця розташування та умов будівництва нового об'єкта в умовах цільної міської забудови поблизу транспортних магістралей.*

***Ключові слова:** будівельно-технічна експертиза; рейковий транспорт; оточуюча забудова*

Вступ

В останні роки в усьому світі спостерігається урбанізація та стрімке зростання міст. При цьому виникає необхідність у зведенні будівель і споруд різного призначення в містах, де і без цього наявні проблеми щільної забудови. Внаслідок такого будівництва зростає не тільки щільність забудови, а й кількість задач, які пов'язані зі зміною напружено-деформованого стану несучих конструкцій раніше зведених об'єктів, внаслідок зміни комплексу зовнішніх навантажень і впливів. Проте ці зміни можуть бути пов'язані не лише з будівельною діяльністю.

Зміни зовнішніх навантажень і впливів в міських умовах можуть бути спричинені [1 – 3]:

- тривалою дією вібродинамічних впливів транспортних мереж;
- вільними коливаннями і вимушеними вібраціями новобудов;
- зміною вібродинамічного навантаження різних інфраструктур;
- іншими явищами природного чи техногенного характеру.

Вчасне проведення ефективних заходів з адаптації об'єктів будівництва (ОБ) до зовнішніх умов, які не враховувались при їх проектуванні та зведенні, потребує виконання будівельно-технічної експертизи (БТЕ).

Отже, виконання БТЕ передбачає розв'язання задачі нечіткої класифікації технічного стану (ТС) об'єкта за множиною різних характерних ознак при вирішенні завдань:

- забезпечення надійності і експлуатаційної придатності об'єкта на всіх етапах життєвого циклу;
- обґрунтування пропозицій щодо місця розташування та умов будівництва нового об'єкта;
- підготовки та проведення будівельної діяльності;
- врегулювання прецедентів, які пов'язані з погіршенням ТС об'єктів оточуючої забудови внаслідок впливу будівельної діяльності.

Кожне з цих завдань має особливості, що відображаються на вимогах до методів і засобів діагностики, та впливають на вибір вхідних даних і правил для оцінювання ТС об'єкта БТЕ.

- Вирішення цих завдань потребує проведення теоретичних і експериментальних досліджень моделей і методів, що застосовуються в сучасних

засобах моделювання ОБ. Особливо актуальним вибір моделей і методів оцінювання ТС конструкцій будівель і споруд стає при виконанні БТЕ об'єктів ущільненої забудови з дефектами і пошкодженнями, що потрапляють в зону будівельної діяльності або експлуатуються в умовах впливу новобудови поруч з транспортними магістралями швидкісного рейкового транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [4; 5] проаналізовано вплив різних вібродинамічних транспортних навантажень на властивості ґрунтового масиву основи будівлі чи споруди та прилеглої території. Проведений аналіз показав, що найбільші зміни фізико-механічних властивостей ґрунту спостерігаються на територіях, які прилягають до магістралей швидкісного рейкового транспорту. Цей вплив є довготривалим і може призвести до суттєвого зниження несучої здатності конструкцій об'єктів оточуючої забудови.

У [6; 7] досліджується задача генерації хвиль від рухомого потягу рейкового транспорту, що передається на несучі конструкції будівель і споруд через систему «рейка – ґрунт – основа – об'єкт». Але в цих статтях значно менше уваги приділяється дослідженням впливу цих хвиль на ТС будівель і споруд, що розташовані поблизу. Проте реакція будівель (споруд) і характер поширення вібрацій, що передаються через ґрунт на об'єкт БТЕ, залежить не

тільки від рівня і спектрального складу вібрацій джерела.

Реакція ОБ на зовнішні впливи також залежить від характеристик огорожувальних конструкцій та конструктивної системи об'єкта в цілому. Головним чином це стосується частот власних горизонтальних коливань будівель і вертикальних коливань елементів перекриттів, типу ґрунту навколо ОБ, відстані до джерела і тривалості вібрації [3; 8].

Навантаження і впливи будівельної діяльності, що поширюються в ґрунтовому масиві, теж впливають на несучу здатність об'єктів оточуючої забудови. Внаслідок цього зростає ймовірність виникнення ситуацій, в яких спільний вплив факторів середовища, що слабо впливають на вихідну ознаку, є значним і носить складний нелінійний характер [9; 10]. Це означає, що будівельна діяльність поблизу магістралей рейкового транспорту може спричинити розвиток негативних процесів, оцінювання міри впливу яких на технічний стан об'єктів БТЕ може ускладнюватися нечіткістю границі між мірами впливу вібрацій від різних джерел (рис. 1).

В таких умовах може скластися ситуація, в результаті якої просторово розвинені споруди опиняться на межі критичної стійкості. При цьому аналіз нормативних документів різних країн показав, що урахування вібродинамічного впливу транспортних магістралей вирішується на власний розсуд проектувальників [11].

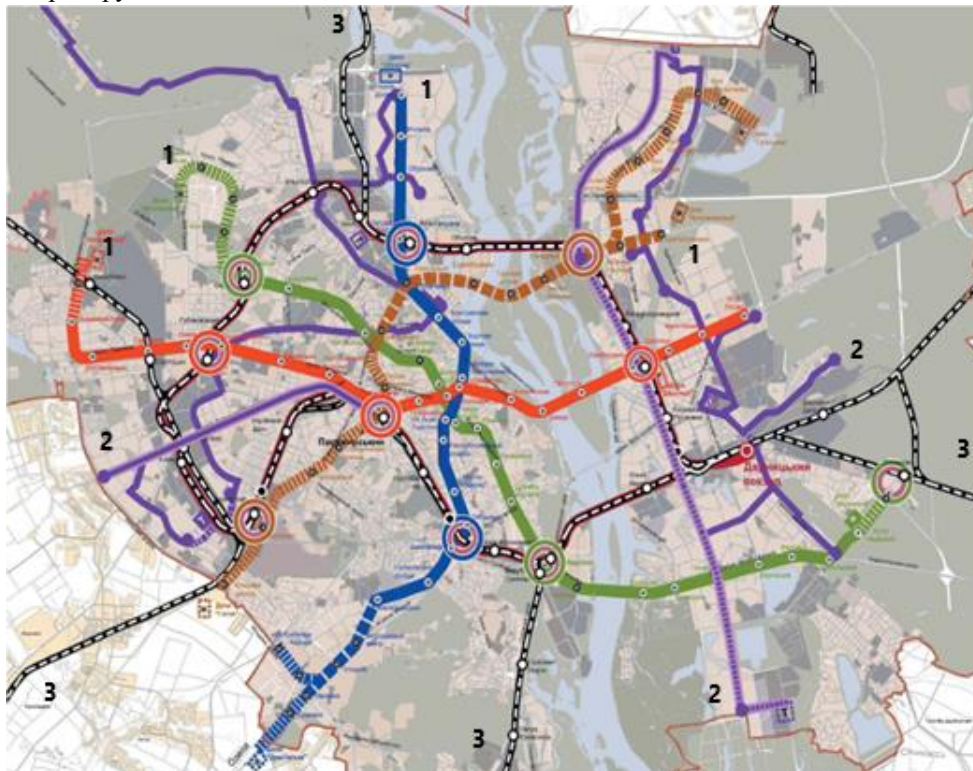


Рисунок 1 – Схема швидкісного залізничного транспорту (місто Київ):
1 – лінії метрополітену; 2 – трамвайні колії; 3 – потяги та електрички

Отже, надійна та безпечна експлуатація ОБ в складних умовах накладання навантажень і впливів великих міст потребує розроблення автоматизованих систем оцінювання ТС, заснованих на адекватних моделях і методах

Мета статті

Метою цієї роботи є дослідження моделей, методів і засобів оцінювання технічного стану об'єктів будівництва, які опинились в зоні впливу вібродинамічних навантажень транспортних магістралей.

Виклад основного матеріалу

Нині проводяться різні дослідження, що спрямовані на розроблення та впровадження в процес БТЕ комп'ютеризованих систем оцінювання ТС об'єктів будівництва, що експлуатуються в складних умовах великих міст.

Роботи [12; 13] присвячено моделюванню спеціалізованої інтелектуальної системи оцінювання технічного стану об'єктів будівництва.

У [14] для оцінювання ТС будівельних конструкцій з пошкодженнями запропоновано використовувати штучну нечітку нейронну мережу Takagi-Sugeno-Kang (TSK). В цій роботі також обґрунтовано алгоритм навчання нейромережі з учителем і здатність навченої штучної нейромережі TSK до розв'язання задачі оцінювання ТС будівельних конструкцій з пошкодженнями в умовах вібродинамічних впливів зовнішнього середовища.

На рис. 2 наведено модель системи, яка призначається для підтримки рішень при виконанні БТЕ з питань обґрунтування пропозицій щодо місця

розташування і умов будівництва нового об'єкта в умовах щільної забудови поблизу транспортних магістралей.

Для розрахунку об'єкта на динамічні впливи може використовуватись метод спрощеного нелінійного статичного розрахунку – Pushover Analysis. Цей метод застосовується і при врахуванні впливу метрополітену на будівельні конструкції, які мають пошкодження, шляхом переоцінювання інтегральних характеристик жорсткості скінченних елементів моделі на кожному кроці прикладання навантаження [15].

При реалізації Pushover Analysis формується багатомасова розрахункова модель об'єкта і виконується розрахунок на задану динамічну дію в лінійній постановці [16; 17].

У результаті розрахунку визначаються:

- величини зосереджених мас у кожному рівні за висотою;
- частоти і періоди власних коливань;
- ординати форм власних коливань;
- величини інерційних сил у кожному рівні за висотою.

Результати розрахунків використовуються для визначення вузлів конструкції, в яких необхідно встановлювати датчики для вимірювання вузлових переміщень, швидкостей, прискорень і навантажень. Проте сформулювати надійну вибірку достатнього обсягу для навчання нейромережі, використовуючи тільки інструментальні методи та дані натурних експериментів, не завжди можливо.

Чисельне моделювання із застосуванням різних програмних комплексів дає змогу неодноразово відтворювати різні умови функціонування складної системи «рухомий поїзд – ґрунт – основа – об'єкт».

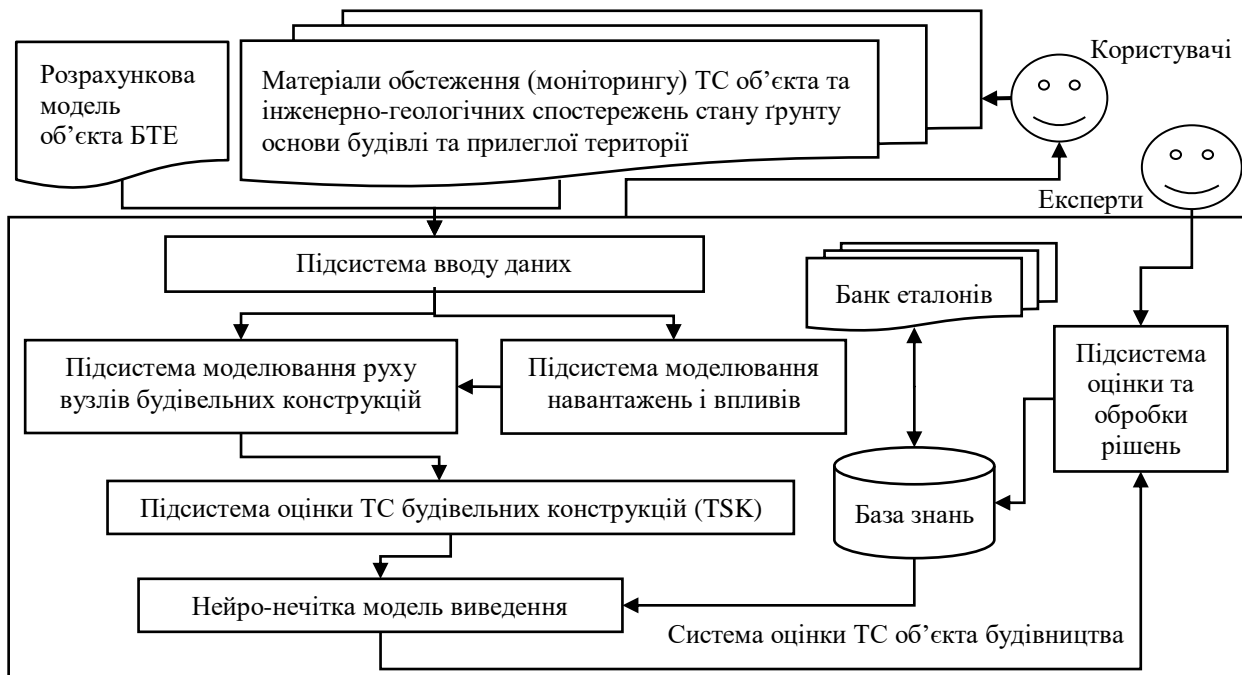


Рисунок 2 – Модель спеціалізованої інтелектуальної системи оцінювання технічного стану об'єктів будівництва

Для моделювання руху вузлів будівельних конструкцій (рис. 2) можна застосовувати метод прямого інтегрування руху [18], що дає змогу проводити чисельні експерименти із застосуванням програмного комплексу (ПК) ЛІРА-САПР (рис. 3).

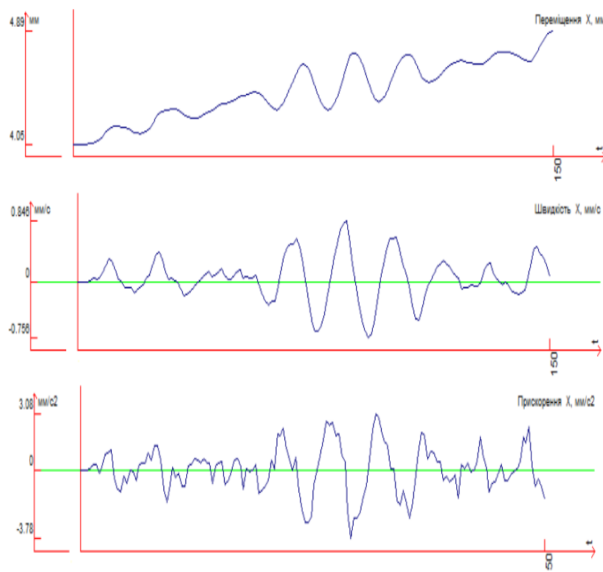


Рисунок 3 – Графіки результатів розрахунку переміщення (а), швидкості (б) і прискорення (в) вздовж осі Х у контрольній точці конструкції

Робота підсистеми моделювання навантажень і впливів (рис. 2) передбачає задавання зовнішніх вібродинамічних впливів у вигляді акселерограм віброприскорень [18], які можуть бути побудовані в модулі «Динаміка в часі» ПК ЛІРА-САПР (рис. 4).

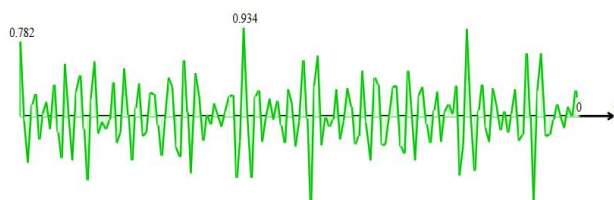


Рисунок 4 – Приклад акселерограми віброприскорень від метрополітену

Для формування історії навантаження розрахункової моделі, в яку послідовно входять повне вертикальне навантаження та горизонтальні динамічні сили, розв'язують рівняння:

$$\sum_{n=0}^i a = A_i \sin(\omega_i \cdot t_n) + A_{i+1} \sin(\omega_{i+1} \cdot t_{n+1}), \quad (1)$$

де $A_i = V_i \cdot \nu$ – віброприскорення; $\omega_i = 2\pi \cdot \nu$ – циклічна частота, які обчислюються по кожній ν в робочому діапазоні частот вібрацій від швидкісного рейкового транспорту; t_n – момент часу від 0 до 15 с, крок 0,1 с.

Методика чисельного моделювання динамічних навантажень в часі у ПК ЛІРА-САПР детально описана у [18].

Частоти вібрацій, що передаються через ґрунт від метрополітену на фундамент будівлі, належать діапазону від 20 до 80 Гц [5].

В цій роботі запропоновано результати чисельного моделювання навантаження подавати на третій нелінійний шар штучної нейронної мережі TSK [14].

На вхідний шар TSK пропонується подавати параметри руйнування стикових з'єднань несучих і горизонтальних конструкцій сильно розгалужених тріщин у кожному рівні за висотою, які свідчать про значний вплив вібродинамічних навантажень від магістралей залізничного рейкового транспорту.

Висновки

Впровадження інтелектуальних технологій і програмних комплексів ВІМ є важливим і вкрай актуальним завданням не тільки для проектних організацій. Застосування інформаційного підходу в процесі виконання будівельно-технічних експертиз відкриває нові можливості для економії ресурсів.

Особливо це стосується скорочення часу проведення будівельно-технічних експертиз і надійності прогнозування технічного стану об'єктів оточуючої забудови при накладанні навантажень і впливів різного характеру.

Подальші роботи будуть спрямовані на представлення вхідної інформації у вигляді, прийнятному для опрацювання штучною нейронною мережею TSK.

Список літератури

1. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В. 1.2-2:2006. [Чинний від 2007-01-01]. Київ: Сталь. 2007. 60 с. (Державні буд. норми України)/<http://www.dbn.at.ua>.
2. Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки: ДБН В. 1.2-12-2008. – [Чинний від 2009-01-01]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2009. 34 с. (Державні буд. норми України). <http://www.dbn.at.ua>.
3. Дорофеев В. М., Булыкин И.И., Назьмов Н.В. Методика определения периода и логарифмического декремента основного тона собственных колебаний зданий и сооружений. // Промышленное и гражданское строительство, 2006. № 4. С. 28–29.
4. Банах В. А. Моделирование работы строительных конструкций эксплуатируемых зданий при передаче динамических воздействий через грунтовой массив. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ: Видавництво ДНУЗТ, 2011. Вип. 39. С. 18 – 22.

5. Барабаи М., Ромашикіна М., *Определение вибрационного влияния движущегося транспорта в городах плотной застройки*. 19-я конференция молодых ученых «Наука – будущее Литвы», 6 мая 2016 г., Вильнюс. *Vilniaus Gedimino technikos universitetas*. С. 30 – 33.
6. Барабаи М. С. *Влияние метрополитена на несущие конструкции близстоящих зданий*. *Proceeding of the 17th Conference for Junior Researches «Science-Future of Lithuania»*. *Transport engineering and management*, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania. С. 176-183.
7. Антоновская Г. Н., Капустян Н. К., Басакина И. М. *Экспериментальная оценка динамических воздействий от техногенных источников вибрации на сооружения*. *Будівельні конструкції // Будівництво в сейсмічних районах України : міжсвідомий науково-технічний збірник наукових праць*. – К.: ДП НДІБК, 2010. Вип. 73. С. 655–660.
8. Балькин В.М. *Элементы воздействия транспорта на здания и сооружения. Их защита от транспортного шума и вибраций*. // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*, 2013. № 3(11). С. 44–45.
9. Банах В.А. *Применение статико-динамических расчетных моделей длительно эксплуатируемых зданий совместно с основанием при динамических воздействиях от строительных процессах* // *Містобудування та територіальне планування: зб. наук. праць*. К.: КНУБА, 2012. № 46. С. 38–47.
10. Барабаи М. С., Гензерський Ю. В., Овчарова В. *Численное моделирование воздействия динамических нагрузок метрополитена на близстоящие здания* // *Містобудування та територіальне планування: зб. наук. праць*. К.: КНУБА, 2013. № 48. С. 46–52.
11. Kotb, M., Ghaleb, A., Hashad, A., Helal, E. (2012). *Assessment of different standards for evaluation of buildings vibrations*. In: *Proceedings of Al-Azhar Engineering Twelfth International Conference*, Cairo, Egypt.
12. Єременко, Б.М. *Моделирование интеллектуальной системы для диагностики технического stanu об'єктів будівництва* // *Технологічний аудит та резерви виробництва*, 2015. № 1/2(21). С. 44–48.
13. Kartavykh, S., Komandurov, O., Kulikov, P., Ploskiyi, V., Poltorachenko, N., Terenchuk, S. (2020) *Adaptation of fuzzy inference system to solve assessment problems of technical condition of building objects*. *Technology audit and production reserves*, 3(2(52)), 52-55.
14. Terenchuk, S., Pashko, A., Yeremenko, B., Kartavykh, S., Ershova, N. (2018) *Modeling an Intelligent System for the Estimation of Technical State of Construction Structures*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(2(93)), 47–53.
15. Пікуль А.В., Барабаи М.С. *Проблеми моделювання динамічних впливів. Реалізація в ПК ЛІРА-САІР* // *Збірка тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю з дня народження професора В.К. Єзупова «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва»*. Одеса: ОДАБА, 2016. 124 с.
16. Немчинов Ю.И. *Сейсмостойкость зданий и сооружений*. К., 2008. 480 с.
17. Немчинов Ю.И., Маценко А. *Метод расчета свободных колебаний динамической системы «сооружение-фундамент-основание»*. *Строительные конструкции*. К.: НИИСК, 2000. № 52. С. 229–242.
18. Городецкий Д.А., Барабаи М.С., Р.Ю. Водопьянов. *Программный комплекс ЛІРА-САІР 2015: учебное пособие / Под ред. академика РААСН А.С. Городецкого*. М., 2015. 376 с.

Стаття надійшла до редколегії 02.09.2020

Командуров Олеся

Head of Department of research of project documentation and the cost of construction work, orcid.org/0000-0002-3655-780X
Kyiv research institute of forensic expertise Ministry of Justice of Ukraine

RESEARCH OF MODELS, METHODS AND MEANS OF ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF CONSTRUCTION OBJECTS IN THE CONDITIONS OF LOADS AND INFLUENCES OF TRANSPORT MAGISTRALES

Abstract. *In the statistic, the tasks of assessing the technical camp of the construction industry, which are located in the inflow zone of high-speed transport lines. A complex of reasons for the destruction of a technical mill of non-loadable structures is been discerned, and it is possible to operate close to the main lines of the railroad rack transport. A model of a special intelligence system and assessment of a technical camp is been given. At the same time, the main respect is to come up with the problem of designing models and methods of assessing the technical standard of constructions, which has found in the zone of awakening activity. To provide information and analytical support for construction and technical expertise, it has proposed to use BIM-technology and artificial neural-fuzzy network Takagi-Sugeno-Kang. To model the motion of components of building structures, it has proposed to use the method of direct integration of motion, which allows conducting numerical experiments using the software package LIRA-CAD. It has proposed to apply to the input layer of the model the parameters of destruction of butt joints of load-bearing and horizontal structures of strongly branched cracks in each level in height, which indicate a significant effect of vibrodynamic loads from railways. The results of numerical simulation of the load has proposed to be presenting on the third nonlinear layer of the artificial neural network Takagi-Sugeno-Kang. It has shown that the application of this model makes it possible to automate the process of assessing the technical condition of construction and technical examinations. The expediency of teaching an artificial fuzzy neural network on the results of the analysis of field observations and numerical experiments using the software package LIRA CAD has substantiated. The practical application of the results of the study has expected in the implementation of a system of support for construction and technical expertise to substantiate proposals for the location and conditions of construction of a new facility in a dense urban development near highways. Further work will focus on presenting input information in a form acceptable for processing by an artificial neural network TSK.*

Keywords: *building-technical expertise; rail transport; surrounding buildings*

References

1. System of ensuring the reliability and safety of construction sites. Loads and effects. Design standards: DBN. V. 1.2.-2: 2006. [Effective from 2007-01-01]. Kiev: Steel. 2007. 60 p. (State building norms of Ukraine) /<http://www.dbn.at.ua>. [in Ukrainian].
2. System of reliability and safety in construction. Construction in the conditions of the condensed building. Safety requirements: DBN B. 1.2-12-2008. – [Effective from 2009-01-01]. – Kyiv: Ukrarchbudinform, 2009. 34 p. (State building norms of Ukraine). <http://www.dbn.at.ua>. [in Ukrainian].
3. Dorofeev, V., Bulykin, I., Nazmov, N. (2006) Methods for determining the period and logarithmic decrement of the fundamental tone of natural oscillations of buildings and structures. *Industrial and civil construction*, 4, 28–29. [in Russian].
4. Banach, V. (2011). Modeling of work of building designs of the operated buildings at transfer of dynamic influences through the ground massif. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Academician V. Lazaryan. Dnipropetrovsk: DNUZT Publishing House*, 39, 18-22. [in Ukrainian].
5. Barabash, M., Romashkina, M. (2016) Determination of vibrational influence of moving transport in densely populated cities. 19th Conference of Young Scientists "Science - the Future of Lithuania". Vilnius Gedimino University of Technology, 30-33. [in Ukrainian].
6. Barabash, M. (2014). Influence of the subway on the load-bearing structures of nearby buildings. *Proceeding of the 17th Conference for Junior Researches «Science-Future of Lithuania»*. Transport engineering and management, Vilnius, Lithuania, 176-183. [in Ukrainian].
7. Antonovskaya, G., Kapustyan, N., Basakina, I. (2010) Experimental assessment of dynamic effects from man-made vibration sources on structures. *Building constructions. Construction in seismic regions of Ukraine: interdepartmental scientific and technical collection of scientific works*. K: DP NDIBK, 73, 655-660. [in Ukrainian].
8. Balkin, V. (2013) Elements of transport impact on buildings and structures. Their protection against transport noise and vibrations. *Bulletin of SGASU. Urban Planning and Architecture*, 3 (11), 44-45. [in Russian].
9. Banach, V. (2012) Application of static-dynamic calculation models of long-operated buildings together with the base under dynamic influences from construction processes. *Urban planning and spatial planning: coll. Science. wash. K.: KNUBA*, 46, 38-47. [in Ukrainian].
10. Barabash, M., Genzersky, Yu., Ovcharova, V. (2013) Numerical modeling of the impact of dynamic subway loads on nearby buildings. *Urban planning and spatial planning: coll. Science. wash. K.: KNUBA*, 48, 46-52. [in Ukrainian].
11. Kotb, M., Ghaleb, A., Hashad, A., Helal, E. (2012). Assessment of different standards for evaluation of buildings vibrations. In: *Proceedings of Al-Azhar Engineering Twelfth International Conference, Cairo, Egypt*.
12. Yeremenko, B. (2015) Modeling of intelligent system for diagnostics of technical condition of construction objects. *Technological audit and production reserves*, 1/2 (21), 44-48.
13. Kartavykh, S., Komandyrov, O., Kulikov, P., Ploskiyi, V., Poltorachenko, N., Terenchuk, S. (2020) Adaptation of fuzzy inference system to solve assessment problems of technical condition of building objects. *Technology audit and production reserves*, 3(2(52)), 52-55.
14. Terenchuk, S., Pashko, A., Yeremenko, B., Kartavykh, S., Ershova, N. (2018) Modeling an Intelligent System for the Estimation of Technical State of Construction Structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(2(93)), 47-53.
15. Pikul, A., Barabash, M. (2016) Problems of modeling dynamic influences. Implementation in PC LIRA-CAD. *Collection of abstracts of the international scientific-practical conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor V.K. Egupova "Problems of theory and practice of earthquake-resistant construction"*. Odessa: ODABA, 124. [in Ukrainian].
16. Nemchinov, Yu. (2008). *Seismic resistance of buildings and structures*. K.: 480. [in Ukrainian].
17. Nemchinov, Yu., Matsenko, A. (2000) Method for calculating free vibrations of the dynamic system "structure-foundation-foundation". *Building construction*. K.: NIISK, 52, 229-242. [in Ukrainian].
18. Gorodetsky, D., Barabash, M., Vodopyanov, Yu. (2015). *LIRA-SAPR software package*, 376. [in Ukrainian].

Посилання на публікацію

- APA Komandyrov, O. (2020). Research of models, methods and means of assessment of technical condition of construction objects in the conditions of loads and influences of transport magistralles. *Management of Development of Complex Systems*, 43, 104 – 109, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.104-109](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.104-109).
- ДСТУ Командирич, О. В. Дослідження моделей, методів і засобів оцінювання технічного стану об'єктів будівництва в умовах навантажень і впливів транспортних магістралей [Текст] / О. В. Командирич // Управління розвитком складних систем. – 2020. – № 43. – С. 104 – 109, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.104-109](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.104-109).