

Київський національний університет будівництва і архітектури  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**КОМАНДИРОВ ОЛЕКСІЙ ВІКТОРОВИЧ**

УДК 004.82: 624.07

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ  
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА**

05.13.06 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Ідентичність усіх примірників дисертації ЗАСВІДЧУЮ:

Учений секретар спеціалізованої вченої ради

М.І. Цюцюра

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

/О.В. Командиров/

Науковий керівник: Теренчук Світлана Анатоліївна,

кандидат фізико-математичних наук, доцент

Київ – 2021

## АНОТАЦІЯ

*Командиров О.В.* Інтелектуальні засоби підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2021.

Дисертаційне дослідження присвячено вирішенню актуальної науково-практичної проблеми створення інформаційних інтелектуальних систем, що здатні вирішувати задачу оцінки технічного стану об'єктів будівництва в цілому умовах нелінійного впливу вібродинамічних навантажень середовища.

Для вирішення задачі оцінки технічного стану об'єкта в цілому запропоновано гібридну систему, робота якої ґрунтується на використанні узагальненого експертного досвіду і штучних нейро-нечітких мереж категорії Такаґи-Сугено-Канґа. Описано архітектуру та обґрунтовано алгоритм навчання штучної нейронної мережі.

Сформовано вектори вхідних даних, що відображають негативний вплив вібродинамічних навантажень на технічний стан конструкцій та здійснено адаптацію моделі нейро-нечіткого виведення до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єктів з накопиченим фізичним зносом. Показано механізм формування бази знань системи на основі результатів будівельно-технічних експертиз. Надано методичні рекомендації щодо оцінки технічного стану об'єктів будівництва в цілому з використанням спеціалізованої інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану будівель і споруд. Впровадження цієї системи дозволить знизити вплив людського фактору на виконання будівельно-технічних експертиз, які проводяться в нечітких умовах нелінійних навантажень і впливів зовнішнього середовища.

**Ключові слова:** будівельно-технічна експертиза, вібродинамічне навантаження, наземний рейковий транспорт, об'єкт будівництва, технічний стан, штучна нейронна мережа.

## ABSTRACT

*Komandyrov O.* Intelligent Tools of Support the Process of Assessing Technical Condition of Buildings. - Manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.06 – Information technologies. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2021.

The dissertation research is devoted to the decision of an actual scientific and practical problem of creation of information intelligent systems, which are capable to solve a problem of an estimation of a technical condition of objects of construction as a whole of conditions at nonlinear influence of vibrodynamic loadings of the environment.

To solve the problem of assessing the technical condition of the object as a whole, a hybrid system is propose, the work of which has based on the use of generalized expert experience and artificial neuro-fuzzy networks of the Takagi-Sugeno-Kanga category. The architecture and algorithm of training of an artificial neural network is describes. The possibility of applying the Bayesian logical-probabilistic approach to the dephasification of the values of the output change is considered.

The input data vectors that reflect the negative impact of vibrodynamic loads on the technical condition of structures and the adaptation of the model of neuro-fuzzy inference to solve the problem of assessing the technical condition of objects with accumulated physical wear. The mechanism of formation of the knowledge base of the system based on the results of construction and technical examinations is shown. Methodical recommendations on the assessment of the technical condition of construction objects in general with the use of a specialized intelligent system to support the process of assessing the technical condition of buildings and structures is propose. The introduction of this system will reduce the impact of the human factor on the implementation of construction and technical examinations, which are carried out in fuzzy conditions of nonlinear loads and environmental influences.

**Keywords:** knowledge base, vibrodynamic load, accumulated physical wear, neuro-fuzzy output system, technical condition, artificial neural network.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у закордонних та фахових виданнях України*

1. Kartavykh S., Komandyrov O., Kulikov P., Ploskyi V., Poltorachenko N., Terenchuk S. Adaptation of Fuzzy Inference System to Solve Assessment Problems of Technical Condition of Building Objects. Technology Audit and Production Reserves. Volume 3, No 2(53), 2020. P. 52-55.

*Особистий внесок здобувача: полягає в систематизації та фазифікації вібродинамічних навантажень на технічний стан об'єктів будівництва при формуванні нечіткої бази знань системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва.*

2. Komandyrov O., Levchenko O., Kysil O. Prospects for the application of BIM-technology (Building Information Modeling) in construction and technical expertise. Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized Energy potential. Wydział Budownictwa Politechniki Częstochowskiej. 2016. № 1 (11). P. 105-108.

*Особистий внесок здобувача: дослідження можливості та доцільності впровадження BIM-технології в процес проведення судових будівельно-технічних експертиз.*

3. Komandyrov O., Levchenko O., Kasarevska R. Aspects involvement bim-technology to certification of cultural heritage. Scientific letter of Academes Society of Michail Baludansky. 2019. Volume 7. N 6a. P. 153-162.

*Особистий внесок здобувача: проведення аналізу та узагальнення факторів недотримання вимог містобудівної документації на місцевому рівні.*

4. Командиров О.В. Куликов П.М., Плоский В.О., Єременко Б.М. Застосування штучної нейро-нечіткої мережі Такаґи-Сугено-Канґа до оцінки технічного стану об'єктів будівництва. Управління розвитком складних систем, 2020, №42. С. 107-112

*Особистий внесок здобувача: полягає в розробці концептуальної моделі інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва.*

5. Командиров О.В. Дослідження моделей, методів і засобів оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах навантажень і впливів транспортних магістралей. Управління розвитком складних систем, 2020, №43. С. 104-109.

*Тези доповідей міжнародних наукових конференцій*

6. Амін Агхеззаф, Командиров В., Яценко О. Методи і засоби моніторингу технічного стану об'єктів будівництва. ВМС-2020 – International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020", November 2020, Kyiv, Ukraine. С.154-155.

*Особистий внесок здобувача: систематизація факторів впливу зовнішнього середовища на технічний стан об'єктів будівництва та аналіз дозволів на відхилення від вимог нормативно-правових актів в галузі будівництва.*

*Праці, які додатково відображають наукові результати*

7. Командиров О.В. «Особливості дослідження дотримання вимог нормативно-правових актів України в частині пожежної безпеки при аналізі проектної документації та будівельних об'єктів. Криміналістика і судова експертиза, №63, 2018. Київ. С. 73-80.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....		8
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА .....	16
1.1	Проблеми забезпечення надійної та безпечної експлуатації будинків і споруд великих міст.....	16
1.2	Нормативно-правове забезпечення процесу проведення будівельно-технічних експертиз.....	21
1.3	Нечітко-множинний підхід до автоматизації процесу експертної оцінки технічного стану об'єктів будівництва.....	31
	Висновки до розділу 1 .....	42
РОЗДІЛ 2	МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	43
2.1	Існуючі засоби моделювання будівель і споруд.....	43
2.2	Аналітичні моделі та методи розрахунку відгуків будівельних конструкцій на динамічні навантаження і впливи середовища .....	50
2.3	Чисельні методи моделювання технічного стану об'єктів будівництва з урахуванням вібродинамічного навантаження середовища.....	54
2.4	Прилади і засоби набуття первинної інформації.....	65
	Висновки до розділу 2 .....	72
РОЗДІЛ 3	МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА .....	73

3.1	Моделювання процесу проведення будівельно-технічної експертизи з використанням ІСП ПОТС ОБ..	75
3.2.	Архітектура і алгоритм навчання штучної нейро-нечіткої моделі Такаги-Сугено-Канга.....	78
3.3	Адаптація штучної нейро-нечіткої моделі Такаги-Сугено-Канга до вирішення задачі оцінки технічного стану будівельних конструкцій.....	80
	Висновки до розділу 3.....	84
РОЗДІЛ 4	ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА В ПРОЦЕС ПРОВЕДЕННЯ БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ.....	85
	...	
4.1.	Етапи формування бази знань ІСП ПОТС ОБ.....	85
4.2.	Формування апріорної бази знань системи нечіткого виведення ІСП ПОТС ОБ в пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB .....	88
4.3	Інтеграція ІСП ПОТС ОБ в процес проведення БТЕ...	107
	Висновки до розділу 4.....	112
	ЗАГАЛЬНІ	113
	ВИСНОВКИ.....	
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ	115
	ДЖЕРЕЛ.....	
	ДОДАТКИ.....	133
	..	
	Додаток А. Схема розвитку рейкового пасажирського транспорту Проекту Генерального плану міста Києва до 2025 року	133
	.....	

Додаток Б. Витяг з інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень.....	142
Додаток В. Витяги з будівельно-технічних експертиз.....	147
Додаток Г. Апробація результатів дослідження.....	158



## ВСТУП

*Актуальність теми дослідження.* В останні десятиріччя 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 існують проблеми щільної забудови. Внаслідок нового будівництва зростає кількість задач, які пов'язані зі зміною комплексу зовнішніх навантажень і впливів на конструкції раніше зведених об'єктів. Проте, зміни зовнішніх навантажень і впливів можуть бути пов'язані не тільки з будівельною діяльністю, зміною вібродинамічного навантаження різних інфраструктур і вільними коливаннями та вимушеними вібраціями новобудов. Зміни зовнішніх вібродинамічних навантажень, що не враховувались при проектуванні та будівництві об'єктів існуючої забудови, можуть спричинити розвиток процесів, які призводять до зміни напружено-деформованого стану несучих конструкцій.

Тривалі динамічні транспортні навантаження суттєво впливають на несучі конструкції будівель і споруд, що знаходяться поблизу великих магістралей з майже безперервним транспортним потоком. При цьому найбільшим джерелом вібродинамічних навантажень є рейковий наземний і підземний транспорт – потяги, трамваї та метрополітен. Такий вплив рейкового транспорту обумовлено значно меншим демпфуванням коливань, які передаються на ґрунт від сталевого колеса через жорстку систему «рейка-шпала». Певну роль в спектрі впливу відіграють ударні імпульси від ударів колеса об рейки на стиках і значна вага джерела вібродинамічних навантажень. Окрім того, тривалі вібраційні навантаження можуть бути причиною віброущільнення та вібротекучості дисперсних ґрунтів і, як наслідок, спричиняти осідання основ будівель і споруд.

Загальнонаціональний вектор розвитку наземного рейкового транспорту в Україні передбачає розвиток сполучення електричною та швидкісним трамваєм у різних містах держави. При цьому у великих містах проводиться модернізація колій і рухомого складу наземного рейкового транспорту, шляхи сполучення якого часто пролягають в частині історичної забудови міст, більшість з якої відноситься до архітектурної та культурної спадщини. Реалізація програм, спрямованих на

зміну функціонального використання промислових зон міст та їх перепрофілювання у сельбищні зони, також тягне за собою стрімке зростання будівельної діяльності поблизу транспортних магістралей та будівництва і модернізації ліній рейкового транспорту в умовах уже сформованої забудови. При цьому, будівництво нових об'єктів часто відбувається в місцях пролягання ліній метрополітену та наявні випадки розміщення шляхів наземного рейкового транспорту безпосередньо в будівлях, що може призвести до порушень вимог нормативно-правових актів щодо дотримання охоронних зон шляхів рейкового транспорту та пошкодження несучих конструкцій.

Розробка і проведення заходів щодо запобігання прискореного фізичного зносу будівель і споруд потребують надійної оцінки їх технічного стану, а оцінка технічного стану об'єктів, що опинились чи можуть опинитися в зоні впливу нових чи модернізованих мереж рейкового транспорту, виділяється як важливий напрямок будівельної діяльності, оскільки неадекватна оцінка міри впливу такого транспорту на існуючі об'єкти містобудування може призвести до втрати економічної ефективності від впровадження транспорту. Таким чином, вибір теми дисертаційного дослідження **обґрунтовано** необхідністю розробки інформаційних інтелектуальних систем і технологій оцінки впливу шляхопроводів рейкового транспорту на технічний стан будівель і споруд.

Експертний підхід до оцінки технічного стану об'єктів будівництва ґрунтується на врахуванні ступеня відхилення класифікаційних ознак діагностичних параметрів від їх нормативних значень і особистих знаннях експертів. При цьому експерти визначають категорію технічного стану будівель і споруд, конструктивні елементи якого мають певний перелік дефектів, та можуть робити прогноз розвитку їх руйнування використовуючи досвід і знання, що набуті при дослідженні різних об'єктів-аналогів в різних умовах експлуатації. Як наслідок – точність оцінки категорії технічного стану та залишкового ресурсу об'єктів будівництва, що експлуатуються в складних умовах накладання вібродинамічних навантажень і впливів різного походження, можуть мати суб'єктивний характер. Автоматизація процесу діагностики технічного стану об'єктів з дефектами та

пошкодженнями різного характеру дозволить суттєво зменшити ризик прийняття необ'єктивних рішень щодо оцінки категорії їх технічного стану.

На забезпечення придатності будівель і споруд до експлуатації, їх надійності та безпеки в умовах зростаючого фізичного і морального зношення спрямовано роботи О.І. Буратевича, О.І. Голоднова, П.Є. Григоровського, А.П. Іванова, П.М. Кулікова, С.В. Міхальченка, О.М. Панька, В.О. Плоского, А.М. Пронька і ін.

На вирішення питань автоматизації процесів проєктування, моделювання, моніторингу та діагностики будівель і споруд, створення методик розрахунку віброзахисних конструкцій і впровадження ВІМ-технології в галузь будівельно-технічної експертизи для перевірки відповідності вимогам нормативно-правових актів спрямовано роботи М.С. Барабаш, Я.В. Башинського, К.І. Київської, Р.О. Косаревської, А.І. Лантух-Ляценка, О.В. Левченка, А.В. Пікуля, Я.О. Слободяна, С. Jones, M. Kun, M. Petyt, H. Struit, K Vogiatzis.

Питанням застосування нечіткої логіки та нечітких виведень, що надають змогу формалізувати процес експертної оцінки технічного стану будинків і споруд при створенні інформаційних інтелектуальних систем і технології, що ґрунтуються на знаннях, присвячено дослідження S. Osowski, Г.А. Гайни, М.М. Делембовського, Б.М. Єременка, В.М. Михайленка, О.Д. Панкевича, А.О. Пашка, С. О. Суботіна, О.О. Терентьева, С.Д. Штовби. Проте, не зважаючи на таку кількість робіт, задача розробки та впровадження в процес оцінки технічного стану об'єктів будівництва інтелектуальних систем, які здатні вирішувати задачу нечіткої класифікації в складних умовах накладання вібродинамічних навантажень, що виникають при експлуатації нового та модернізованого рейкового транспорту, лишається **актуальною**.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Дисертаційну роботу було виконано на кафедрі інформаційних технологій проєктування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури. Дослідження проводились в рамках наукової держбюджетної теми «Моделі і методи автоматизованого управління системою комплексної безпеки будівель» (державний реєстраційний номер 0118U002096) і пов'язані з науково-

дослідними темами «Розробка методичних рекомендацій щодо відповідності об'єктів будівництва вимогам нормативно-правових актів» (державний реєстраційний номер 0118U000988с) Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України. Напрямок досліджень відповідає статті 39<sup>2</sup> Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17.02.2011 №3038-VI, Розпорядженню Кабінету Міністрів України «Про заходи щодо посилення контролю за проектуванням, новим будівництвом, реконструкцією, капітальним ремонтом та експлуатацією будинків і споруд» від 01.03.2004 №100-р.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає в розробці нечітких моделей і методів для спеціалізованої інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану будівель і споруд, які мають накопичений фізичний знос і функціонують в зоні впливу магістралей наземного рейкового транспорту.

Для досягнення мети в роботі потрібно вирішити такі *завдання*:

1. *Дослідити* сучасний стан галузі будівельно-технічних експертиз та діючу методику оцінки технічного стану будівель і споруд.

2. *Дослідити* методи і засоби моделювання вібрацій від рейкового транспорту та методи і засоби оцінки технічного стану будівель і споруд з накопиченим фізичним зносом, що експлуатуються в умовах вібродинамічних навантажень такого транспорту.

3. *Проаналізувати* проблеми автоматизації процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва, що мають дефекти та пошкодження різного характеру і експлуатуються в складних умовах ущільненої міської забудови.

4. *Систематизувати* основні фактори впливу середовища на технічний стан будівель і споруд, які спричинені вібродинамічними навантаженнями і впливами різного походження.

5. *Запропонувати* концептуальну модель спеціалізованої інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва для вирішення задачі оцінки категорії технічного стану об'єкта в цілому, що здатна

вирішувати задачу нечіткої класифікації та ураховувати вібродинамічні навантаження.

6. *Сформувати* вхідний вектор суттєвих параметрів, що відображають негативний вплив вібродинамічних навантажень на технічний стан об'єктів міської забудови та *здійснити* адаптацію моделі нейро-нечіткого виведення до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єктів з накопиченим фізичним зносом.

7. *Обґрунтувати* застосування запропонованих математичних моделей та методів при умовах обмежень результатами аналізу натурних спостережень і чисельних експериментів з інформаційними моделями будівель.

8. *Розробити* методичні рекомендації щодо проведення оцінки технічного стану будівель і споруд з використанням спеціалізованої інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва.

**Об'єкт дослідження** – будівлі, споруди, окремі будівельні конструкції з накопиченим фізичним зносом, які функціонують в зоні впливу магістралей наземного рейкового транспорту.

**Предмет дослідження** – математичні та імітаційні моделі і методи оцінки технічного стану об'єктів будівництва, що мають накопичений фізичний знос і експлуатуються в умовах накладання вібродинамічних навантажень.

**Методи дослідження**, що використовувались при виконанні роботи:

– синтез та структурне моделювання при розробці спеціалізованої інтелектуальної інформаційної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва;

– спостереження та аналіз процесу виконання будівельно-технічних експертиз;

– абстракції моделювання і абстракції ототожнення при обробці результатів практичного досвіду експертної діяльності та узальненні еспертних знань;

– кваліметричні методи для обробки вхідних даних при формуванні висновків щодо категорії технічного стану об'єкта в цілому.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в розширенні бази знань і розробці механізму нечіткого виведення в інтелектуальній системі підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва.

*Вперше запропоновано:*

- теоретичне обґрунтування логіки застосування, що розробляється для підтримки процесу оцінки технічного стану будівель і споруд в цілому;
- нейро-нечітку модель системи виведення для системи оцінки технічного стану будівель і споруд з експлуатаційними дефектами, що надає змогу урахувати вібродинамічний вплив середовища при проведенні будівельно-технічних експертиз.

*Удосконалено:*

- процес оцінки технічного стану будинків і споруд з накопиченим фізичним зносом, що на відміну від існуючого, передбачає застосування штучних нейронних мереж категорії Такаґи-Сугено-Канґа до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єктів в цілому;
- математичну модель об'єкта будівельно-технічної експертизи, що на відміну від існуючих, ураховує узагальнений вплив зовнішніх вібродинамічних навантажень на технічний стан конструкцій, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від зовнішнього впливу навантажень.

*Дістало подальшого розвитку:*

- нечітко-множинний метод оцінки технічного стану об'єктів будівництва в напрямку розширення онтології системи шляхом набуття знань про реальний вплив зовнішнього середовища;
- ідея застосування інтегрованої штучної нейронної мережі категорії Такаґи-Сугено-Канґа до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єктів будівництва у напрямку адаптації нечіткої системи виведення до вирішення задачі діагностики об'єкта в цілому.
- дослідження, спрямовані на впровадження ВІМ-технології в процес проведення будівельно-технічної експертизи.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що:

– використання запропонованої інтелектуальної інформаційної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва надасть можливість зменшити час оцінок, які проводяться в нечітких умовах накладання навантажень і впливів зовнішнього середовища;

– запропонована методологія оцінки технічного стану об'єктів будівництва з використанням штучної нейро-нечіткої мережі Такаґи-Сугено-Канґа дозволить знизити вплив людського фактору на виконання будівельно-технічних експертиз, які проводяться в нечітких умовах нелінійних впливів зовнішнього середовища.

*Впровадження подібних засобів дозволить:*

– автоматизувати процеси моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану будівель і споруд на стадії експлуатації об'єктів;

– автоматизувати моделювання процесів накопичення фізичного зносу та оцінки технічного стану при створенні інформаційних моделей будівель;

– надати методологічне забезпечення фахівцям з експлуатації будівель та споруд, експертам з будівельно-технічних видів досліджень в частині встановлення техногенних факторів впливу зовнішнього середовища на технічний стан будівель та споруд.

***Достовірність результатів дослідження.*** Запропонований в роботі підхід ґрунтується на реальних дослідженнях, що забезпечує адекватність фазифікації нечіткої вхідної інформації. Адекватність і працездатність запропонованих моделей і методів підтверджується звітами про виконання науково-дослідної роботи за темою: IV.3.1-2018/2 «Розробка методичних рекомендацій щодо відповідності об'єктів будівництва вимогам нормативно-правових актів», що виконані в Дніпровському науково-дослідному інституті судових експертиз, Київському науково-дослідному інституті судових експертиз, Одеському науково-дослідному інституті судових експертиз, Харківському науково-дослідному інституті судових експертиз Міністерства юстиції України.

***Апробація результатів дисертації.*** Всі теоретичні результати наукового дослідження здобувача кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Командирова О.В. апробовані під час виконання науково-

дослідних робіт в Київському науково-дослідному інституті судових експертиз Міністерства юстиції України. Основні положення і практичні результати роботи були оприлюднені і одержали схвалення на міжнародних наукових конференціях, міжвідомчих науково-практичних семінарах та міжнародних круглих столах, а саме: V Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання судової експертизи і криміналістики», квітень 2019 р. (м. Харків, Україна); I Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання судової експертології, криміналістики та кримінального процесу», листопад 2019 р. (м. Київ, Україна); «BMC-2020 – International Scientific-Practical Conference of young scientists «Build-Master-Class-2020», листопад 2020 р. С.154-155 (м. Київ, Україна); міжвідомчих науково-практичних семінарах «Зміни у законодавчих та нормативно-правових актах у сфері будівництва та земельних відносин. Проблемні питання та шляхи вдосконалення» КНДІСЕ (м. Київ, Україна) і ОНДІСЕ (м. Одеса, Україна), травень 2019 р.; Міжнародних круглих столах «Проблеми та перспективи розвитку судової експертизи», червень 2019 р. (м. Одеса, Україна) та «Проблемні питання судових будівельно-технічних та земельно-технічних експертиз. Перспективи розвитку та шляхи вдосконалення», квітень 2018 р. (м. Київ, Україна).

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати наукових досліджень, які виносяться на захист, є результатом самостійно проведених автором досліджень у галузі інформаційних технологій і належать особисто автору дисертаційної роботи. Особистий внесок автора в праці, що опубліковані в співавторстві, визначено в списку опублікованих праць за темою дисертації.

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковано в 7-х наукових працях, у тому числі: 6 статей опубліковано у виданнях, які входять до затвердженого МОН України переліку фахових видань.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 167 найменувань та додатків. Робота містить 65 рисунків, 10 таблиці та 4 додатки. Загальний обсяг дисертації становить 163 сторінки, у тому числі: обсяг основного тексту – 129; анотації та додатки займають 34 сторінки.



## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА**

В розділі проведено аналіз проблем забезпечення надійної та безпечної експлуатації будинків і споруд (БіС), які будуються та експлуатуються в стохастичних умовах великих міст, та нормативно-правових актів, що регулюють діяльність будівельної галузі в Україні. При цьому основну увагу спрямовано на дослідження питань, що вирішуються при проведенні будівельно-технічних експертиз (БТЕ) об'єктів, які опинились або можуть опинитись в охоронній зоні ліній рейкового транспорту, що будується чи модернізується.

На основі проведеного аналізу нормативно-правового забезпечення БТЕ та діючої методики оцінки технічного стану (ТС) будівель і споруд з накопиченим фізичним зносом показано, що експертна оцінка ТС об'єктів будівництва (ОБ), які експлуатуються в умовах накладання різних стохастичних факторів середовища, супроводжується ризиками прийняття невідповідних рішень.

Розглянуто можливість зменшення ризиків прийняття необ'єктивних рішень шляхом впровадження в процес проведення БТЕ приладів і засобів для інструментального обстеження та моніторингу входних параметрів, що в різних умовах експлуатації БіС надають можливість отримувати різну інформацію щодо їх ТС. Показано необхідність впровадження в процес проведення БТЕ інформаційних інтелектуальних систем, які здатні до маніпуляції динамічними нечіткими даними. Показано принцип формування бази правил нечіткої бази знань систем нечіткого виведення (СНВ), що використовуються в діагностичних системах, заснованих на знаннях.

### **1.1. Проблеми забезпечення надійної та безпечної експлуатації будинків і споруд великих міст**

В останні десятиріччя в усьому світі спостерігається урбанізація та стрімке зростання міст. При цьому виникає необхідність у зведенні БіС різного призначення в містах, де і без цього існують проблеми щільної забудови. Внаслідок нового будівництва зростає не тільки щільність забудови, а і кількість задач, які

пов'язані зі зміною напружено-деформованого стану несучих конструкцій раніше зведених БіС [1 – 6]. Проте, зазначені зміни можуть бути пов'язані не тільки з будівельною діяльністю [7 – 10].

Зміни зовнішніх навантажень та впливів в міських умовах можуть бути спричинені (рис.1.1):

- вільними коливаннями та вимушеними вібраціями новобудов [11, 12];
- зміною вібродинамічного навантаження нових інфраструктур [13, 14];
- тривалою дією вібродинамічних впливів транспортних мереж [14 – 19];
- іншими явищами природного чи техногенного характеру [9, 20, 21].



Рис.1.1. Навантаження і впливи, що діють на будівлі і споруди

Тривалі вібродинамічні транспортні навантаження суттєво впливають на несучі конструкції БіС, що знаходяться поблизу великих магістралей з майже безперервним транспортним потоком. При цьому найбільшим джерелом

вібродинамічних навантажень є рейковий транспорт – потяги, трамваї та метрополітен, шляхи сполучення якого часто пролягають саме в щільно забудованих районах міст [22, 23].

В [13 – 16] розглядається генерація хвиль в ґрунті поблизу транспортних магістралей і метрополітену. В роботах [24 – 30] основна увага приділяється дослідженню динаміки рухомого парку рейкового транспорту та дослідженню процесів деградації залізничних колій і мостів, але значно менше уваги приділяється дослідженням впливу цих хвиль на технічний стан БіС, що розташовані поблизу [31 – 33]. Проте, аналіз проблемних питань судових БТЕ та змін у законодавчих та нормативно-правових актах у сфері будівництва та земельних відносин показав нагальність вирішення задачі забезпечення експертів надійними інформаційними засобами оцінки характерних особливостей впливу зовнішніх факторів середовища на ТС об'єктів міської забудови.

Вирішення цієї задачі в першу чергу потребує розробки методів і засобів моделювання вібродинамічних навантажень і впливів на технічний стан ОБ. При цьому, рейковий транспорт є джерелом вібрацій різної частоти і амплітуди. До того ж вібродинамічні навантаження від рейкового транспорту, на відміну від сейсмічних впливів, діють постійно та змінюють фізико-механічні властивості ґрунтів і несучу здатність конструкцій БіС, які експлуатуються, зводяться чи реконструюються в зоні впливу такого транспорту. Частоти вібрацій від рейкового транспорту, що передаються через ґрунт на основу БіС, можуть бути близькими до власних частот коливань будівельних конструкцій [18, 19].

В таких умовах зростає ймовірність подій, коли окремі фактори середовища слабо впливають на вихідну ознаку, а їх спільний вплив може бути значним. Як наслідок: просторово розвинені споруди можуть опинитись на межі критичної стійкості. При цьому будівельна діяльність може спричинити розвиток процесів, оцінка міри впливу яких на ТС об'єктів ускладнюється тим, що не існує чіткої границі між мірами впливу вібрацій від різних джерел [34 – 37]. Тому серед явищ техногенного характеру, що суттєво впливають на технічний стан БіС особливе місце займають вібродинамічні навантаження від рейкового транспорту.

На рисунках 1.2, 1.3 показано топологічну карту Лондонської залізниці [38] і схему розвитку рейкового пасажирського транспорту міста Києва [39, Додаток А].

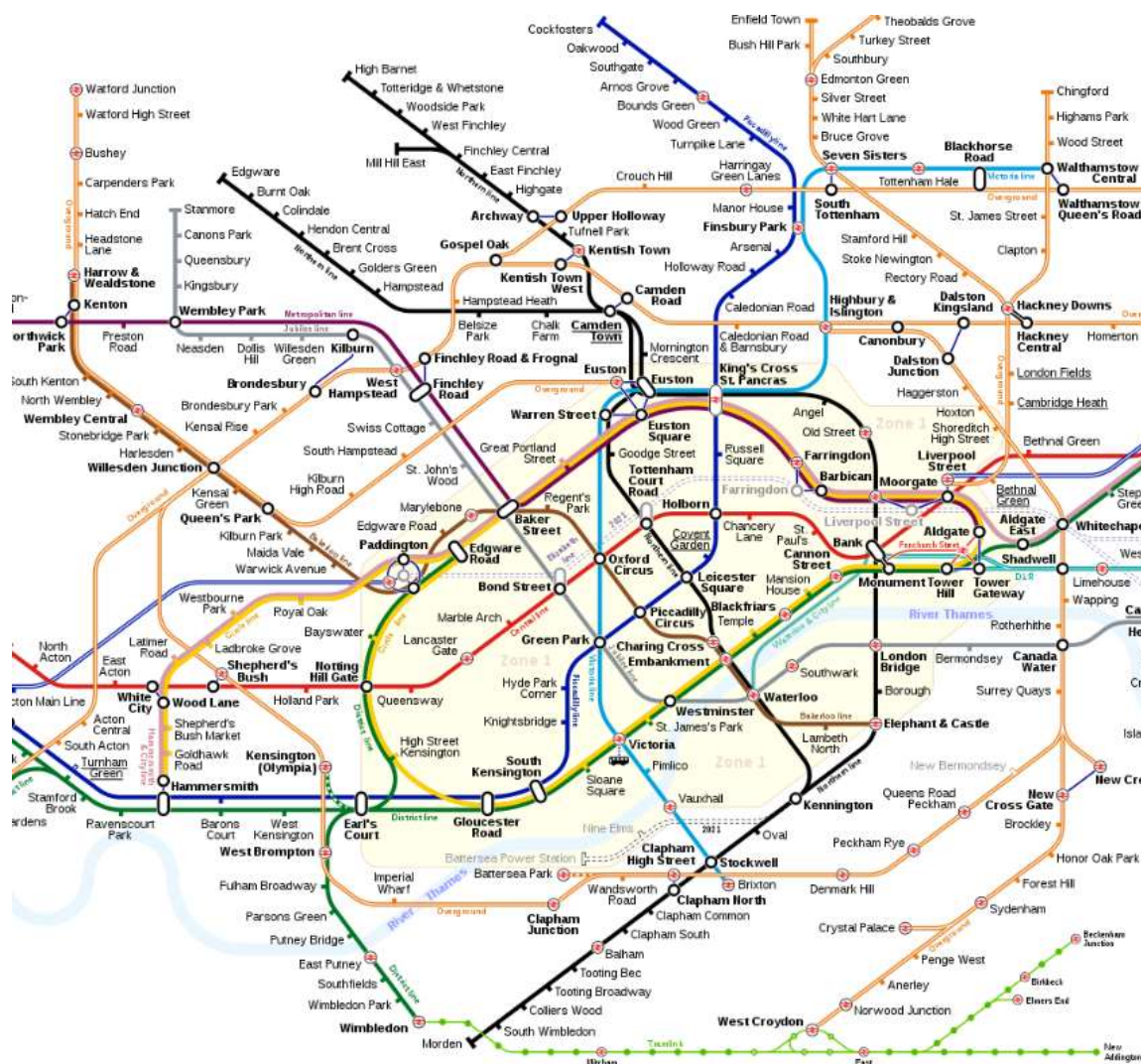


Рис.1.2. Топологічна карта Лондонської залізниці

Інтеграція України в міжнародний правовий простір призвела до значних змін в технічних вимогах і організації технології будівництва та зростання попиту на унікальні БіС. Зведення унікальних БіС ускладнюється невизначеністю, що пов'язана з відсутністю реальних статистичних даних про динаміку втрати експлуатаційних властивостей БіС, що опиняються в зоні впливу нового будівництва та (чи) вібродинамічних транспортних навантажень нового чи модернізованого рейкового транспорту, які не враховувались при будівництві існуючої забудови.

При цьому дослідження світового досвіду з експлуатації БіС різного призначення [5, 8, 40 – 43] показало, що надійність та безпека ОБ залежить від впливу суперпозиції природних, техногенних і експлуатаційних факторів.

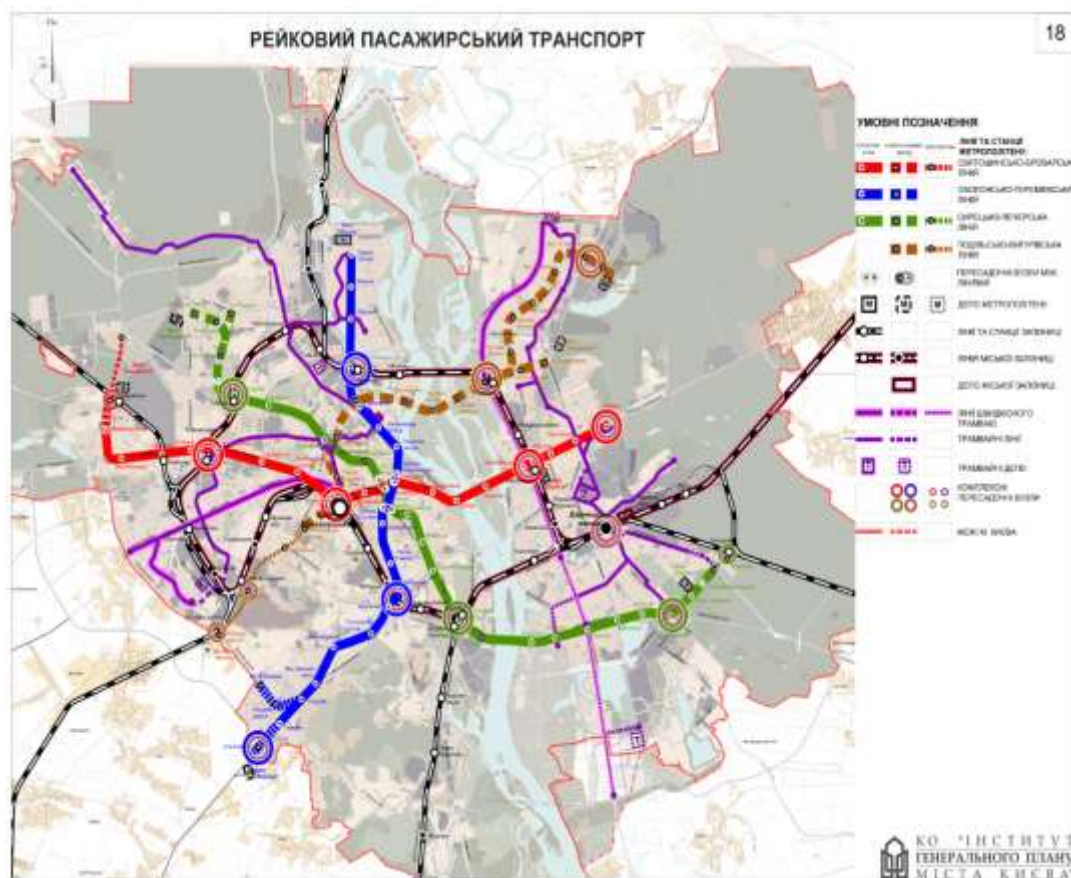


Рис.1.3. Схема розвитку рейкового пасажирського транспорту Проекту Генерального плану міста Києва до 2025 року

Ступінь впливу суттєвих факторів середовища (рис.1.1) визначається в кожному окремому випадку і може бути різним навіть на типові об'єкти. Вчасне проведення ефективних заходів з оцінки міри впливу середовища та адаптації ОБ до зовнішніх умов, які не враховувались при їх проектуванні і зведенні, потребує проведення БТЕ. В свою чергу, виконання БТЕ передбачає розв'язання задачі нечіткої класифікації ТС об'єкта за множиною різних характерних ознак при вирішенні завдань [31, 44]:

- обґрунтування пропозицій щодо місця розташування та умов будівництва нового об'єкта (в тому числі мереж транспортного сполучення);

- підготовки та проведення будівельної діяльності;
- врегулювання прецедентів, які пов'язані з погіршенням ТС об'єктів існуючої забудови внаслідок впливу будівельної діяльності чи функціонування нових об'єктів, вплив яких не враховувався при проєктуванні та будівництві;
- забезпечення надійності та експлуатаційної придатності об'єкта на всіх етапах життєвого циклу.

Кожне з цих завдань має особливості, що відображаються на вимогах до методів і засобів діагностики, та впливають на вибір вхідних даних і системи правил для оцінки ТС об'єкта будівництва, що в свою чергу, потребує проведення теоретичних і експериментальних досліджень:

- моделей і методів оцінки ТС об'єктів будівництва;
- моделювання впливу зовнішнього середовища на ТС об'єкта БТЕ.

Особливо актуальним таке моделювання стає при розробці рекомендацій щодо експлуатації ОБ ущільненої міської забудови, які потрапляють в зону будівельної діяльності або експлуатуються в умовах впливу новобудови поруч з магістралями швидкісного рейкового транспорту. Проте в Україні досі відсутні діючі нормативні документи, які визначають допустимі рівні вібрації від руху транспорту для конструкцій БіС.

Разом з тим, існують міжнародні документи, що імплементовані в правове поле України та галузеві норми та норми часів СРСР, які встановлюють частотно-залежні критерії оцінки вібрації, зокрема [45, 46].

## **1.2. Нормативно-правове забезпечення процесу проведення будівельно-технічних експертиз**

В Україні структура нормативно-правової бази, що регулює діяльність будівельної галузі визначена на законодавчому рівні [46 – 52]. Основою технічного регулювання нормативно-правової бази є Галузеві будівельні норми, ГОСТи (Міждержавні Стандарти), ГСТУ (Галузеві стандарти України), ДБН (Державні Будівельні Норми), ДСТУ (Державні Стандарти України), ВБН та ВСН (Відомчі Будівельні Норми), ВНТП (Відомчі Норми Технологічного Проектування),

ВПНРМ (Відомчі Виробничі Норми Витрат Матеріалів), ІН (Інструкції з охорони праці), НАПБ (Нормативні акти з пожежної безпеки), ОНТП (Загальносоюзні Норми Технологічного Проектування), Листи та Роз'яснення, Постанови, Накази та Розпорядження, Регламенти контролю якості, РД (Керівні Документи), РСН (Республіканські Будівельні Норми), РСТ (Республіканські стандарти), СН (Будівельні норми), СНиП (Будівельні Норми і Правила), СОУ (Стандарти Організації України), СТ СЭВ (Стандарти Ради Економічної Взаємодопомоги), ТУ (Технічні умови).

ДБН забезпечують формування державної політики у сфері будівництва і містять в собі нормативні акти, що затверджені центральним органом виконавчої влади.

ГБН являють собою нормативні акти, що затверджені міністерством в межах відповідних повноважень у разі відсутності ДБН або у разі необхідності встановлення вимог до будівництва окремих видів споруд, що конкретизують вимоги ДБН.

До СН відносяться затверджені суб'єктом нормування підзаконні нормативні акти технічного характеру, що містить обов'язкові вимоги у сферах будівництва, містобудування та архітектури. Фонд будівельних норм формується з упорядкованого зібрання контрольних примірників будівельних норм.

Окрім того існує низка нормативних документів, до яких відносяться:

- державні стандарти України [53];
- відомчі будівельні норми [54];
- регіональні будівельні норми [55];
- технічні умови [56].

Ефективне правове регулювання будівельної діяльності суб'єктів господарювання, поряд з нормами господарського права, передбачає застосування норм цивільного, адміністративного, трудового, кримінального права та норм технічних регламентів [57 – 63].

Аналіз нормативної бази будівництва України показав, що значну її частину становлять акти Союзу Радянських Соціалістичних Республік, які лишаються

чинними на теперішній час. Нові нормативно-технічні акти, яких в Україні за роки незалежності прийнято понад 1000, розроблялись у перехідних умовах нестабільної економічної і фінансової кризи. Значну кількість нормативно-технічних актів Кабінет Міністрів України скасував у 2017 та у 2019 роках. Та, незважаючи на це, база нормативно-технічних актів залишається перевантаженою і не достатньо узгодженою. Такий стан нормативно-правової бази часто спричиняє конфлікти, вирішення яких потребує проведення БТЕ [64 – 66].

Процес проведення БТЕ регулюється ДБН України [2, 66].

Категорії відповідальності конструкцій та елементів залежно від наслідків, що можуть бути викликані їх відмовою надано в табл.1.1.

Таблиця 1.1

## Категорії відповідальності конструкцій та елементів

Категорія	Наслідки	Відповідальність
А	Конструкції та елементи, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації об'єкта будівництва в цілому чи значної її частини	Категорії відповідальності встановлюються проектувальником і мають бути наведені в проектній документації.  Рекомендації щодо визначення цих категорій мають бути наведені у нормах проектування БіС певного типу.
А <sub>1</sub>	Конструкції, безвідмовність яких забезпечує будівлю або споруду від повного руйнування при аварійних впливах	
Б	Конструкція перевантажена або мають місце дефекти та пошкодження, що свідчать про зниження її несучої здатності	
В	Конструкції, відмова яких не призводить до порушення функціонування інших конструкцій або їх елементів	

Одним із головних завдань БТЕ є визначення ТС об'єкта експертизи та причин його пошкоджень і руйнувань.



*Технічний стан* – сукупність якісних і кількісних показників, що характеризують експлуатаційну придатність об'єкта або його частин, у порівнянні з їх гранично припустимими значеннями.

Технічний стан ОБ залежить від ступеня його фізичного зносу (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Оцінка технічного стану об'єкта будівництва за ступенем фізичного зносу

Фізичний знос, %	ТС об'єкта	Загальна характеристика ТС об'єкта
До 20	Добрий	Пошкоджень і деформацій немає. Окремі несправності, що не впливають на експлуатацію елемента і усуваються під час ремонту
21-40	Задовільний	Елементи будівлі в цілому придатні для експлуатації, але потребують ремонту, що найдоцільніший на цій стадії
41-60	Незадовільний	Експлуатація елементів будівлі можлива лише при умові проведення їх ремонту
61-80	Ветхий	Стан несучих конструктивних елементів аварійний, а не несучих – дуже ветхий. Обмежене виконання об'єктом своїх функцій можливе при проведенні охоронних заходів або повній заміні цих елементів.
Понад 80	Непридатний	Елементи будівлі знаходяться у зруйнованому вигляді

*Фізичний знос* зумовлюється частковою або повною втратою об'єктом початкових фізико-технічних і експлуатаційних властивостей, які передбачені проектом, внаслідок дії природно-кліматичних, технологічних і техногенних факторів та впливів життєдіяльності людини [67 – 72].

Зношування БіС полягає в тому, що окремі конструкції і об'єкти в цілому з часом втрачають свої початкові якості (міцність, стійкість, надійність і т. ін.).

Термін служби конструктивних елементів залежить від великої кількості факторів, що впливають на знос [2, 68]. Показник фізичного зносу є визначальним при прийнятті рішення щодо подальшої експлуатації, технічного обслуговування,

ремонту, реконструкції, реставрації чи знесення об'єкта та сукупність якісних та кількісних показників, що характеризують експлуатаційну придатність об'єкта або його частин, у порівнянні з їх гранично припустимими значеннями [72] надана у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

## Класифікація технічного стану конструкцій

ТС	Оцінка ТС конструкцій	Потрібні дії
I Нормальний	Фактичні зусилля в елементах та перерізах не перевищують допустимих за розрахунком. Відсутні дефекти та пошкодження, які перешкоджають нормальній експлуатації або знижують несучу здатність або довговічність	Потрібно забезпечити нормальну експлуатацію конструкції
II Задовільний	За несучою здатністю та умовами експлуатації конструкції відповідають стану I. Мають місце дефекти та пошкодження, які можуть знизити довговічність конструкції.	Потрібні заходи щодо захисту конструкції
III Непридатний для експлуатації	Конструкція перевантажена або мають місце дефекти та пошкодження, що свідчать про зниження її несучої здатності	Необхідне підсилення на основі розрахунків і аналізу пошкоджень
IV Аварійний	Те саме, що і за станом конструкцій III. Але на основі розрахунків та аналізу дефектів і пошкоджень неможливо гарантувати цілісність конструкцій на період підсилення, особливо, якщо можливий «крихкий» характер руйнування.	Необхідно вжити таких заходів безпеки: вивести людей із зони можливого обвалення; виконати негайне розвантаження

ТС конструкцій визначається шляхом аналізу дефектів, пошкоджень та результатів перевірочних розрахунків. Згідно з [72] для вирішення питань щодо визначення ТС (ступеня фізичного зношення), аварійності, класу наслідків (відповідальності), ступеня вогнестійкості об'єкта нерухомого майна, а також

визначення пошкоджень та руйнувань об'єкта і його конструктивних елементів та причин їх виникнення експерту необхідно обробити проектну документацію на будівництво об'єкта, документ про приймання його в експлуатацію, матеріали технічної інвентаризації, акти і звіти попередніх обстежень та досліджень, тощо.

Матеріали щодо оцінок ТС об'єктів та їх конструкцій містять значну частину текстової інформації, що супроводжується фотографіями та схемами [44, 73, 74, Додаток В], які використовуються при проведенні БТЕ (рис. 1.4 – 1.8).

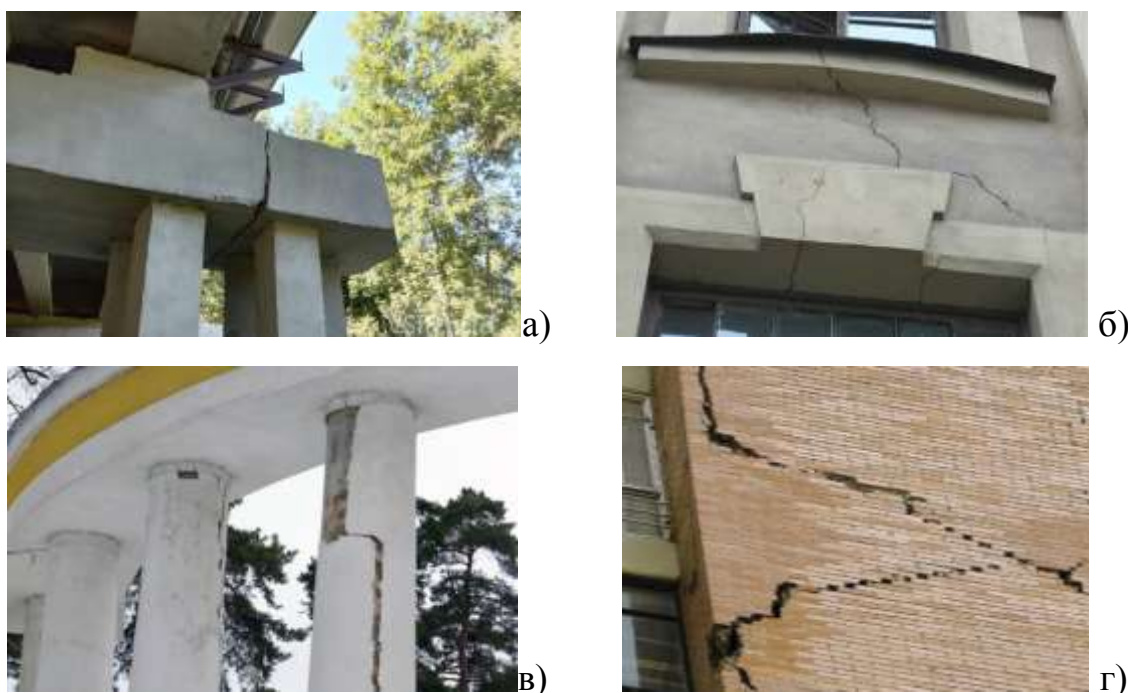


Рис. 1.4. Приклади характерних пошкоджень будівельних конструкцій, що найбільш вразливі до резонансу навантажень: а – розтріскування балочної конструкції споруди інженерно-транспортної інфраструктури; б – різнонаправлені тріщини простінку будівлі з тривалим строком експлуатації з виключенням жорсткісних зв'язків перекриття; в – розтріскування та відшарування захисного шару колон; г – різнонаправлені тріщини зовнішнього шару опорядження самонесучої стіни багатоповерхового будинку



Рис. 1.5. Фрагмент щільної забудови в охоронній зоні транспортних магістралей (м. Київ)

До основних питань, БТЕ належить визначення [66, Додаток Б]:

- технічного стану будівель, споруд та інженерних мереж;
- причин пошкоджень та руйнувань БіС та їх елементів;
- вартості будівельних робіт, що пов'язані з переобладнанням, усуненням наслідків залиття, пожежі, стихійного лиха, механічного впливу тощо.

Вирішення основних питань, БТЕ потребує проведення теоретичних та експериментальних досліджень:

- моделей і методів оцінки ТС об'єктів будівництва;
- моделювання впливу зовнішнього середовища на ТС об'єкта БТЕ.

Особливо нагальним моделювання впливу зовнішнього середовища на ТС об'єкта БТЕ стає при розробці рекомендацій щодо експлуатації ОБ, які потрапляють в зону будівельної діяльності та впливу новобудови, або/та в

будуються чи експлуатуються в охоронній зоні магістралей швидкісного рейкового транспорту (рис. 1.6 – 1.8, Додаток В).



а)



б)

Рис.1.6. Приклад розташування: а – модернізованої лінії швидкісного трамваю в кварталах багатоповерхової забудови з тривалим строком експлуатації (м. Київ);  
б – громадської будівлі в охоронній зоні лінії трамваю (м. Одеса)



Рис.1.7. Приклад розташування лінії швидкісного трамвая в будівлі (м. Київ)



Рис.1.8. Законсервоване будівництво в охоронній зоні залізниці (м. Львів)

Перелік питань, які вирішуються експертами в процесі ТС будівлі, споруди або окремих елементів об'єктів нерухомого майна, конструкцій, інженерних мереж, квартир, приміщень, оздоблення також часто містить питання щодо відповідності [Додатки Б, В]:

- розробленої проектно-кошторисної документації вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (якщо не відповідає, то в чому полягають невідповідності?);

- виконаних будівельних робіт проектній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (якщо не відповідають, то в чому полягають невідповідності?);

- об'єктів (БіС) проектно-технічній документації на їх будівництво (ремонт, реконструкцію) вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (якщо не відповідають, то в чому полягають невідповідності?).

- виконаних будівельних робіт (або окремих елементів об'єктів нерухомого майна, конструкцій, виробів, матеріалів тощо) проектно-технічній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (якщо не відповідають, то в чому полягають невідповідності?);

- первинної звітної документації (форми КБ-2в, КБ-3 тощо) з будівництва (ремонт, реконструкції) за порядком складання і наведеними розрахунками вимогам нормативно-правових актів [58, 59] у галузі будівництва (якщо не відповідає, то в чому полягають невідповідності?);

- технічного стану (табл. 1.2, 1.3) об'єкта нерухомого майна (будівлі, споруди тощо);

- групи капітальності (табл. 1.1), ступінь вогнестійкості), тощо;

- пошкоджень об'єкта (будівлі, квартири, приміщення, оздоблення), що виникли внаслідок механічного впливу (рис 1.4), стихійного лиха, просідання ґрунту на підроблюваних територіях, заливтє, пожежі, тощо;

- технічної причини пошкоджень та руйнувань об'єкта нерухомого майна (елементів, конструкцій, інженерних мереж тощо);

- вартості ремонтно-будівельних робіт, проведення яких необхідне для усунення пошкоджень унаслідок залиття, пожежі, стихійного лиха, механічного впливу (рис 1.4), просідання ґрунту тощо;

- розміру завданої матеріальної шкоди об'єкту (будівлі, квартирі, приміщенню, оздобленню тощо) унаслідок його залиття, пожежі, стихійного лиха, механічного впливу (рис 1.4), просідання ґрунту;

- міри приналежності БіС до категорії ТС «аварійний».

Схему процесу експертної оцінки технічного стану ОБ з експлуатаційними дефектами і пошкодженнями показано на рис. 1.9.



Рис.1.9. Схема процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва з експлуатаційними дефектами і пошкодженнями

Аналіз діючої методики оцінки ТС будівельних об'єктів показав, що експертна оцінка ТС конструкцій з накопиченим фізичним зносом і оцінка ТС об'єкта в цілому супроводжується ризиками прийняття неадекватних рішень, які можуть бути спричинені [44, 65]:

- суб'єктивним неврахуванням критичного дефекту;
- суб'єктивним урахуванням несуттєвого дефекту;
- похибкою віднесення до певного ТС на межі характеристичних показників наявних дефектів і пошкоджень конструкцій;
- помилковим віднесенням до певної категорії конструкції з дефектами;

– неврахуванням *нелінійного впливу* некритичних дефектів як причини переходу об'єкта в *аварійний стан*.

Таким чином, автоматизація процесу проведення БТЕ потребує розробки і впровадження в процес проведення БТЕ спеціалізованих інтелектуальних інформаційних систем підтримки експертних рішень. Серед основних вимог до таких систем є здатність до розв'язання задачі нечіткої класифікації ОБ, що експлуатуються в умовах накладання вібродинамічних навантажень і впливів від різних джерел. Окрім того, кожне з питань БТЕ має особливості, що впливають на вибір вхідних даних і системи правил для оцінки ТС об'єкта експертизи, а також відображаються на вимогах до методів і засобів діагностики. Це означає, що достовірною оцінкою технічного стану ОБ в першу чергу потребує застосування надійних методів і засобів отримання та обробки відповідної інформації.

Проведені в [23, 44, 75, 76] дослідження існуючої забудови території України показали, що основною його особливістю є значна різноманітність ОБ, що призначені для довгострокової експлуатації в різноманітних умовах. Завдання забезпечення відповідних вимог стосовно придатності цих ОБ до експлуатації, їх надійності та безпеки в умовах зростаючого фізичного і морального зносу вимагає проведення БТЕ різного характеру.

### **1.3. Нечітко-множинний підхід до автоматизації процесу експертної оцінки технічного стану об'єктів будівництва**

Експертний підхід до оцінки ТС об'єктів будівництва ґрунтується на правилах, що містяться в нормативних документах, та врахуванні ступеня відхилення класифікаційних ознак діагностичних параметрів від їх нормативних значень та особистих знань експертів [2, 72]. Проте, спеціальні знання експертів можуть бути не достатньо формалізованими. При цьому, експерти можуть визначати категорію технічного стану ОБ, конструктивним елементом якого характерний певний перелік дефектів і пошкоджень, та робити прогноз розвитку процесів деградації використовуючи особистий досвід і знання, що ґрунтуються на евристичних, які були набуті при дослідженні різних ОБ в різних умовах



експлуатації. Як наслідок – формування висновків ґрунтується на аналізі позитивного чи негативного досвіду попередніх БТЕ.

Основні етапи проведення БТЕ відображено на рис. 1.10.



Рис.1.10. Основні етапи проведення будівельно-технічних експертиз

Правила для оцінки ТС конструкцій визначаються ступенем зниження їх несучої здатності конструкцій (табл.1.3) з урахуванням впливу як внутрішніх, так і зовнішніх факторів середовища [2, 68, 72]. Категорія ТС кожного конструктивного елемента визначається сукупністю виявлених пошкоджень і дефектів (табл.1.2) згідно з відповідними нормативно-правовими актами.

Характерні особливості процесу отримання вхідних даних при обстеженні ТС будівельних конструкцій описано в роботі [2, 5, 58, 59]. Але, оцінка технічного стану ОБ в цілому потребує застосування іншої системи правил, які визначаються ступенем зниження несучої здатності конструкцій з урахуванням впливу різних факторів середовища в кожному окремому випадку.

Правила для оцінки ТС об'єкта в цілому визначаються сукупністю виявлених пошкоджень або категоріями ТС конструктивних елементів, типом конструкцій, видом їх з'єднань та категоріями відповідальності конструкцій чи елементів залежно від наслідків їх відмови (табл.1.1). При цьому, рекомендації щодо подальшої експлуатації ОБ [40, 66, 75] передбачають прогнозування характеру розвитку та ступеня небезпеки виявлених ознак деградації на будь-який, наперед заданий період часу.

Прогнозування ймовірних наслідків виявлених відхилень, як і прийняття рішень щодо подальшої експлуатації ОБ, потребують застосування іншої системи правил, вибір яких в кожному окремому випадку є однією з проблем. Ступінь цієї проблеми залежить від рівню та характеру невизначеності, що притаманна середовищу, в якому експлуатується об'єкт БТЕ [65, 77 – 79]. Саме тому, в роботі при формуванні моделі БТЕ, значна увага приділяється дослідженою та систематизації пошкоджень конструктивних елементів, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, а також характеристик навантажень на основу БіС, що опинились в зоні впливу магістралей наземного рейкового транспорту (рис.1.5 – 1.7).

Для збереження, накопичення та узагальнення правил, що формуються та використовуються експертами в процесі оцінки ТС різноманітних БіС чи їх конструктивних елементів розробляються інформаційні інтелектуальні системи, в основу яких покладено СНВ. Питання застосування нечіткої логіки та нечіткого виведення, що надають змогу формалізувати спеціальні експертні знання та створювати інтелектуальні системи оцінки технічного стану ОБ, досліджуються в роботах [32, 78, 79].

*Система нечіткого виведення* – система управління, що базується на нечіткій логіці [80 – 82].

*Нечітке виведення* – процес одержання логічних висновків із вхідних даних за заданими нечіткими правилами [79, 83 – 87].

По своїй суті нечітке виведення схоже на «чорну скриньку», на вході і виході якої числові показники, а зв'язок між вхідними і вихідними величинами

визначається експертами з використанням апарату нечіткої математики. Таким чином, в основу роботи СНВ (рис.1.11) замість математичної моделі покладено інтегровані знання експертів [31, 80, 87 – 89].

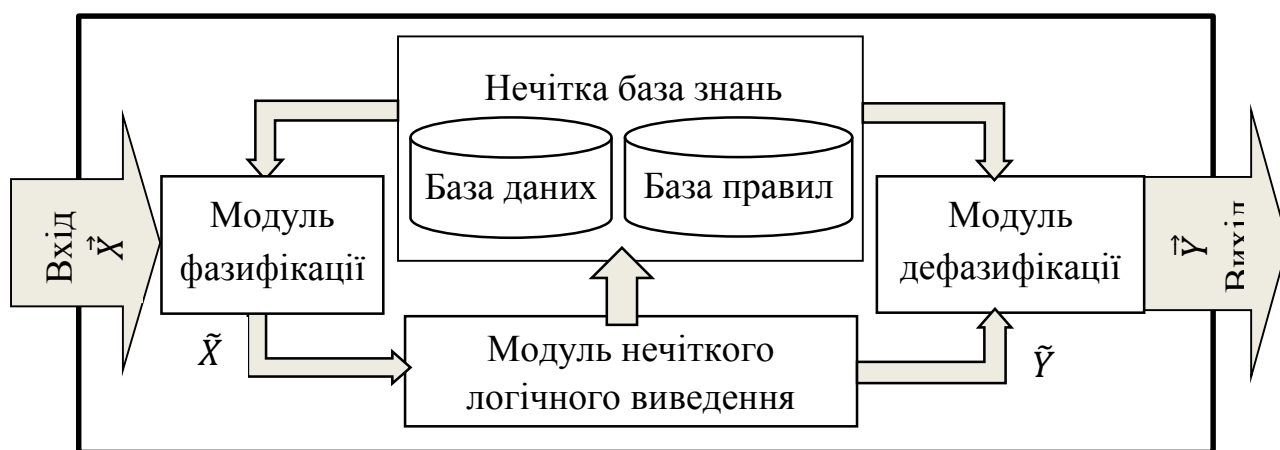


Рис.1.11. Модель системи нечіткого виведення

$\vec{X}$  являє собою вектор нечітких множин, що необхідні для виконання нечіткого логічного виведення [90 – 92].

Виходом СНВ [65, 74], що розробляються для оцінки технічного стану ОБ, зазвичай, є лінгвістична оцінка  $LY$  ( $\vec{Y}=\{y_1, y_2, y_3, y_4\}$ ), що характеризується набором термів (табл.1.3): нормальний ( $T_{Y_1} = N$ ), задовільний ( $T_{Y_2} = 3$ ), непридатний до нормальної експлуатації ( $T_{Y_3} = Ne$ ), аварійний ( $T_{Y_4} = A$ ).

Задачі оцінки ТС конструктивного елемента відповідає відображення типу [32, 75, 93, 94]:

$$\vec{X} = \{x_1, \dots, x_n, \dots, x_N\} \rightarrow y \in \vec{Y} = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}, \quad (1.1)$$

де  $\vec{X}$  – вектор вхідних даних, які визначають ТС об'єкта будівництва –  $\vec{Y}$ ;  $\vec{Y}$  – нечітка множина вихідної змінної.

Множина параметрів, що характеризують ТС конструктивного елемента, задається набором  $x_1, \dots, x_n, \dots, x_N$ , які є суттєвими в кожному окремому випадку. Кожному параметру  $x_n$  ставиться у відповідність лінгвістична змінна, що містить відповідний набір термів для лінгвістичної оцінки  $L_n = \{T_{n,j}, j = 1, 2, \dots, k\}$

параметра. Кожен із термів являє собою нечітку множину, що характеризує відповідний вхідний параметр  $x_n$ .

В даний час визначення суттєвих параметрів для оцінки ТС об'єкта виконується експертами. Проте, зі зростанням попиту на унікальні БіС, які експлуатуються в складних умовах накладання навантажень і впливів різного характеру; появою нових будівельних матеріалів і технологій будівництва зростає попит на автоматичні системи моніторингу ТС конструкцій та елементів різних категорій відповідальності залежно від умов їх експлуатації та наслідків, що можуть бути викликані їх відмовою.

В свою чергу, вдосконалення інформаційних систем і технологій, що здатні маніпулювати нечіткою інформацією, надає можливості суттєво скоротити час проведення діагностики та збільшити достовірність оцінки ТС об'єктів будівництва різної категорії складності.

Вирішення цієї задачі потребує впровадження в процес проведення БТЕ:

– різноманітних приладів і засобів інструментального обстеження і моніторингу вхідних параметрів, які в різних умовах експлуатації об'єктів будівництва надають можливість отримувати інформацію щодо їх ТС;

– новітніх інформаційних та інтелектуальних систем і технологій, що здатні автоматично обробляти нечіткі динамічні вхідні дані.

Ці вимоги стали вирішальними при виборі СНВ для подальших досліджень.

Множина правил  $\{P_{ij}, j = 1, 2, \dots, N\}$ , які завантажуються в базу правил нечіткої бази знань СНВ (рис.1.11) для подальшого використання в модулі нечіткого виведення, формується експертами згідно з відповідними нормативно-правовими актами. Таким чином нечітка база знань СНВ відображає знання експертів, які накопичуються при вирішенні різних питань БТЕ з визначенням категорії технічного стану ОБ.

Правила задаються на декартовому добутку носіїв вхідних і вихідних даних і можуть бути представлені у вигляді продукційних моделей [32, 94]:

$$(i); Q: P; A_1, \dots, A_n, \dots, A_N \rightarrow B_1, \dots, B_k, \dots, B_K; N, \quad (1.2)$$

де  $i$  – ім'я продукції;  $Q$  – елемент, що характеризує сферу застосування продукції;  $A_n$  –  $n$ -та ( $n=1, \dots, N$ ) умова правила;  $B_k$  –  $k$ -тий ( $k=1, \dots, K$ ) висновок правила;  $A_1, \dots, A_N \rightarrow B_1, \dots, B_K$  – ядро продукції;  $P$  та  $N$  – умова застосовності ядра та постумови продукції.

Правила типу (1.2) відображають питання ( $P$ ), що потребує проведення БТЕ і передбачає оцінку ТС об'єкта експертизи, та інформацію щодо істинності ( $N$ ) висновків БТЕ, яка набувається в процесі подальшої експлуатації ОБ.

Ядро продукції може бути формалізовано у вигляді [75, 80, 87]:

$$\text{«якщо } x \in A, \text{ то } y \in B\text{»}, \quad (1.3)$$

де:  $x$  – вхідна змінна, що задана на області визначення нечіткого правила  $X$ ;  $y$  – вихідна змінна, що задані на області визначення виведення  $Y$ ;  $A$  – висловлювання, що визначене на  $X$  з мірою приналежності  $\mu_A(x) \in [0, 1]$ ;  $B$  – висловлювання, що визначене на  $Y$  з мірою приналежності та  $\mu_B(y) \in [0, 1]$ .

В таблиці 1.4 надано відомості щодо основних видів функції приналежності.

Таке представлення знань дозволяє описувати інформацію, яка міститься в матеріалах БТЕ, за допомогою лінгвістичних змінних, нечітких множин і нечітких правил у вигляді, прийнятному для обробки комп'ютеризованими системами, що суттєво спрощує обробку матеріалів типових БТЕ, на основі яких виконується оцінка категорії ТС об'єктів експертом-людиною [65, 94].

Функції приналежності для вхідних ( $\mu_a(x)$ ) і вихідних ( $\mu_b(y)$ ) містяться в базі даних СНВ. Моделювання на основі нечітких баз знань здійснюється модулем нечіткого виведення СНВ (ри.1.12). При цьому: за допомогою операцій над нечіткими множинами з блоку фазифікації та нечіткими множинами із відповідних правил визначаються міри приналежності (табл. 1.4) нечітких імплікацій  $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$ .

Основні алгоритми нечіткого виведення складаються з етапів [80, 82]:

1. Формування бази правил СНВ [32, 84 – 86, 89, 95, 96].

Принцип формування бази правил  $\{P_{ij}, j = 1, 2, \dots, N\}$  нечіткої бази знань СНВ, що відтворюють нечіткі логічні міркування експертів в процесі оцінки ТС

будівельних конструкцій при вирішенні завдань забезпечення надійності та експлуатаційної придатності БіС, детально описано в роботах [32, 65, 74, 97].

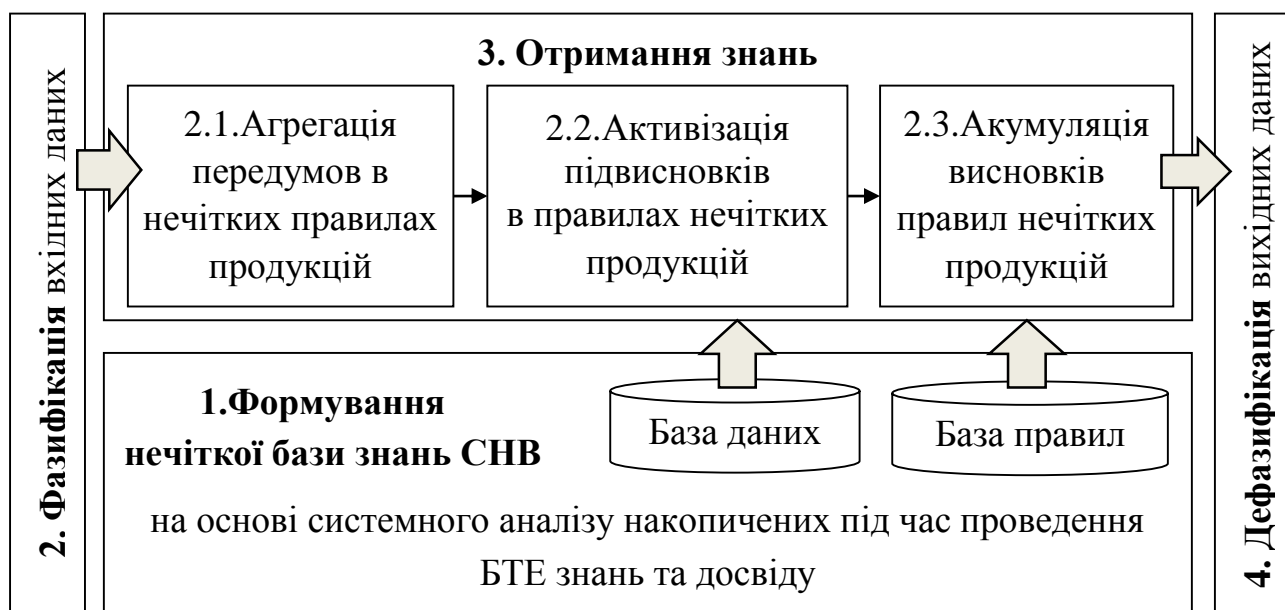


Рис.1.12. Схема процесу нечіткого виведення

Система нечітких правил має бути повною. Така умова передбачає існування хоча б одного правила для кожного терму вхідної та вихідної лінгвістичної змінної. Максимальна кількість правил визначається умовою  $N_{\max} = \prod_{i=1}^n m_i$ . До системи правил входять всі можливі комбінації термів лінгвістичних змінних для всіх вхідних параметрів, що зв'язані логічними операціями кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення.

## 2. Фазифікація входів [90, 91].

Процедура фазифікації – визначення функцій приналежності чітких вхідних величин  $\vec{X}$  (табл. 1.4) кожного правила (передумов), тобто при фазифікації чіткого входу  $x_n$  визначаються міри приналежності кожному терму лінгвістичної змінної  $L_n$ . Таким чином, вхідна величина  $x_n$  є нечіткою множиною  $M_n(x; \mu(x))$  з мірою приналежності, яка може визначатись формулами з табл.1.4 [98].

## 3. Отримання знань [80, 94, 98].

3.1. Агрегація передумов в нечітких правилах продукцій полягає у визначенні рівнів «відсікання» умов нечітких правил. Правила, міри приналежності умов яких

відмінні від нуля вважаються активними і використовуються для подальших маніпуляцій.

Для визначення результату кон'юнкції/диз'юнкції застосовується операція знаходження мінімуму/максимуму мір приналежності (4) відповідних нечітких множин [80, 90, 99].

2.2. Активізація підвисновків в правилах нечітких продукцій полягає у визначенні «усічених» функцій приналежності.

2.3. Акумуляція висновків правил нечітких продукцій полягає у визначенні міри приналежності підумов і здійснюється за допомогою операцій над нечіткими множинами, що отримані в результаті фазифікації вхідних змінних і нечітких множин з відповідних правил.

В моделі Сугено акумуляція висновків правил нечітких продукцій фактично відсутня, оскільки розрахунки виконуються з дійсними числами [98, 100 – 103].

4. Дефазифікація виходів [79, 86, 99].

На етапі дефазифікації нечіткі дані, що отримані в результаті застосування нечітких правил в модулі нечіткого виведення, перетворюються на чіткі величини. В різних моделях СНВ алгоритми нечіткого виведення розрізняються за видом логічних операцій, видом правил і методами дефазифікації [103 – 105].

За принципом формування виходу СНВ поділяються на три типи [103, 106 – 108]:

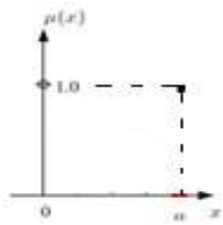
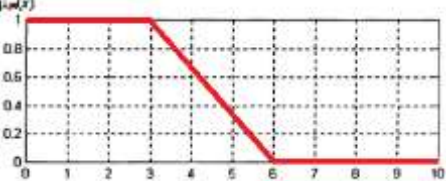
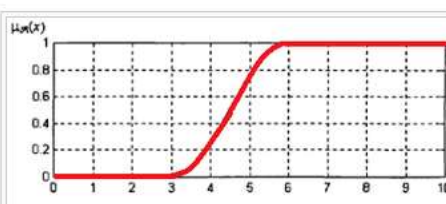
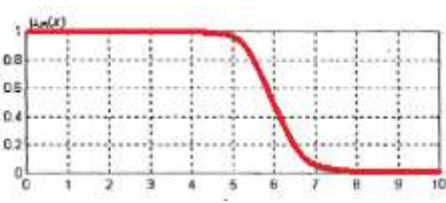
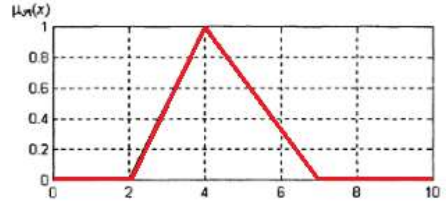
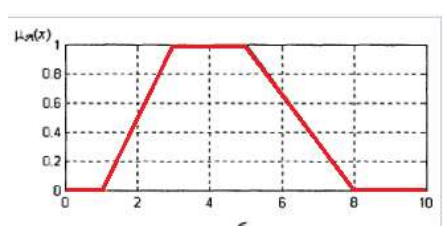
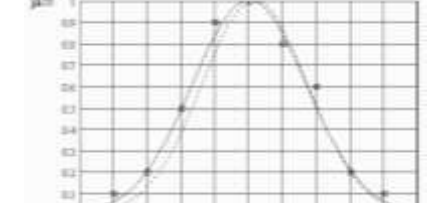
– в СНВ першого типу вихідне значення знаходиться як зважене середнє результатів виконання кожного правила; дефазифікація здійснюється окремо для кожного правила; вихідні функції мають бути монотонності і не спадання ;

– в СНВ другого типу вихідне нечітке значення являє собою результат об'єднання нечітких виходів кожного правила; кожний нечіткий вихід зважено за допомогою ваг спрацьовування правил; чітке вихідне значення знаходиться в результаті дефазифікації об'єднаного нечіткого виходу;

– в СНВ третього типу вихідне значення є лінійною комбінацією вхідних значень плюс деяка константа; загальний вихід є середнім зваженим всіх правил.

Таблиця 1.4

## Інтерпретація функцій приналежності

Назва	Аналітичний вигляд функції приналежності (№ формули)	Графік функції приналежності
Чітка	$f_1(x; a) = \begin{cases} 1, & x = a \\ 0, & x \neq a \end{cases} \quad (1.4)$	
Z-подібна	$f_z(x; a; b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases} \quad (1.5)$	
Сигмїд, сплайн,	$f_{s_1}(x; a; b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-b}{b-a} \pi\right), & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases}; \quad (1.6)$	
	$f_{s_2}(x; a; b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ (1-2)\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{d-x}{d-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & b \geq x \end{cases}; \quad (1.7)$	
Трикутна	$f_{\Delta}(x; a; b; c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}; \quad (1.9)$	
Трапецеївидна	$f_t(x; a; b; c; d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}; \quad (1.10)$	
Гаусова	$f_{\Gamma}(x; \sigma; c) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right); \quad (1.11)$	



Дефазифікація в моделях нечіткого виведення Мамдані, Ларсена, Цукамото та Сугено виконується згідно (1.12) – (1.15), відповідно [98, 102, 108]:

$$y_0 = \frac{\int_{\Omega} y \cdot \mu_{\Sigma}(y) dy}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(z) dz}; \quad (1.12)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n c_i A_i B_i}{\sum_{i=1}^n A_i B_i}; \quad (1.13)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n c_i * w_i}{\sum_{i=1}^n c_i}; \quad (1.14)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{j=1}^n y_j \cdot \alpha_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j}. \quad (1.15)$$

де  $y$  – ім'я змінної виводу;  $y_0$  – чітке значення змінної виводу;  $\mu_{\Sigma}$  – міра приналежності вихідного правила;  $A_i$  та  $B_i$  – рівень «відсікання» функцій приналежності умови та «усічена» функція приналежності  $i$ -го нечіткого правила;  $c_i$  – значення вихідної лінгвістичної змінної  $w_i$ ;  $n$  – загальна кількість активних правил, в під висновках яких присутня лінгвістична змінна –  $w_i$ ;  $\alpha_j$  – фінальне значення  $j$ -го правила.

Кожне правило в моделях зазначеного типу будується у вигляді (1.3).

Правила в моделях Мамдані та Цукамото мають зображення [32, 90, 109]:

$$P_j: \text{if } (L_1 \text{ is } T_{1,j}) \wedge (L_2 \text{ is } T_{2,j}) \wedge \dots \wedge (L_n \text{ is } T_{n,j}) \text{ then } (LY \text{ is } TY_j), \quad (1.16)$$

де  $L_n$  – лінгвістична оцінка параметра  $x_n$  в рядку з номером  $j$  ( $p = \overline{1, k_j}$ );  $k_j$  – кількість рядків-кон'юнкцій, в яких вихід  $y$  оцінюється лінгвістичним термом  $T_j$ ;  $TY_j$  – нечіткі множини для вихідної лінгвістичної змінної, що використовуються в  $j$ -му правилі;  $T_{n,j}$  – нечіткі множини вхідних величин лінгвістичних змінних.

Дефазифікація найчастіше виконується за (1.12) при умові:  $\Omega = [y_{min}; y_{max}]$ .

СНВ типу Мамдані знайшла своє застосування в автоматизованих експертних системах діагностики ТС будівельних конструкцій [65, 79, 110, 111], проте, задача інтерпретації динамічних стохастичних вхідних даних потребує застосування бази правил, які будуть відображати функціональну залежність між вхідними і вихідними даними.

Моделі Ларсена і Сугено перетворюють чіткі входи на чіткі виходи використовуючи чіткі вхідні величини, лінгвістичні змінні та нечіткі множини. При цьому можливість представити вихід СНВ у вигляді функцій від вхідних значень надає моделі Сугено суттєву перевагу при вирішенні задачі діагностики ТС об'єктів будівництва з використанням технічних засобів отримання первинної інформації щодо параметрів, які визначають категорію ТС.

Правила в моделі Сугено мають такий вид [98, 107]:

$$P_j: \text{if } (x_1 \text{ is } T_{1,j}) \wedge (x_2 \text{ is } T_{2,j}) \wedge \dots \wedge (x_n \text{ is } T_{n,j}) \text{ then } (y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)). \quad (1.17)$$

Вихід СНВ залежить від її структури, тобто від бази знань і параметрів:

- функцій приналежності;
- реалізацій логічних операцій;
- метода дефазифікації;
- коефіцієнтів лінійних функцій у висновках правил моделі типу Сугено.

Аналіз правил, які використовуються для ідентифікації категорій ТС будівельних конструкцій експертами, показав, що для інженерії правил, згідно з якими здійснюється оцінка ТС конструкцій, більш раціональними будуть нечітка імплікація Мамдані або Ларсена [75, 83, 112]:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}; \quad (1.18)$$

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y). \quad (1.19)$$

В [69, 70, 110, 113 – 115] досліджені моделі і методи обробки експериментальних результатів роботи існуючих експертних систем, що призначена для проведення обстеження технічного стану ОБ. Аналіз роботи цих систем показав, що надійність оцінки ТС конструкції і точність ідентифікації дефектів залежить від:

- набору параметрів, які фіксуються на кожному з етапів обстеження;
- моделей, на основі яких реалізується нечіткий вивід в системах правил нечітких продукції.

При проведенні БТЕ будівель і споруд, які не мають достатньо досліджених аналогів, достовірні оцінки ТС, фізичного зносу, залишкового ресурсу та інших

експлуатаційних характеристик ОБ потребують виконання розрахунків. У зв'язку з цим, особливе місце при вирішенні задач формування та узгодження правил для оцінки ТС об'єктів будівництва з пошкодженнями займає автоматизація процесу оцінки шляхом впровадження спеціальних діагностичних систем і розрахункових програмних комплексів (ПК), використання яких дозволить суттєво зменшити ризик прийняття необ'єктивних рішень на стадії експлуатації об'єкта.

## **Висновки до розділу 1**

1. Аналіз проблем забезпечення надійної та безпечної експлуатації будинків і споруд, які будуються та експлуатуються в умовах великих міст, показав, що серед явищ техногенного характеру, які суттєво впливають на технічний стан об'єктів особливе місце займають вібродинамічні навантаження від рейкового транспорту. При цьому оцінка міри впливу цих навантажень ускладнюється тим, що не існує чіткої границі між мірами впливу вібрацій від різних джерел.

2. Аналіз нормативно-правового забезпечення процесу проведення будівельно-технічних експертиз та діючої методики оцінки технічного стану об'єктів будівництва показав, що експертна оцінка технічного стану будівель і споруд, які мають накопичений фізичний знос і експлуатуються в умовах вібродинамічних навантажень рейкового транспорту супроводжується ризиками прийняття неадекватних рішень, які можуть бути спричинені низкою об'єктивних і суб'єктивних факторів. Тому основна увага приділялась теоретичному обґрунтуванню вибору моделі СНВ, що надає змогу автоматизувати оцінку нелінійного впливу суперпозиції різних факторів середовища на технічний стан об'єкта будівництва.

3. На основі проведеного аналізу моделей нечіткого виведення, що впроваджуються в сферу будівельно-технічних експертиз показано можливість використання систем нечіткого виведення типу Мамдані та Сугено для подальшого вирішення задач обробки нечітких експертних знань і автоматичної обробки стохастичних вхідних даних, що надходять від інструментальних засобів моніторингу, відповідно.

## **РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВІБРОДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

В розділі розглянуто існуючий стан та перспективне використання технологій інформаційного моделювання об'єктів будівництва. Проведено аналіз можливості впровадження існуючих розрахункових програмних комплексів в процес оцінки технічного стану ОБ, створених за ВІМ-технологією; досліджено існуючі математичні моделі та методи розрахунку динамічних відгуків будівельних конструкцій на сейсмічні та вібродинамічні транспортні навантаження; описано основні принципи реалізації «Pushover Analysis» в програмному комплексі «ЛІРА САПР»; проаналізовано результати чисельних експериментів, які отримані за різними методиками розрахунку сейсмічних навантажень; представлено огляд існуючих методів і засобів отримання вхідних даних для діагностики конструктивних елементів БіС та моніторингу навантажень і впливів зовнішнього середовища на ТС об'єктів; обґрунтовано доцільність вдосконалення процесу експертної оцінки технічного стану БіС в цілому шляхом впровадження інтелектуальних систем і технологій.

### **2.1. Існуючі засоби моделювання будівель і споруд**

Стрімке зростання продуктивності комп'ютерної техніки, новітнє програмне забезпечення, впровадження сучасних технологій проектування, будівництва та контролю, обумовлене значною складністю і глобалізацією завдань будівництва у сьогоденні, виводить на перший план технологію інформаційного моделювання [116 – 118].

У даний час проводяться різні дослідження, що спрямовані на розробку та впровадження в процес діагностики ОБ, які створені з використанням ВІМ. Найперспективнішими програмними середовищами на сьогоднішній день є Autodesk Revit [119], Graphisoft ArchiCAD [120], Nemetschek Allplan [121], ЛІРА САПР [122]. Ці ПК використовуються у всьому світі і кожен з них дозволяє

реалізувати роботу всіх служб забезпечення надійної експлуатації об'єктів будівництва в єдиній ВІМ [123 – 128].

Можливості моделювання БіС різного призначення і різної складності з використанням ВІМ показано на рис. 2.1 – 2.3.

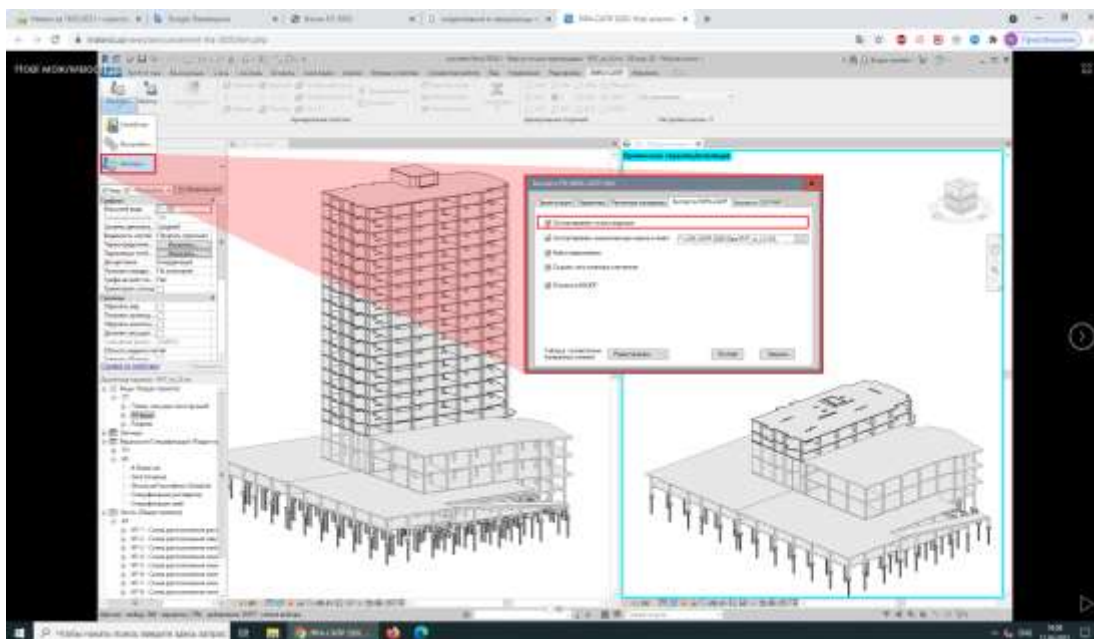


Рис.2.1. Приклад реалізації будівельного проекту з використанням ПК ЛІРА САПР

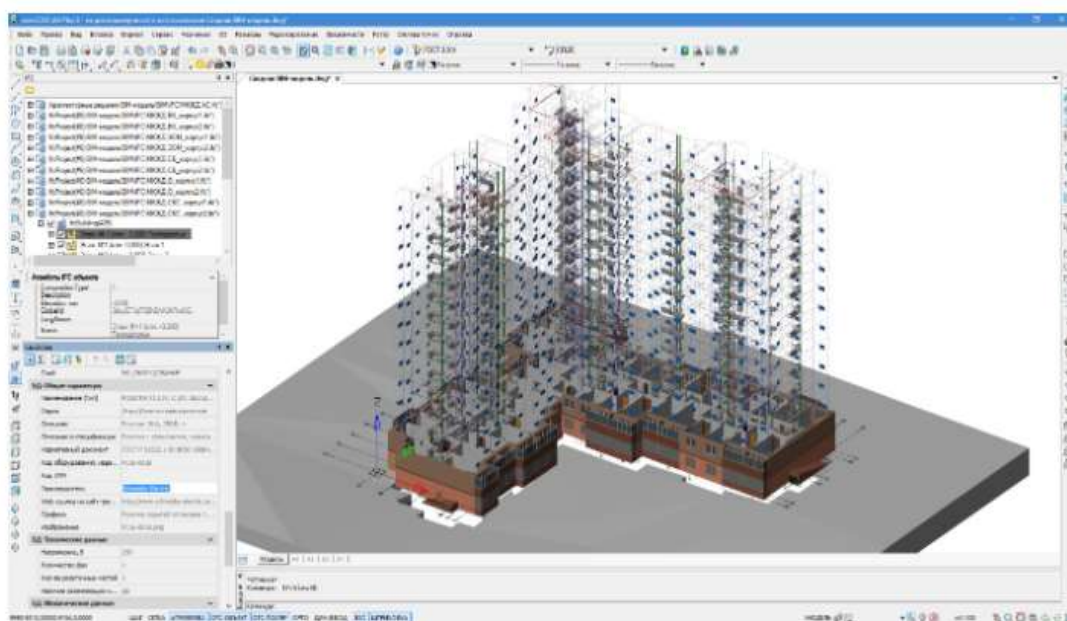
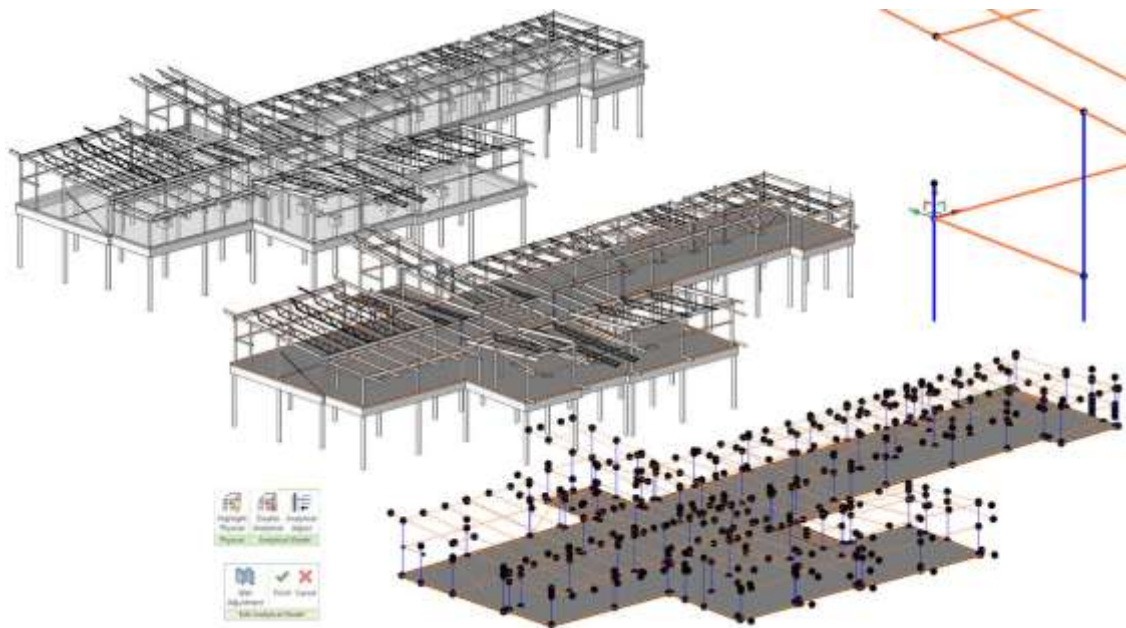
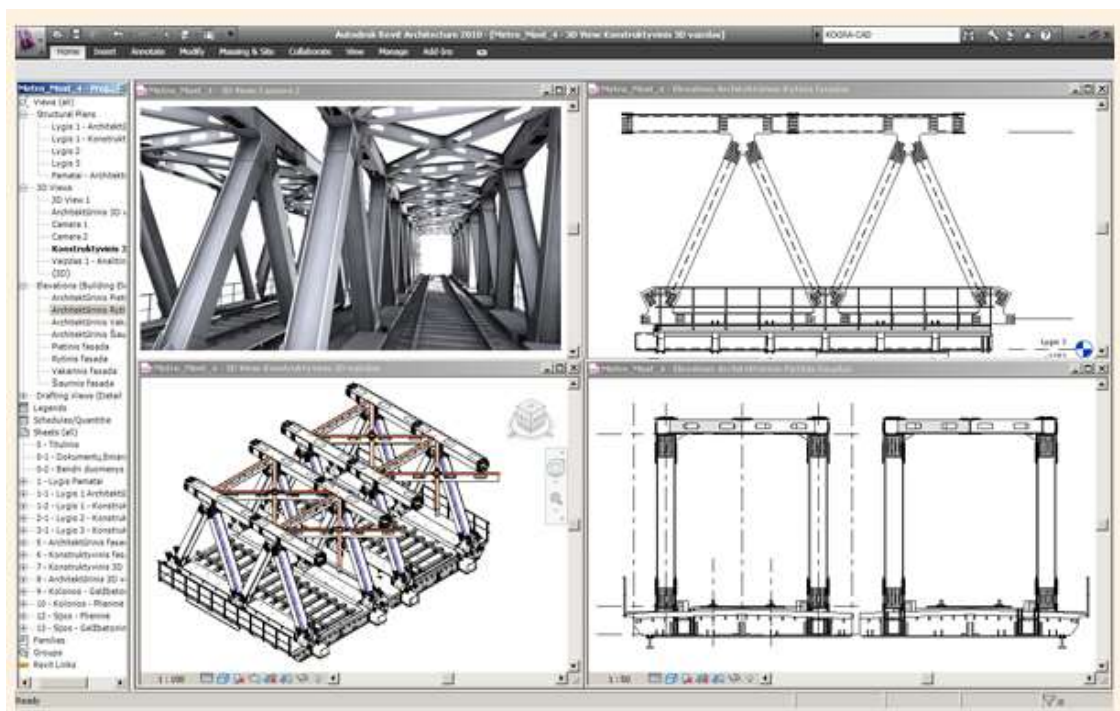


Рис.2.2. Приклад реалізації будівельного проекту з використанням NanoCAD



а)



б)

Рис.2.3. Приклад використання Autodesk Revit в процесах проектування (а); будівництва (б) залізничного моста

Практичний досвід втілення BIM-технології в різних країнах світу [129 – 133] підтверджує доцільність їх використання у проектуванні.

При цьому існує ряд труднощів, що супроводжують впровадження BIM-технологій в практику проведення БТЕ, а саме:

- достатньо висока вартість придбання необхідного обладнання та програмного забезпечення;
- невідповідність державних будівельних норм до міжнародних, особливо в частині оформлення проектної документації;
- відсутність бази та інструкцій з експертної перевірки проектних рішень у вигляді BIM;
- відсутність методичного забезпечення процесу проведення БТЕ з використанням новітніх інформаційних систем і технологій та дефіцит кадрів, підготовлених для роботи з BIM.

Незважаючи на це інтерес до інформаційного моделювання будівель на невпинно зростає завдяки перевагам BIM, що полягають в [125, 128]:

- значній економії витрат на етапі будівництва завдяки точності підрахунку об'ємів та своєчасному виявленню колізій на стадії проектування;
- підвищенні точності проектування та можливості роботи з візуалізаціями;
- скорочення втрат часу на узгодження рішень між різними розділами;
- оперативність внесення необхідних змін;
- забезпечення єдиного бачення цілей проекту всіма його учасниками;
- дотримання єдиного стандарту оформлення документації;
- скорочення тривалості виконання проектних робіт на 10-12%;
- зменшення трудових ресурсів за рахунок підвищення кваліфікації;
- підвищення іміджу компанії та можливість виходу на нові ринки.

Внаслідок невпинного впровадження BIM в процеси проектування та будівництва зростає попит на засоби інформаційної підтримки БТЕ.

Оскільки чинні ДБН України допускають проведення розрахунків ОБ на динамічні впливи різними методами [3, 134], а системи Allplan, ArchiCAD, Revit [120 – 122] пропонують в якості відкритої платформи зі своєю структурою даних, орієнтованою на будівельні елементи, базу для побудови та технічного обслуговування BIM, то експерти мають змогу вибирати програмне середовище

для моделювання впливу факторів середовища на їх ТС при узгодженні та застосуванні норм і правил оцінки ТС об'єктів будівництва (рис.1.10).

Модель являє собою доступний всім учасникам проекту, тип бази даних, який містить всі пов'язані з проектом або будівлею графічні геометричні та алфавітно-цифрові параметри і коди. Будь-які зміни і подальші етапи розвитку інтегруються в цю модель. Це досягається за рахунок засобів графічного і геометричного генерування, трансформації конструктивних і архітектурних елементів, та за рахунок додавання і налаштування інформації.

У своїй основі структура інформаційної моделі будівлі створюється в ході проектної роботи архітекторів, і, в подальшому, поєднує всі види корисної інформації і різного роду складові становлять собою єдиний комплекс:

- архітектура,
- конструкції,
- інженерні системи та обладнання ,
- будівництво і виробництво,
- *технічне обслуговування та управління нерухомістю.*

В ідеальному випадку з часом ВІМ зростає, одночасно з власним проектом, і являє собою другу, ідентичну з ним, існуючу віртуально, модель будівлі, в якій міститься вся інформація про реальний об'єкт. Таким чином забезпечується доступ до необхідних параметрів та іншої інформації проекту в цілому (рис.2.4).



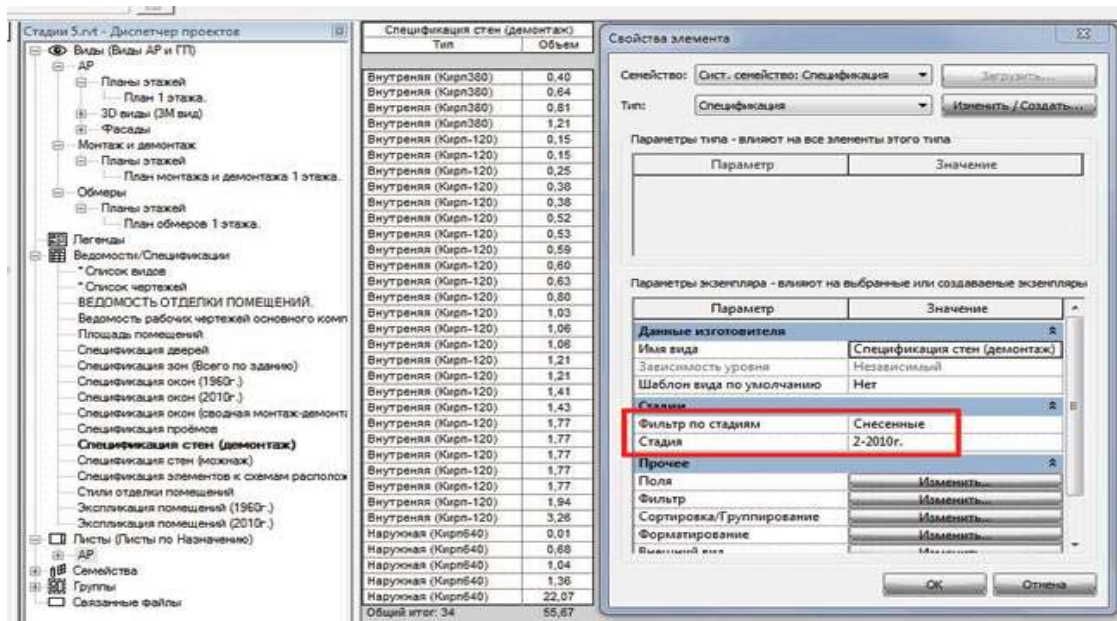


Рис.2.4. Стадійність в Autodesk Revit

Для експерта при проведенні БТЕ, передусім, важлива інформативність проекту. Адже основними чинниками, що уповільнюють роботу експерта є саме малоінформативні проекти і незручні растрові формати зображень, що спричиняє чисельні зауваження проектувальникам. Внаслідок цього експерт витрачає зайвий час на дослідження документації для визначення відповідності деяких пунктів. Існування ВІМ дозволяє значно скоротити час виявлення помилки в проекті.

Другий важливий момент – стикування розділів проектної документації між собою. При використанні традиційних методів проведення експертизи у експерта виникають питання через нестачу інформації. ВІМ знімає значну кількість цих питань і зауважень. Оскільки в ВІМ всі конструктивні елементи пов'язані між собою, то застосування фільтрів за стадіями (рис.2.4, 2.5) звільняє користувача від необхідності контролювати кожен елемент при зміні експлуатаційних характеристик одного з них [93].

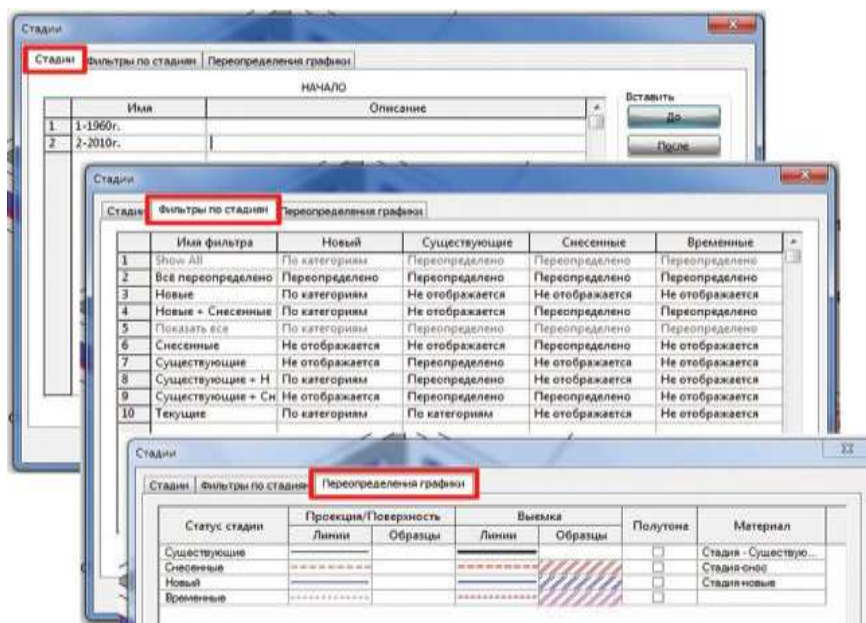


Рис.2.5. Приклад роботи стадійності в Autodesk Revit

До того ж, певні колізії можуть бути зняті ще на етапі проектування, тому в перспективі найближчих 3-5 років формування проектів буде відбуватися в BIM, яка вже буде містити в собі узгодження всіх нормативних вимог та експертні оцінки [134].

На рис.2.6 – 2.8 показано можливості програмного забезпечення Autodesk Revit та ЛРА САПР в процесі діагностики ТС об'єктів, які створені з використанням BIM, на етапі експлуатації.



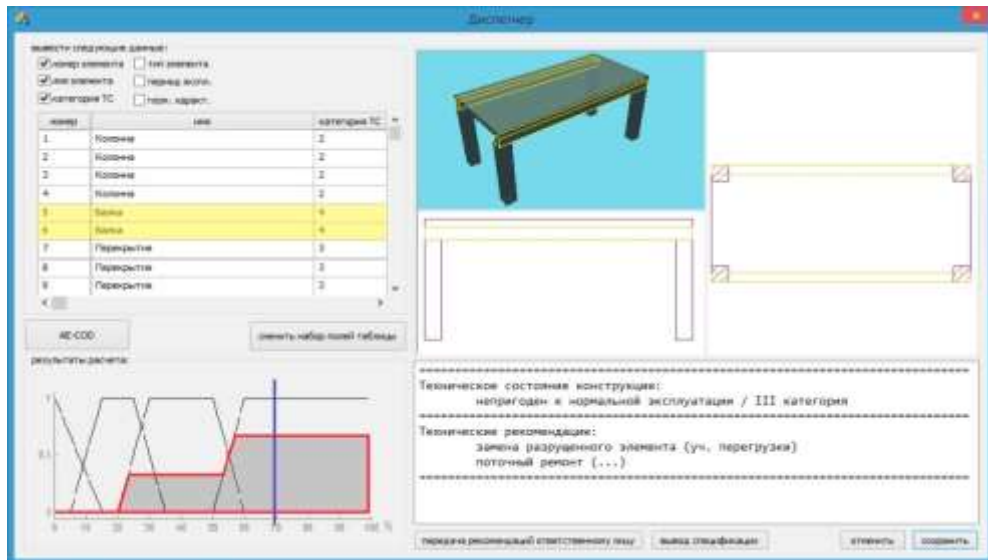


Рис.2.8. Приклад результату оцінки ТС будівельної конструкції

Таким чином, заміна натурних спостережень чисельним експериментом з моделлю ОБ дозволяє фахівцям неодноразово в широкому діапазоні змінювати вхідні параметри та умови функціонування БіС, замінюючи натурні дослідження чисельними експериментами з ВІМ, але потребує використання адекватних розрахункових моделей та методів для оцінки НДС об'єкта та моделювання впливу навантажень середовища на ТС об'єкта [93]. Окрім того, ВІМ надає експертам унікальні можливості по дослідженню проектної документації, що істотно скорочує час на експертизу проекту. Тому сьогодні експерти зацікавлені у впровадженні ВІМ в процес БТЕ. При цьому розробка відповідних галузевих законопроектів, що сприяють оновленню нормативної бази будівництва та визнанню підходу ВІМ-проектування в сфері архітектурно-будівельного нагляду і експертизи вирішується на державному рівні [123, 126, 128, 130, 134].

## 2.2. Аналітичні моделі та методи розрахунку відгуків будівельних конструкцій на динамічні навантаження і впливи середовища

Для розробки повної моделі напружено-деформованого стану об'єкта, необхідно врахувати всі фактори, що описують реальний ОБ.

Множина факторів, що описують реальний ОБ містить в собі:

– геометричні параметри, фізико-механічні властивості матеріалу;

- початкові напруження та деформації при зведенні об'єкта;
- достовірну інформацію щодо характеру та характеристик навантажень і впливів, які визначені з достатньою точністю.

До характерних прикладів навантажень і впливів на ТС об'єкта будівництва відносяться різні режими динамічного навантаження.

Розрахунки відгуків конструкцій на вібродинамічні навантаження середовища ґрунтуються на розв'язках неоднорідного диференціального рівняння руху конструкції [135]:

$$[K]\{U\} + [C]\{\dot{U}\} + [M]\{\ddot{U}\} = \{P(t)\}, \quad (2.1)$$

де  $\{U\}$ ;  $\{\dot{U}\}$ ;  $\{\ddot{U}\}$  – вектори вузлових переміщень, швидкостей і прискорень;  $\{P(t)\}$  – вектор вузлових навантажень;  $[K]$ ,  $[C]$ ,  $[M]$  – матриці жорсткості, демпфування та мас системи, відповідно.

Для гармонійного навантаження [10, 11, 13]:

$$P(t) = P_{i,t} \cos \theta t + P_{i,t} \sin \theta t, \quad (2.2)$$

де  $P_{i,t}$  – функція, що залежить від типу вузлових навантажень;  $t$  і  $\theta$  – час і частота зовнішніх вібрацій.

При гармонійному навантаженні характер поширення вібрації та реакція будівлі залежить не тільки від рівня та спектрального складу коливань, що передаються через ґрунт на основу об'єкта. Характер вимушених коливань будівлі залежить від динамічних характеристик несучих і огорожувальних конструкцій та конструктивної системи в цілому. Головним чином, це стосується частот власних горизонтальних коливань будівель і вертикальних коливань елементів перекриттів.

Сумарні по всім формам складові інерційних сил ( $S_i(t)$ ) залежать від співвідношення власних частот коливань конструкції ( $\omega_i$ ) та частот вібрацій зовнішнього навантаження ( $\theta$ ) [10, 11, 13]:

$$\alpha_i = \frac{\theta}{\omega_i}. \quad (2.3)$$

При динамічному розрахунку будівельних конструкцій частоти власних коливань конструкцій визначаються з системи рівнянь [10, 136]:

$$[K]\{\varphi\} - \lambda[M]\{\varphi\} = 0, \quad (2.4)$$

де  $\lambda$ ,  $\varphi$  – власні числа та власні вектори характеристичного рівняння.

Для розв'язання рівняння (2.1) існує метод ітерації підпросторів [10, 19]:

$$\{U\} = \sum_{i=0}^N y_i(t) \varphi_i, \quad (2.5)$$

де  $y$  – координати вузла моделі;  $\varphi_{\text{III}}$  – власні вектори характеристичного рівняння.

При умові ортогональності функції  $\varphi_i$  система (2.1) еквівалентна системі незалежних рівнянь руху вузлів моделі [17, 19, 137]:

$$\frac{d^2}{dt^2} y_i(t) + 2\xi_i \omega_i \frac{d}{dt} y_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = P_i(t), \quad y_i^0 = y_i(0), \dot{y}_i^0 = \dot{y}_i(0), \quad (2.6)$$

де  $\omega_i$  – власна частота коливань конструкції;  $\xi_i$  – коефіцієнт дисипації.

Розв'язок рівняння (2.6) має вигляд:

$$y_i = e^{-\xi_i \omega_i t} \left( \frac{\dot{y}_i^0 + y_i^0 \xi_i \omega_i}{\omega_i} \sin \bar{\omega}_i t + y_i^0 \cos \bar{\omega}_i t \right) + \frac{1}{\bar{\omega}_i} \int_0^t P_i(t) e^{-\xi_i \omega_i (t-\tau)} \sin \bar{\omega}_i (t-\tau) d\tau, \quad (2.7)$$

де  $\bar{\omega}_i = \omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2}$ .

Власні коливання системи відбуваються за ортогональними формами, тому розв'язок диференціальних рівнянь руху вузлів конструкцій доцільно розкласти за ортогональними формами.

При розкладанні коливань за власними формами, для кожної з форм обчислюються вектори інерційних сил [10]:

$$S_i(t) = \omega_i^2 y_i(t) M \varphi_i. \quad (2.8)$$

В загальному випадку амплітуда інерційних сил знаходиться за [10, 135]:

$$S_{i,0} = \max(|\omega_i^2 y_i(t)|). \quad (2.9)$$

В таблиці 2.1 надано приклади математичних моделей для розрахунку амплітуди інерційних сил різних видів навантаження [10].

До обмежень методу розкладання за ортогональними формами відноситься те, що цей метод розроблявся для лінійного розрахунку і не враховує принцип суперпозиції в рамках нелінійної теорії. Проте аналіз графіків переміщень контрольних точок будівлі, які отримані за результатами натурних спостережень, свідчать про можливість появи явища резонансу в діапазоні частот вібрацій від метро 20...70 Гц [16, 18]. Це означає, що імпульсне та ударне навантаження від будівельної діяльності поблизу магістралей рейкового транспорту може

спричинити розвиток негативних процесів, оцінка міри впливу яких на ТС об'єктів містобудування ускладнюється тим, що не існує чіткої границі між мірами впливу вібрацій від різних джерел, які передаються на будівельні конструкції через систему «грунт – основа – об'єкт».

Таблиця 2.1

Розрахункові моделі амплітуд інерційних сил для різних видів навантаження

Вид навантаження	Розрахункова модель	Позначення
Вітрове	$S_{i,0} = W_n \gamma_i$	$i$ – тип навантаження; $W_n$ – нормативне значення; $\gamma_i$ – коефіцієнт динамічності, що залежить від швидкості вітру, коефіцієнта дисипації та частот коливання конструкції;
Сейсмічне	$S_{i,0} = A \beta_i$	$A$ – відносне прискорення; $\beta_i$ – коефіцієнт динамічності, що залежить від частот власних коливань і коефіцієнта дисипації;
Імпульсне та ударне	$S_{i,0} = \varepsilon_i P_i \psi$	$\varepsilon_i$ – коефіцієнт, що залежить від тривалості дії імпульсу та частот коливання конструкції; $\psi$ – параметр, який враховує вид коливань і періодичність навантажень.

Типовий сигнал періодичних відгуків від неоднорідностей в рейці залізничного транспорту, що фіксуються вагонами-дефектоскопами [138], показано на рис.2.9.

На рис.2.10 показано вид характерної залежності амплітуди сигналу, що реєструється дефектоскопом, від часу при різних швидкостях потягу [139].

Заміна натурних спостережень чисельним експериментом з інформаційними моделями БіС дозволяє фахівцям неодноразово в широкому діапазоні частот і амплітуд змінювати вібродинамічні навантаження середовища та інші умови функціонування системи «наземна частина будівлі – основа – грунт – плеті з рухомим поїздом», замінюючи натурні дослідження чисельними експериментами з

інформаційними моделями будівлі. При цьому існує можливість переоцінювати напружено-деформований стан конструкцій з урахуванням їх фізичного зношення, а чисельне моделювання з застосуванням різних програмних комплексів надає можливість неодноразово відтворювати різні умови функціонування складної системи «джерело навантажень – ґрунт – основа – ОБ».

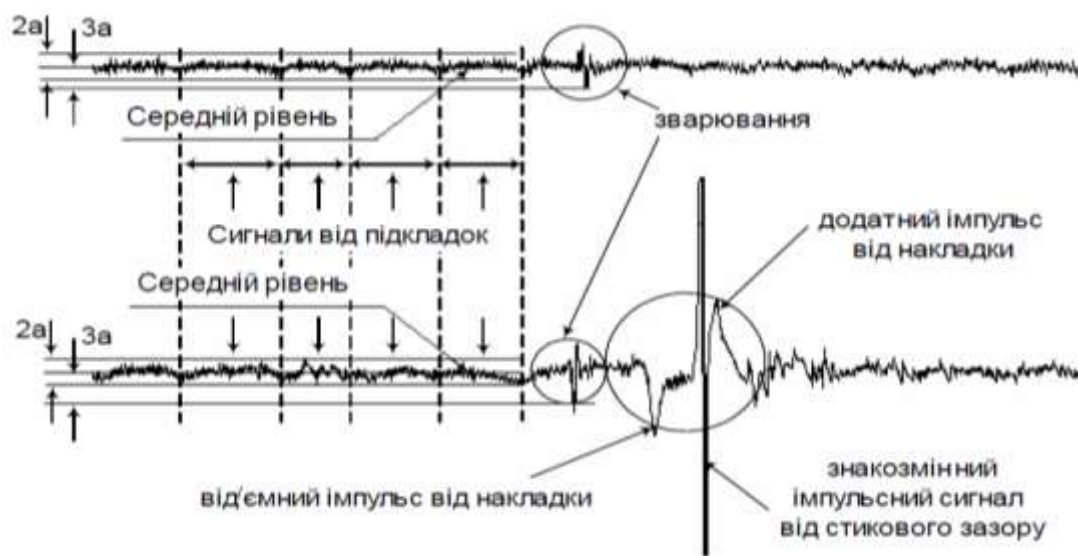


Рис.2.9. Фрагмент дефектограми

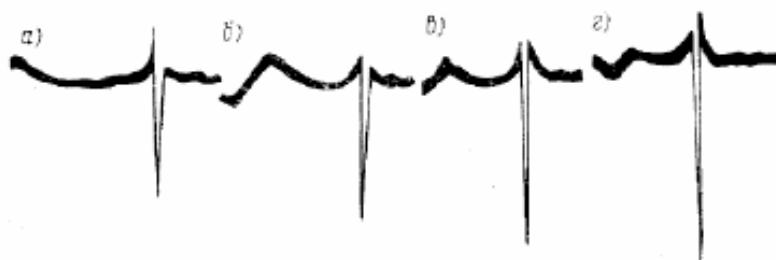


Рис.2.10. Характер сигналу від внутрішнього дефекту рейки при швидкості руху потягу: а)  $V=20$  км/год; б)  $V=30$  км/год; в)  $V=40$  км/год; г)  $V=50$  км/год

### 2.3. Чисельні методи моделювання технічного стану об'єктів будівництва з урахуванням вібродинамічного навантаження середовища

Основні методи розрахунків будівельних конструкцій на динамічні впливи розділені на такі групи [135]:

– методи, заснованих на спектральному аналізі;



- наближений метод оцінки фізичної нелінійності конструкцій (Pushover);
- метод прямого інтегрування рівнянь руху (динаміка в часі).

В основу методів, що ґрунтуються на спектральному аналізі, покладено модальний аналіз системи диференціальних рівнянь (2.8).

Інтегрування диференціальних рівнянь (2.8) руху вузлів кінцево-елементної моделі конструкції зводиться до пошуку коефіцієнтів в різних різницевих методах: Ньюмарка, Вільсона, Рунге-Кутта, Хоболта, центральних різниць, лінійного прискорення та ін. Також можливе урахування геометричної, фізичної та конструктивної нелінійностей [140].

У ПК ЛІРА САПР модальний аналіз виконується модифікованим методом ітерації підпростору. При цьому для кожної форми за формулами (2.15), (2.16) обчислюються інерційні сили (табл.2.1).

В основу методу Pushover покладено методику спрощеного нелінійного статичного розрахунку будівлі на сейсмічні впливи – Pushover Analysis [141]. Ця методика полягає в покроковому додаванні навантаження від горизонтальних сейсмічних сил до досягнення заданого перекосу поверхів, руйнування БіС або досягнення максимального значення сил, якщо попередні критерії, що не спрацювали дають можливість урахувати нелінійні властивості матеріалів за рахунок переоцінки інтегральних характеристик жорсткості кінцевих елементів моделі на кожному кроці програми навантаження [135, 136].

Реалізований в ПК ЛІРА САПР алгоритм Pushover Analysis може використовуватись при розрахунках усіх можливих спектрів реакцій згідно з [141] та при довільних, призначених для користувачем спектрах реакцій, а також при обчислених спектрах реакцій від призначених користувачем акселерограм.

Розрахунок будівель згідно з державним нормам України передбачає розрахунок з використанням методу редукування Ньюмарка-Холла [135, 140].

Кінцевим етапом розрахунку є знаходження точки стану – точки перетину лінії скороченого спектра реакцій з лінією спектра несучої здатності (рис.2.11).

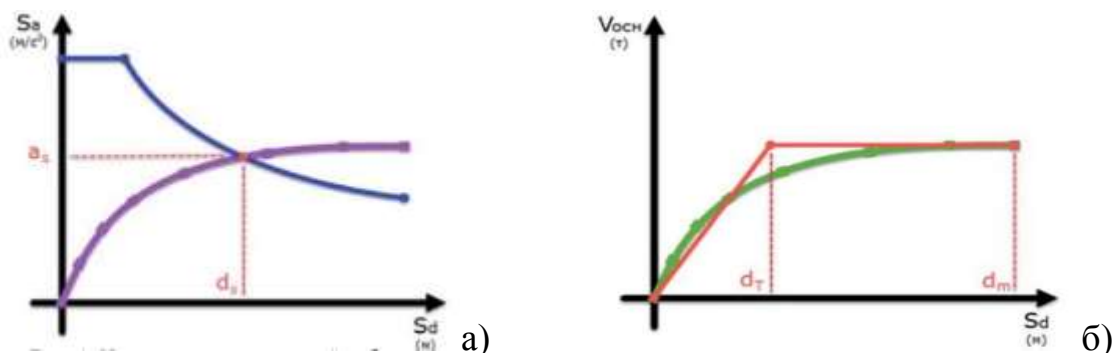


Рис. 2.11. Графіки для знаходження: а – граничної гнучкості; б – піддатливості

Саме в точці перетину лінії скороченого спектра реакцій з лінією спектра несучої здатності визначається напружено-деформований стан усієї схеми та оцінюється несуча здатність конструкції при сейсмічних навантаженнях.

Для цього на кожному кроці навантаження на основі узагальнених спектральних переміщень (2.10) і узагальнених спектральних прискорень (2.11) будується нелінійний спектр несучої здатності для багатомасової розрахункової моделі з урахуванням нелінійних характеристик матеріалів [135].

$$S_{di} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_{ij}^2}{\sum_{i=1}^n S_{ij} d_{ij}} S_{aj}, \quad (2.10)$$

$$S_{ai} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i d_{ij}^2}{(\sum_{i=1}^n m_i d_{ij})^2} \sum_{i=1}^n S_{ij}, \quad (2.11)$$

де  $S_{ai}$  та  $S_{di}$  – узагальнені спектральні прискорення та спектральні переміщення;  $d_m$  – максимальне переміщення багатомасової розрахункової моделі за результатами нелінійного статичного розрахунку. У відповідності з (2.11) будується ідеалізована білінійна діаграма, за якою знаходиться коефіцієнт піддатливості моделі (рис.2.12) для редукції нормативного чи заданого спектру реакцій [135]:

$$\mu = \frac{d_m}{d_T}, \quad (2.12)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт піддатливості моделі;  $d_m$  – максимальне переміщення багатомасової розрахункової моделі за результатами нелінійного статичного розрахунку,  $d_T$  – переміщення багатомасової розрахункової моделі, що відповідає границі плинності багатомасової розрахункової моделі.

На рис.2.12 показано схему тестового завдання та перші шість форм коливань будівельної конструкції тестового завдання за результатами розрахунку на сейсмічні впливи, що виконувались різними методами [135, 142].

Основними критеріями порівняння прийняті:

- переміщення вузла А;
- зусилля в елементі В;
- сумарна визначає сейсмічне навантаження.

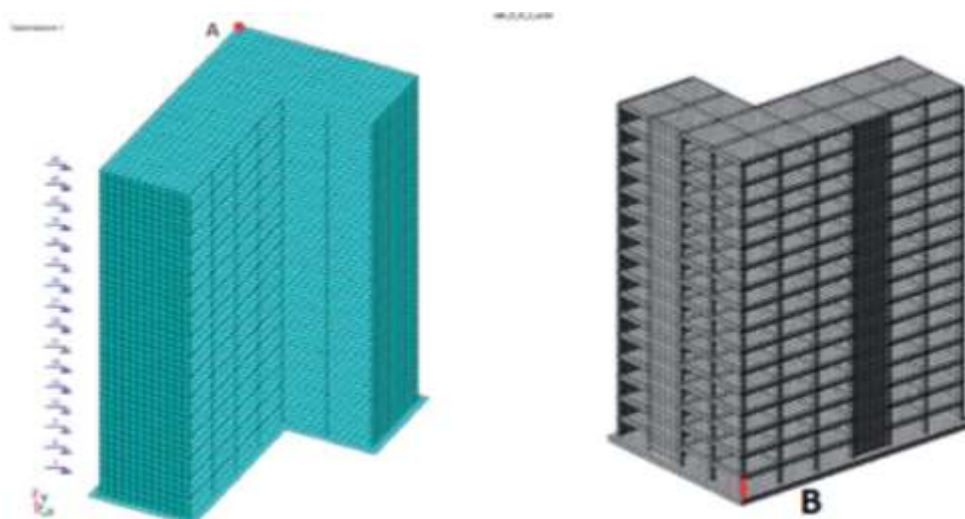



Рис.2.12. Розрахункова модель тестового завдання

У таблиці 2.2 надано основні результати розрахунків за методами:

- 1 – Модуль 20 – згідно зі СНиП II-7-81;
- 2 – Модуль 36 – згідно зі ДБНВ.1.1-12: 2006 розділ 2.3;
- 3 – Модуль 38 – згідно зі ДБНВ.1.1-12: 2006 додаток В;
- 4 – Модуль 29 – в спектральний розрахунок по акселерограмах;
- 5 – Модуль 46 – згідно зі ДБНВ.1.1-12: 2006, додаток "Г";
- 6 – Модуль 49 – згідно зі ДБНВ.2.2-24: 2009 року;
- 7 – Модуль 57 – згідно зі ДБНВ.1.1-12 діє до: 2014;
- 8 – Модуль «Pushover Analysis» – відповідно до ДБНВ.1.1-12 діє до: 2014;
- 9 – Модуль «Динаміка в часі» – пряме інтегрування рівнянь руху відповідно до ДБНВ.1.1-12: 2014.

Таблиця 2.2.

## Порівняння результатів розрахунків

Сейсмічне навантаження X (т)									
№ періоду	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1141,91	-1366	-1404	<b>-1421,97</b>	-2337,3	314,65	<b>-1138,4</b>		
2	-17,4507	-21,4	-22,11	<b>-22,37</b>	-37,009	46,0699	<b>-17,828</b>		
4	-314,843	-358	-179,6	<b>-75,14</b>	-381,04	323,707	<b>-298,27</b>		
5	-276,205	-308	-156,2	<b>-58,56</b>	-334,19	258,244	<b>-256,71</b>		
9	-141,445	-126	-69,43	<b>-18,99</b>	-152,2	65,9962	<b>-104,77</b>		
10	-92,0496	-81,8	-50,91	<b>-12,32</b>	-110,98	42,6704	<b>-68,185</b>		
Всього	1228,07	1453,26	1427,3	<b>1425,49</b>	2399,98	3044,32	<b>1211,05</b>	<b>1690,9</b>	
Переміщення (мм)									
Вуз № 13147	152,85	169,07	176,8	<b>174,95</b>	276,8	345,06	<b>153,22</b>	<b>212,74</b>	(t=27с) 369,22
Зусилля (т)									
Ел № 23	-793,53	-824,02	-826,45	<b>-823,91</b>	-941,46	-1017,3	<b>-796,28</b>	<b>-1063,9</b>	(t=58с) -917,23

В [135] описано реалізацію в ПК ЛІРА-САПР тестового завдання (рис.2.12) та виконано порівняльний аналіз результатів обчислювальних експериментів (табл.2.2), що були проведені згідно з рекомендованим в [143], та деякими методами редукції, що рекомендовані іншими нормативними документами (рис.2.13).

Як видно з таблиці 2.2 всі методи, що базуються на спектральному аналізі, дають приблизно однакові результати. Найбільш близькими є результати методів, що реалізують норми СНиП II-7-81; ДБНВ1.1-12: 2006; ДБНВ.1.1-12: 2014. При цьому метод «Pushover Analysis» дає дещо завищене значення переміщень і зусиль, а метод прямого інтегрування рівнянь руху відповідно до ДБНВ.1.1-12 можна

обережно розглядати як найбільш адекватний, оскільки по суті це моделювання процесу динамічного впливу на конструкцію в часі. Деяко завищені значення зусиль і переміщень можна розглядати як випадкові викиди. Саме цей метод рекомендується [135, 141] як найбільш прийнятний для динамічних розрахунків будівельних конструкцій та БіС.

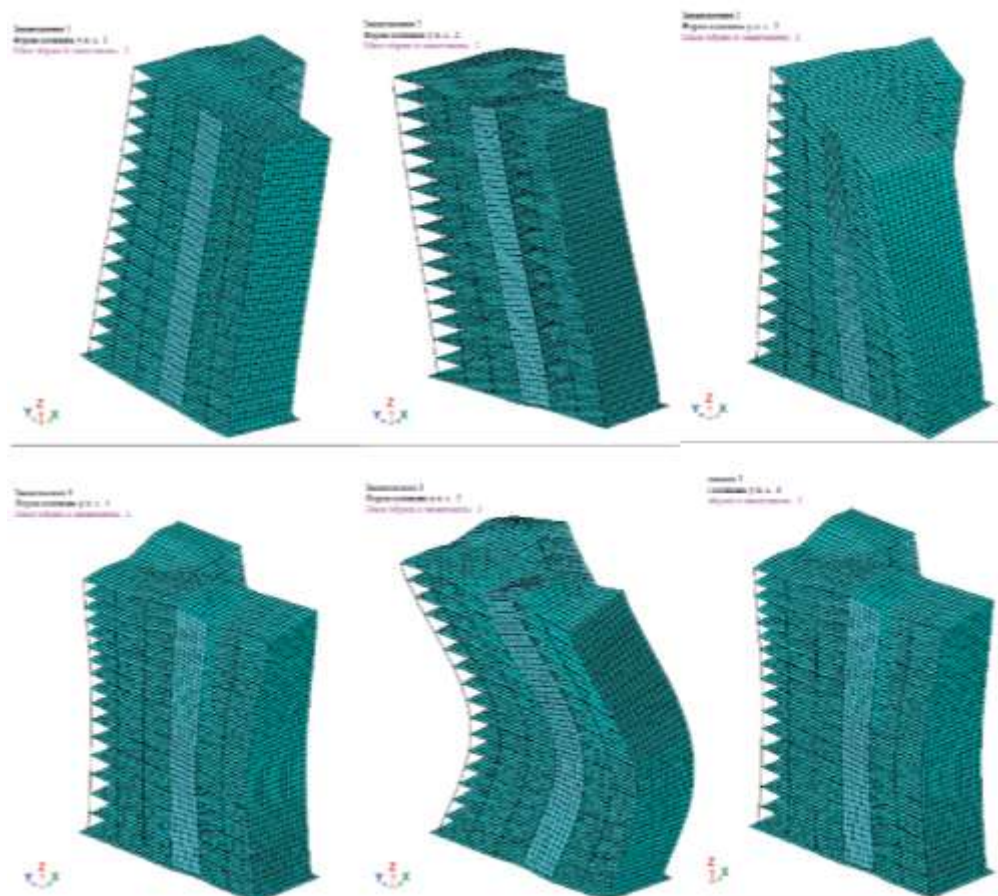


Рис.2.13. Шість перших форм власних коливань тестового завдання

Вібродинамічні навантаження, у порівнянні з імпульсами, що викликані сейсмічними впливами, мають значно меншу амплітуду, але внаслідок їх тривалої дії ці навантаження можуть спричинити осідання основ об'єктів в наслідок зміни фізико-механічних ґрунтів.

Методика чисельного моделювання вібронамічних навантажень від метрополітену в модулі «Динаміка в часі» з використанням ПК ЛІРА-САПР

передбачає призначення характеристик впливів у вигляді акселерограм віброприскорень (рис.2.14).

Для кожного моменту часу вирішується рівняння [31, 122]:

$$\sum_{n=0}^i a = A_i \sin(\omega_i \cdot t_n) + A_{i+1} \sin(\omega_{i+1} \cdot t_{n+1}), \quad (2.13)$$

$$A_i = V_i \cdot \nu, \quad \omega_i = 2\pi \cdot \nu, \quad (2.14)$$

де  $A_i$  – віброприскорення,  $\omega_i$  – циклічна частота, які обчислюються по кожній частоті  $\nu$  від 2 Гц до 100 Гц,  $t_n$  – момент часу від 0 до 15 с, крок 0,1 с.

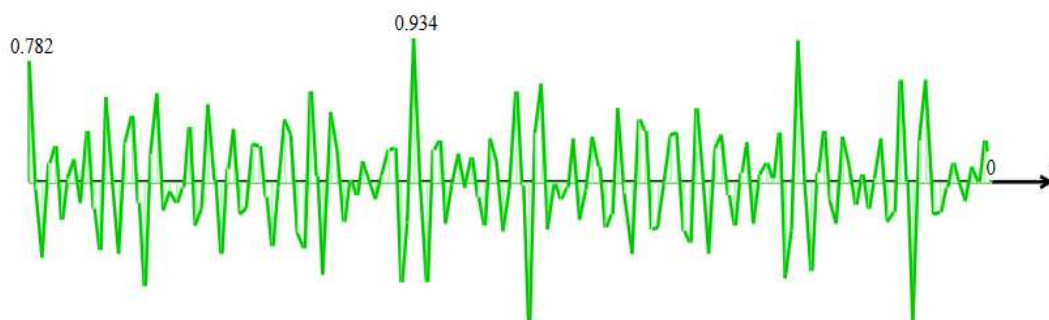


Рис.2.14. Приклад вібродинамічного навантаження від метрополітену в модулі «Динаміка в часі» у програмному комплексі ЛІРА САПР [10]

Алгоритм розрахунку зводиться до таких кроків [19, 48, 116]:

1. Формується розрахункова модель будівлі і виконується її здійснюється розрахунок на заданий вплив у лінійній постановці, за результатами якого визначаються:

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

Після цього виконується розрахунок конструювання, підбираються площі робочої та конструктивної арматури для залізобетонних конструкцій.

2. Створюється модель ґрунту (рис.2.7) на основі даних геологічних вишукувань. Динамічні характеристики ґрунту змодельовані за допомогою скінченних елементів.

3. У подальшому, лінійна розрахункова модель перетворюється у фізично нелінійну модель. Для врахування ефекту демпфування визначаються та задаються коефіцієнти Релея для матеріалів конструкції і ґрунтів [18, 19, 144]. Задаються граничні скінченні елементи у моделі основи, які створюють ґрунтовий масив (рис.2.15).

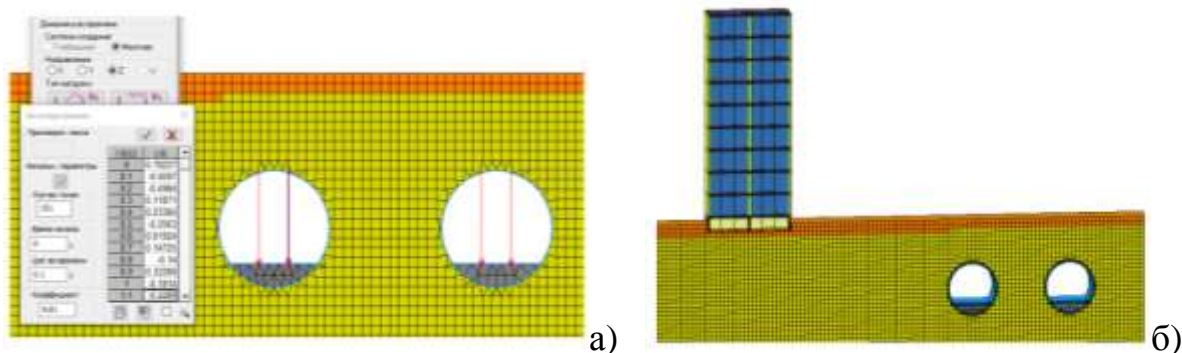


Рис.2.15. Розрахунку вібродинамічного навантаження від дії метрополітену мілкого закладення на житловий будинок у модулі «Динаміка в часі» у ПК ЛІРА САПР

4. Формується історія навантаження розрахункової моделі, в яку послідовно входять повне вертикальне навантаження та покроково додаються горизонтальні динамічні сили. Загальні динамічні впливи у системі формуються з узгодженої матриці мас статичних впливів за допомогою модуля «Динаміка плюс» у ПК ЛІРА САПР.

5. Навантаження моделюються за допомогою узагальненого по всьому частотному діапазону графіку динамічних віброприскорень (рис.2.14). Для цього в модулі «Динаміка в часі» задаються акселерограми впливів, крок і час інтегрування (рис.2.15). В результаті розрахунку визначаються переміщення, швидкості і прискорення вузлів в контрольних точках конструкцій та зусилля і напруження у несучих в задані моменти часу (рис.2.16, 2.17). Порівняння переміщень у контрольних точках конструкції дозволяє зробити висновок про появою резонансних явищ.

Із аналізу графіків результатів переміщень, прискорень, та швидкостей у контрольних точках будівлі на рис.2.16, 2.17 видно, що при розрахунках за авторською методикою результати більш наближені до експериментальних даних.

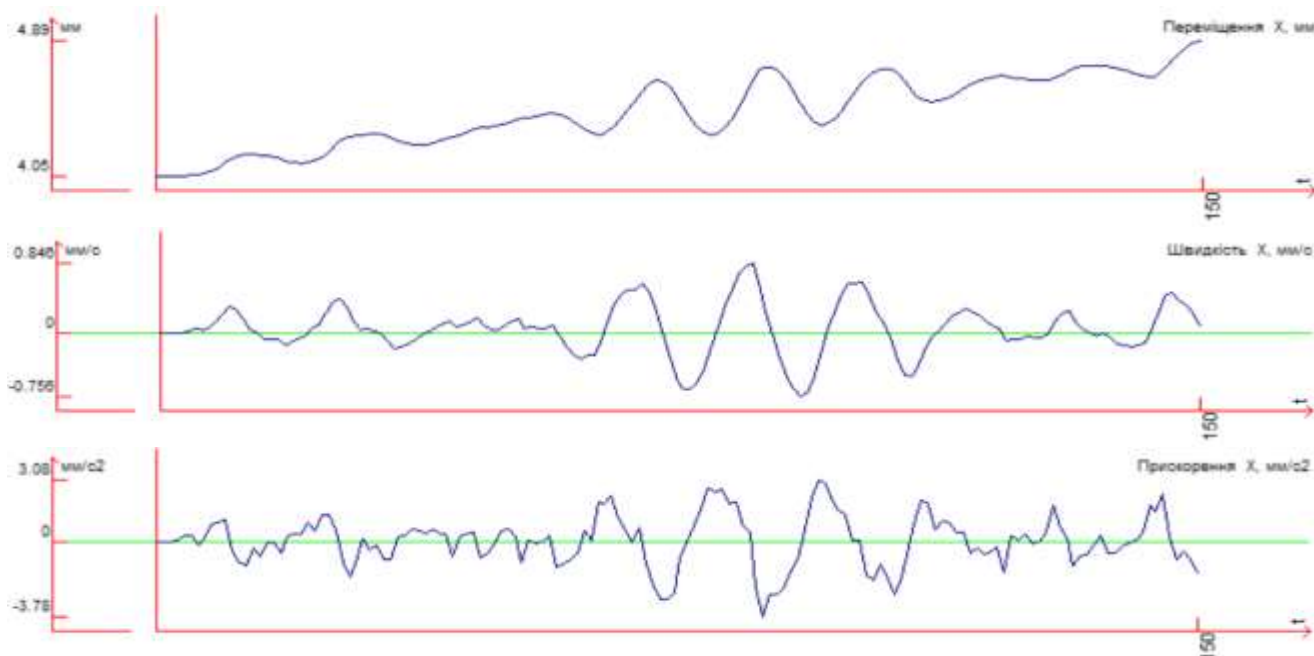


Рис. 2.16. Графіки результатів розрахунку прискорення, швидкості та переміщення у контрольній точці ОБ вздовж осі X на першому поверсі

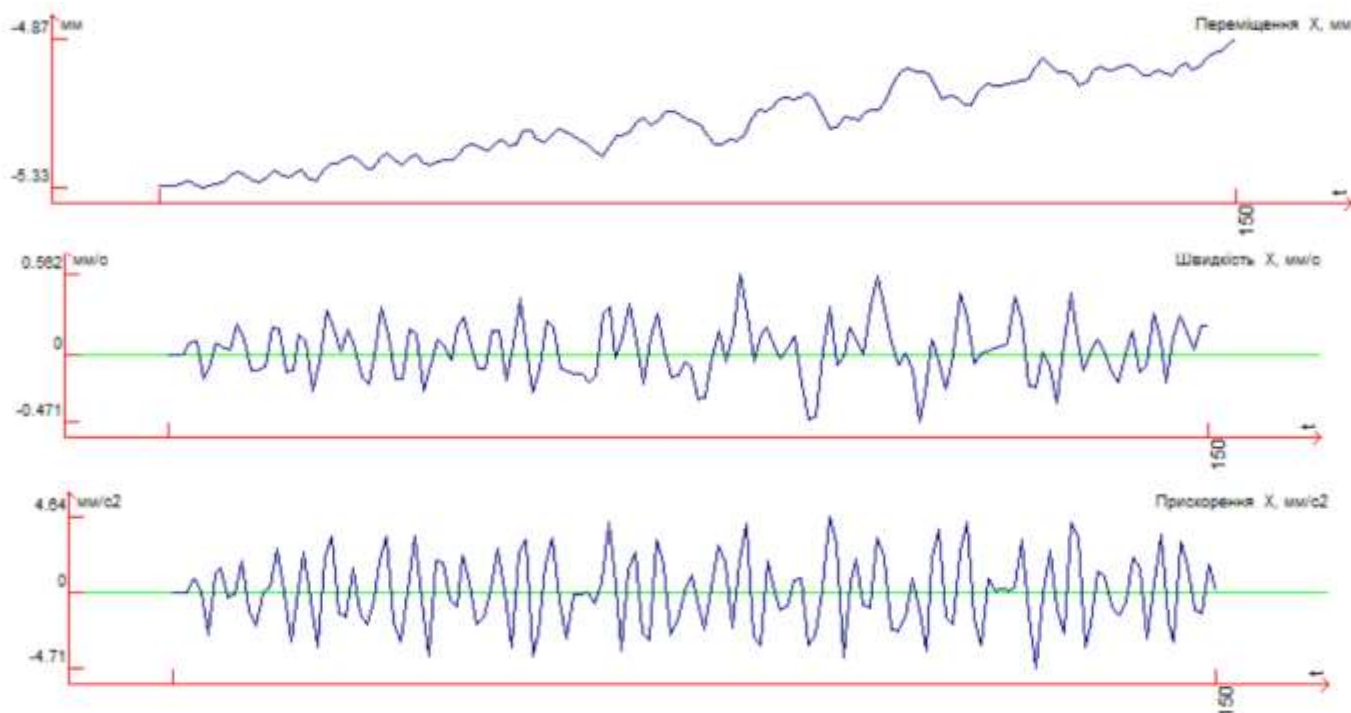


Рис. 2.17. Графіки результатів розрахунку прискорення, швидкості та переміщення у контрольній точці ОБ вздовж осі X на четвертому поверсі



Проведений в [18, 19, 135] аналіз результатів чисельних експериментів, проведених з використанням декількох методів розрахунку на вібродинамічні впливи, показав, що методи, які ґрунтуються на спектральному аналізі не достатньо враховують саме специфіку впливу рухомого транспорту на несучі конструкції БіС.

Метод прямого інтегрування дозволяє врахувати такі суттєві складові моделі, що відображають реальний ОБ [141]:

- геометричні параметри;
- фізико-механічні властивості матеріалів конструкцій і ґрунтів;
- напруження та деформації у ґрунті до початку будівельної діяльності;
- формування додаткових динамічних впливів;
- зміни напружено-деформованого стану конструкції;
- характер руху конструкції в змінних умовах;
- геометричну, фізичну та конструктивну нелінійність.

Тому при вирішенні задач розрахунку конструкцій БіС, які розташовані, будуються чи проектується в охоронній зоні метрополітену, доцільним є застосування методу прямого інтегрування. Ще однією суттєвою перевагою методу прямого інтегрування руху є можливість урахування характеру руху та зміни НДС конструкцій в певному інтервалі часу. Це дозволяє проводити розрахунки впливу вібродинамічних навантажень на конструкції з пошкодженнями в різних точках з використанням інформаційних моделей будівлі (рис.2.4, а; 2.13).

При чисельному моделюванні конструкцій з використанням ПК ЛІРА САПР [17] вібродинамічні навантаження задаються методом інтегрування у часі, а розрахунок їх впливу базується на розв'язанні системи диференціальних рівнянь:

$$M\ddot{\vec{u}}(t) + C\dot{\vec{u}}(t) + K\vec{u}(t) = \vec{q}(t);$$

$$\vec{q}(t) = -\sum_{i=3}^3(M\vec{v}_1 u_g^i(t)) - \sum_{i=4}^6(M\vec{v}_1 u_g^i(t)), \quad (2.15)$$

де  $\vec{u}(t); \dot{\vec{u}}(t); \ddot{\vec{u}}(t)$  – вектори вузлових переміщень, швидкостей і прискорень конструкцій в момент часу  $t$ ;  $q(t)$  – навантаження, в моменту часу  $t$ ;  $M$  – матриця мас;  $C$  – матриця демпфірування;  $K$  – матриця жорсткості системи; початкові переміщення отримуються при статичному завантаженні попередньої історії

$\vec{u}(0) = \vec{u}_1$ ; швидкості, прискорення і переміщення можна апроксимувати різними скінченно-різницевиими виразами в переміщеннях.

Згідно з методом центральних різниць прискорення залежить від часу  $t$  таким чином [17]:

$$\ddot{\vec{u}}(t) = \frac{\vec{u}(t+\Delta t) - 2\vec{u}(t) + \vec{u}(t-\Delta t)}{\Delta t^2}. \quad (2.16)$$

Похибка обчислень згідно з має порядок  $\Delta t^2$ , тому, для обчислення швидкостей і переміщень із похибками того ж порядку використовуються вирази:

$$\dot{\vec{u}}(t) = \frac{\vec{u}(t+\Delta t) - \vec{u}(t-\Delta t)}{2\Delta t}; \quad (2.17)$$

$$\vec{u}(t) = \frac{\vec{u}(t+\Delta t) + \vec{u}(t-\Delta t)}{2}. \quad (2.18)$$

Після підстановки (2.11) – (2.13) в (2.10) отримуємо систему рівнянь для визначення вектору  $\vec{u}(t+\Delta t)$ . В результаті таких обчислень визначаються переміщення в контрольних точках об'єкта при зміні динамічного навантаження.

Чисельні експерименти, що виконуються за наведеним алгоритмом, надають змогу генерувати достатню кількість прикладів для навчання штучних нейронних мереж, які в подальшому можуть бути використані для автоматичного контролю ТС об'єктів будівництва різної категорії складності, що експлуатуються в зоні впливу вібродинамічних навантажень від метрополітену. Проте, оцінка міри впливу інших видів рейкового наземного транспорту потребує розробки відповідних моделей, методів і засобів моделювання, що пов'язано з: іншими габаритами і відстанями між осями колій та іншим характером руху, який в першу чергу, відрізняється непогашеними прискореннями.

Вирішення задачі адаптації засобів, що розроблялись для моделювання впливу вібродинамічних навантажень від метрополітену ускладнюється тим, що більшість рівнянь, які описують поширення хвиль у ґрунтах не мають аналітичних рішень [16, 18]. В таких умовах вирішення проблеми вбачається в розробці інтелектуальних систем і технологій, робота яких заснована на спеціальних знаннях експертів, що можуть бути формалізовані методами нечіткої математики, та на використанні штучних нейронних мереж (ШНМ), які здатні виконувати обробку даних, що надходять від приладів і засобів інструментального обстеження чи моніторингу експлуатаційних параметрів об'єкта, ТС якого контролюється (рис.1.10).

Організація такої передачі даних, в першу чергу, залежить від даних, що надходять до ШНМ від приладів і засобів інструментального обстеження чи моніторингу.

#### **2.4. Прилади і засоби набуття первинної інформації**

У даний час існує широкий набір інструментів, засобів і методів обстеження та моніторингу ТС об'єктів будівництва. Залежно від джерел і характеру навантажень і впливів від зовнішнього середовища (табл.2.2) схеми спостережень можуть бути різними. Тому в кожному окремому випадку для конкретного об'єкта необхідно підбирати варіант схеми моніторингу, що буде найкраще контролювати його ТС.

Для діагностики ТС об'єктів частіше використовуються методи, що ґрунтуються на візуальному обстеженні (рис.2.18) та методи, засновані на вимірюванні локальних пошкоджень та локальному визначенні дефектів і фізико-механічних характеристик матеріалів будівельних конструкцій (рис.2.19). Такий контроль зводиться до перевірки відповідності вимог до окремих елементів БіС (рис.2.19,а; 2.20).



Рис.2.18. Візуальне обстеження будівельних конструкцій

При цьому, як правило, не проводиться інтегральна оцінка всієї конструктивної системи ОБ, оскільки в загальноприйнятих методиках не виконується оцінка міцності і стійкості об'єкта в цілому з урахуванням його геометричних, фізико-механічних, динамічних і теплотехнічних параметрів, включаючи фізико-географічні умови території розташування об'єкта, геологічну будову та фізичні властивості навколишнього ґрунтового масиву.

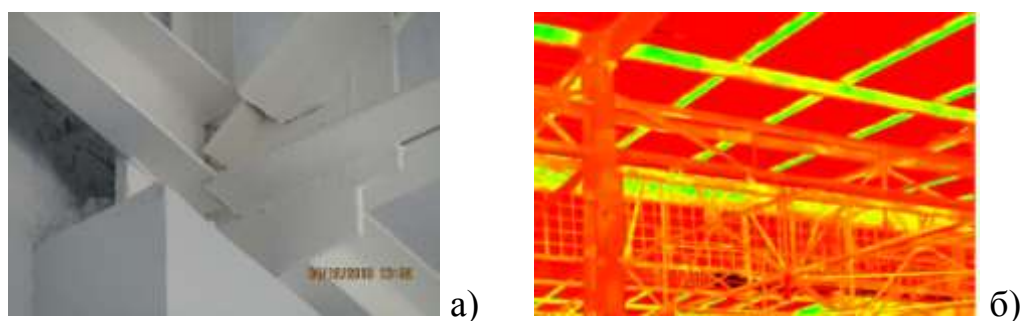


Рис.2.19. Інструментальне вимірювання: а – локальних дефектів;  
б – 3D сканування конструкцій

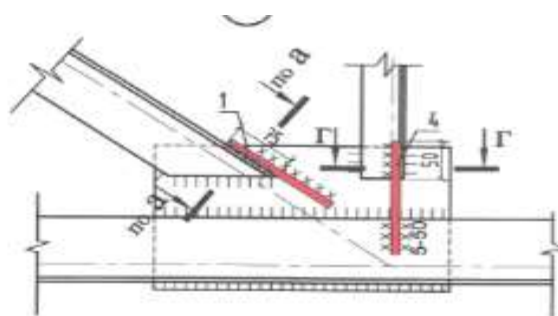


Рис.2.20. Порівняльне моделювання вузлів конструкцій

Динамічні методи діагностування дозволяють оцінити ТС об'єкта в цілому, точніше визначити залишковий ресурс і ризики переходу ОБ в аварійний стан для того, щоб в подальшому, локалізувати виявлені дефекти, які можуть бути уточнені 3D скануванням конструкції тепловізійними методами (рис.2.19,б).

Для моніторингу конструкцій і основ будівель найчастіше використовують методи, що надають пряму інформацію про величини осідання, навантажень та інші параметри ТС об'єкта дослідження. Ці методики ґрунтуються на геодезичних вимірах, інженерно-геологічних спостереженнях ґрунтового масиву, вимірюванні навантажень і деформацій в конструкціях фундаменту та надземної частини БіС (рис.2.21), а також сейсмометричних вимірюваннях.

Геодезичні виміри проводяться з використанням приладів традиційного нівелювання або цифрових датчиків, супутникових GPS-технологій і лазерного сканування об'єкту. Ці методики надають можливість оцінити зміну положення БіС або окремих їх частин в просторі (зокрема осідання та крен). Проте дані

геодезичних вимірювань не відображають реальну динаміку змін об'єкта, оскільки проводяться з великими проміжками часу [145].

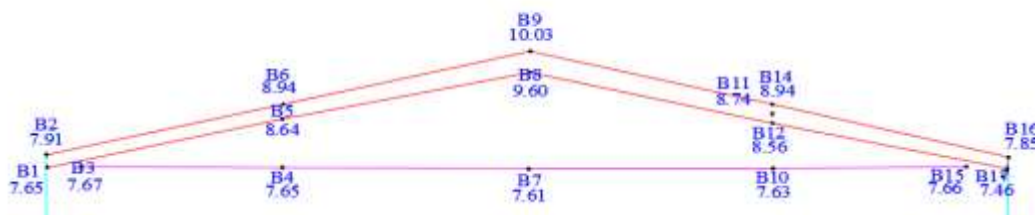


Рис.2.21. Вимірювання засобами геодезичних приладів з моделюванням дефектів в середовищі CAD

Для інженерно-геологічних спостережень стану ґрунтового масиву основи будівлі та прилеглої території існують схеми різної трудомісткості, вартості та роздільної здатності [146]. Різні інструменти спостереження, надають можливість проводити моніторинг диференціальних, пошарових або сумарних осідань ґрунтів основи, рівня води, парового тиску в породах. Дослідження можуть проводитись з будь-якими інтервалами часу і надають можливість спостерігати динаміку змін об'єкту будівництва. При вимірюванні навантажень і деформацій в конструкціях фундаменту і надземної частини БіС існує низка приладів, робота яких базується на використанні вібраційних датчиків напружень, які розташовуються в фундаментній плиті, стінах, пілонах і колонах будівлі. Спостереження можуть здійснюватись у автоматичному режимі в трьохвимірному просторі.

Сейсмометричні вимірювання надають можливість отримувати миттєве відображення технічного стану БіС або їх частин. При цьому реєстрація коливань потребує складної попередньої обробки інформації та створення моделей ОБ. Особливістю сейсмометричних методик є надання можливості контролювати величини прискорень і робити висновки про спільну роботу будівлі і ґрунтів основи (рис.2.7, 2.14).

Вібродинамічні навантаження від рейкового транспорту, у порівнянні з імпульсами, що викликані сейсмічними впливами, мають значно меншу амплітуду, але внаслідок їх тривалої дії ці навантаження можуть спричинити осідання основ об'єктів в наслідок зміни фізико-механічних ґрунтів.

В даний час, в залізничній галузі спостерігається активне використання гібридних систем діагностики колісних пар та рейок з одночасним використанням магнітних, ультразвукових та візуально-вимірювальних методів неруйнівного контролю. При цьому обстеження та здійснення контролю за станом та утриманням інженерних споруд, виконання інженерно-геологічних обстежень, геодезичної зйомки місць «хворого» земляного полотна, періодичний контроль за станом об'єктів земляного полотна, що знаходяться в тяжких інженерно-геологічних умовах, перевірка плану і профілю залізничних колій, складання масштабних схем станцій, неруйнівний контроль рейок мобільними засобами рейкової дефектоскопії здійснюється «Центром діагностики залізничної інфраструктури» [138, 139].

Для виявлення дефектів і пошкоджень у виробках з легованих типів сталі, вуглецевих сплавів використовуються методи ультразвукового контролю, такі як дефектоскоп УДС2-РДМ-33 (рис.22а).

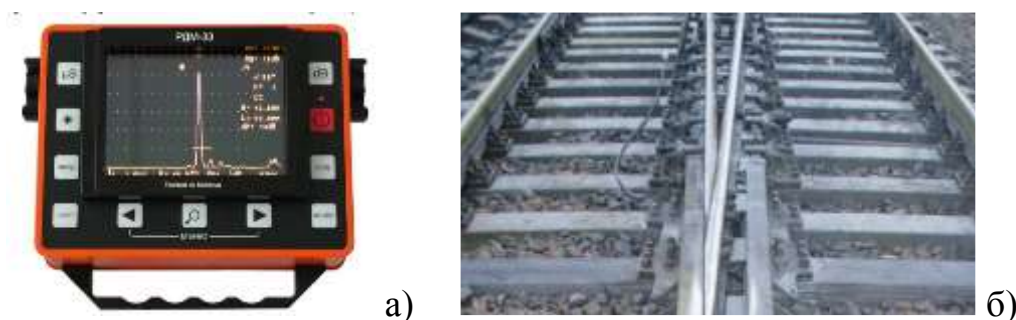


Рис.2.22. Фрагмент залізничної колії зі стрілочними переїздами (а) та дефектоскоп УДС2-РДМ-33 (б)

УДС2-РДМ-33 призначається для контролю цілісності і відсутність дефектів, пошкоджень конструкцій з вуглецевих, легованих сплавів, спеціальних сортів сталі, зварних конструкцій рейок залізниці, а такі автоматичні апаратно-програмні комплекси, як АСТРА можуть обробляти і зіставляти в єдиному архіві дані від різних діагностичних засобів різних виробників [139, 147].

Результатом обробки є комплексний багатофакторний аналіз і оцінка фактичного стану колії та зміни її ТС в часі (рис. 2.23).

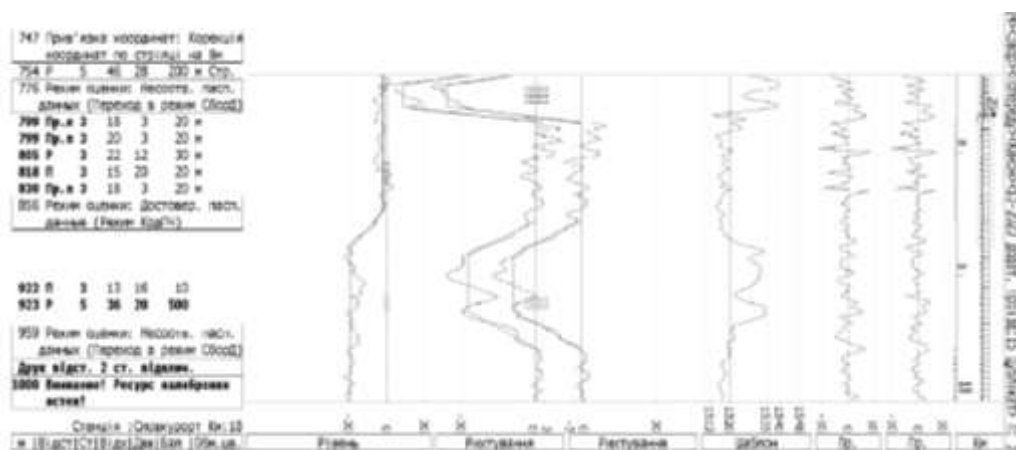


Рис. 2.23. Приклад роботи автоматизованої системи розшифровки типу КВЛ-П

Таким чином, АСТРА забезпечує автоматизовану розшифровку дефектів рейок і моніторинг технології їх діагностики. Подібні автоматичні апаратно-програмні комплекси являють собою готові елементи ресурсозберігаючої багаторівневої системи ефективної комплексної діагностики вже працюють на вітчизняних і зарубіжних залізницях та метрополітенах. Проте при дослідженні впливу рухомого потягу на оточуюче середовище, основна увага розробників автоматизованих діагностичних систем типу АСТРА (рис.2.22а) спрямована на попередження появи несправностей, улаштування і забезпечення нормальної роботи залізничних колій (рис.2.22б), забезпечення безпечної експлуатації штучних споруд (мостів і прогонових будов) конструкцій, що встановлені на даних ділянках (рис. 2.3) та ділянках, прилеглих до шляхопроводів.

Реакція БіС та характер поширення вібрації залежить не тільки від рівня та спектрального складу коливань, які передаються через ґрунт. Ця реакція також залежить від динамічних характеристик несучих і огорожувальних конструкцій БіС та конструктивної системи об'єкта в цілому. Головним чином це стосується частот власних горизонтальних коливань БіС, вертикальних коливань елементів перекриттів, типу ґрунту навколо ОБ, відстані до джерела та тривалості вібрації. Проте, при дослідженні впливу рухомого потягу на оточуюче середовище, основна увага розробників автоматизованих діагностичних систем спрямована на попередження появи несправностей, улаштування і забезпечення нормальної роботи залізничних колій (рис.2.9, 2.10, 2.23), забезпечення безпечної експлуатації

штучних споруд (мостів і прогонових будов) конструкцій, що встановлені на даних ділянках, прилеглих до шляхопроводів. При цьому значно менше уваги приділяється розробці автоматичних засобів контролю впливу вібродинамічних навантажень на ТС будівель і споруд навколишньої забудови.

В той же час, надійну оцінку нелінійним вібродинамічним впливам середовища на ТС будівель і споруд, що експлуатуються в умовах динамічних навантажень і впливів великих міст, використовуючи тільки прямі інструментальні методи і чисельні експерименти не завжди можливо.

Однією з основних причин ускладнення впровадження ВІМ-технології в галузь БТЕ для перевірки відповідності вимогам нормативно-правових актів на етапі експлуатації ОБ є необхідність проведення розрахунків, мета і завдання яких відрізняються від тих, що висуваються до ПК, які розроблялись і розробляються для автоматизації проектувальних робіт. До того ж проведення чисельних експериментів з інформаційною моделлю будівлі передбачає або існування ВІМ або наявності інформації для її створення. При цьому створення ВІМ для моделювання ТС об'єктів, які були побудовані без інформаційної моделі зазвичай є економічно недоцільним [128]. Інша проблема розробки програмного забезпечення для оцінки технічного стану БіС, що створені без відповідної інформаційної моделі, полягає в цифровізації необхідної вхідної інформації та розробці детермінованих моделей для формалізації процесів руйнування в умовах невизначеності [118]. Окрім того, аналіз нормативних документів, згідно яких проводяться обстеження ОБ, показав, що поява невизначеності обумовлена не тільки стохастичним характером середовища. Ряд класифікаційних ознак дефектів і пошкоджень, згідно з якими здійснюється оцінка ТС конструктивних елементів БіС однозначно визначають границі його ТС, але існує достатня кількість ознак, що свідчать про належність конструкції до двох ТС одночасно.

Експертна оцінка, незважаючи на більш емпіричний характер суджень, дозволяє формувати систему нечітких правил, які відображають причинно-наслідковий зв'язок між негативними змінами ТС будівельних конструкцій і подіями, що могли призвести до цих змін. Саме тому, при формуванні моделі об'єкта



БТЕ, значна увага приділяється дослідженою та систематизації пошкоджень конструктивних елементів, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, а також характеристик навантажень на основу БіС, що опинились в зоні впливу шляхів рейкового транспорту (рис.1.4).

До основних конструктивних елементів, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, які передаються на БіС через ґрунт відносяться фундаменти, конструкції несучі, жорсткосні схеми та вузли.

Технічний стан (фізичний знос) кожного конструктивного елемента визначається експертами на основі аналізу характерних пошкоджень (табл.1.2) згідно з [68, 148 – 151]:

$$y_j = \sum_{i=1}^N w_i x_i, \quad (2.19)$$

де:  $y_j$  – величина фізичного зносу конструктивного елемента;  $x_i$  – фізичний знос  $i$ -ї частини елемента, що залежить від множини фактичних дефектів і пошкоджень будівельних конструкцій;  $w_i$  – експертна оцінка ступеня впливу вібродинамічних навантажень на появу та розвиток  $i$ -го пошкодження  $j$ -го конструктивного елемента.

Оцінка ТС (фізичного зносу) об'єкта в цілому ( $Z$ ) базується на узагальненні:

$$Z = \sum_{j=1}^{N=5} W_j y_j, \quad (2.20)$$

де:  $Z$  – вихідна лінгвістична змінна, що характеризується терм-множиною  $T(\tilde{Z}) = \{T_1; T_2; T_3; T_4\}$ , яка характеризує нормальний, задовільний, непридатний до застосування або аварійний ТС об'єкта в цілому;  $y_j$  – величина фізичного зносу, а  $W_j$  – питома вага (відносна вартість)  $j$ -го конструктивного елемента [68].

Використання формул типу (2.19), (2.20) надає можливість безпосередньо оцінити міру впливу вібродинамічних навантажень від рейкового транспорту на розвиток характерних пошкоджень конструктивних елементів, які найбільш вразливі до цих впливів, використовуючі методи нечіткої математики. Це дозволяє

адаптувати систему нечіткого виведення, що призначається для застосування в інтелектуальній системі підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва (ІСП ПОТС ОБ), яка розробляється, до вирішення задачі оцінки ТС об'єкта в цілому.

## **Висновки до розділу 2**

1. Показано, що перехід від традиційного САД до ВІМ, створення проектної документації з використанням ВІМ-технології і перспектива зростання досліджень відповідності проектної документації та існуючих об'єктів вимогам нормативно-правових актів, спричинив потребу у впровадженні в сферу проведення будівельно-технічної експертизи методик дослідження будівельних об'єктів і відповідної проектної документації, створеної за ВІМ-технологією.

2. З'ясовано, що автоматизація процесу експертного оцінювання технічного стану об'єктів будівництва з використанням ВІМ потребує:

- теоретичного обґрунтування логіки застосування інформаційної інтелектуальної системи, що розробляється для підтримки процесу оцінки технічного стану конструктивних елементів, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, будівель і споруд в цілому,

- інтеграції інтелектуальних засобів обробки вхідних даних з різними технічними приладами реєстрації цих даних.

3. Обґрунтовано доцільність розробки гібридної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва, що ґрунтується на експертних знаннях.

### **РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА**

В розділі розглянуто схему впровадження ІСП ПОТС ОБ в область управління життєвим циклом БіС на стадії експлуатації.

Запропоновано концептуальну модель ІСП ПОТС ОБ, при розробці якої враховується перспектива впровадження в процес проведення БТЕ методик дослідження будівельних об'єктів і відповідної проектної документації, що створені за ВІМ-технологією. В основу роботи ІСП ПОТС ОБ покладено нейронечітку систему виведення (ННСВ).

Розглянуто математичні основи формування бази знань ННСВ та Обґрунтовано можливість використання СНВ типу Мамдані та Сугено та доцільність вибору інтегрованої штучної нейромережі категорії Такаги-Сугено-Канга (TSK). Описано узагальнену архітектуру штучної нечіткої нейронної мережі TSK; обґрунтовано вибір алгоритму її навчання та здійснено адаптацію моделей до вирішення задачі оцінки ТС конструктивних елементів, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень; описано алгоритм навчання цієї штучної нейромережі; розглянуто переваги, які забезпечується застосуванням Байєсівського логіко-ймовірнісного підходу до дефазифікації значення вихідної змінної.

#### **3.1. Моделювання процесу проведення будівельно-технічної експертизи з використанням ІСП ПОТС ОБ**

На основі проведених досліджень особливостей процесу оцінки ТС об'єктів будівництва в нечітких динамічних умовах великих міст процес БТЕ запропоновано автоматизувати шляхом створення та впровадження в процес оцінки ТС будівель і споруд, що мають накопичені експлуатаційні пошкодження, інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану ОБ.

Структуру моделі ІСП ПОТС ОБ та схему її функціонування в процесі проведення БТЕ показано на рис.3.1 [31, 44].

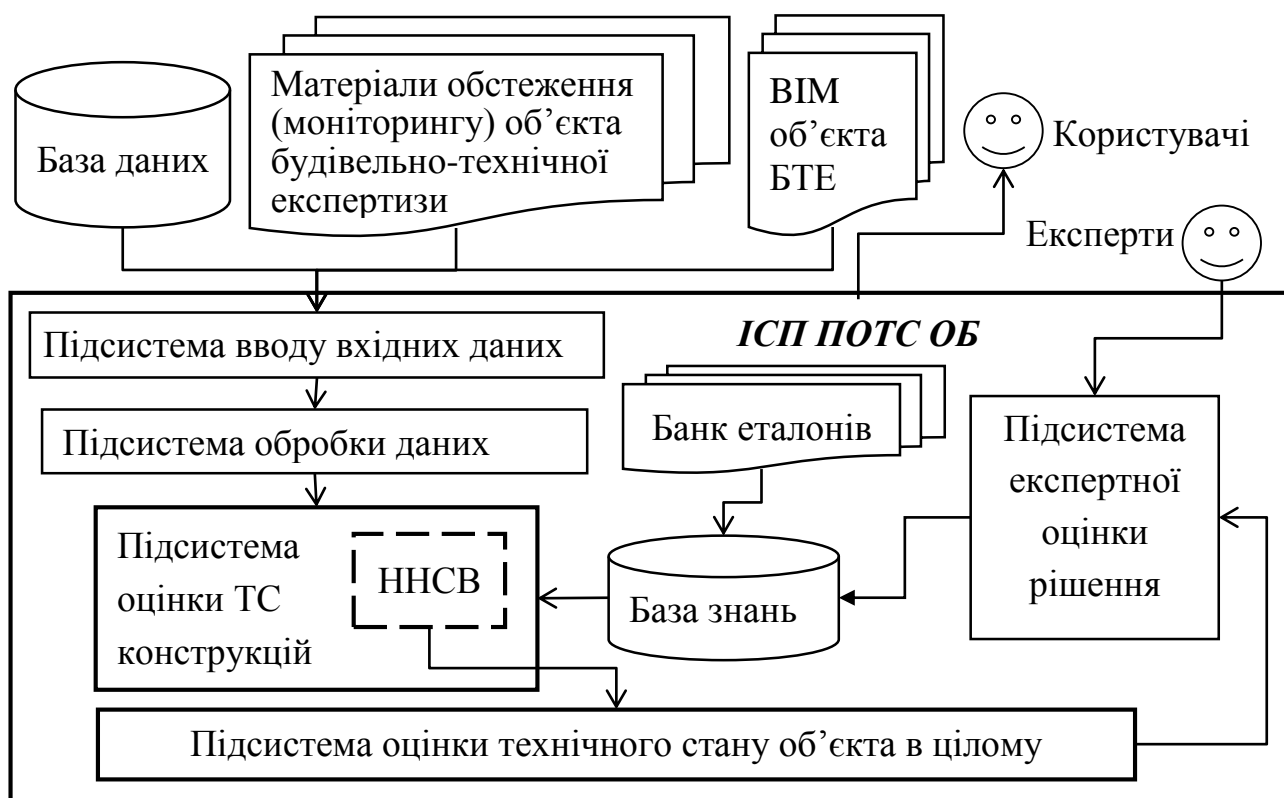


Рис.3.1. Концептуальна модель ІСП ПОТС ОБ

Користувачами системи, що розробляється, є експерти, що виконують БТЕ.

Експертами на рис.3.1 названо фахівців, які забезпечують надійну роботу ІСП ПОТС ОБ, а саме:

- на етапі розробки наповнюють базу знань системи спеціальними знаннями;
- на етапі навчання СНВ контролюють адекватність налаштування функцій приналежності;
- на етапі експлуатації (при виникненні) врегульовують конфліктні питання.

Вхідні дані надходять в ІСП ПОТС ОБ через підсистему вводу вхідних даних з бази даних та від служб, що забезпечують обстеження ТС об'єктів. При цьому передбачається, що зовнішня база даних (рис.3.1) містить необхідну інформацію для наповнення бази знань ІСП ПОТС ОБ у відповідності до задачі, що вирішується в процесі проведення БТЕ [Додатки Б, В].

Банк еталонів призначається для накопичення даних про стан конструкцій в період експлуатації та містить шаблони, що адекватно відображають ТС об'єктів та даних, які можуть використовуватись для прогнозування динаміки розвитку

пошкоджень об'єкта за допомогою підсистеми оцінки ТС конструкцій. Дані банку еталонів також можуть використовуватись для перевірки адекватності ШНМ, якщо вибірка для її навчання ґрунтувалась на результатах чисельних експериментів.

Збирання даних про ТС конструкцій в період експлуатації та наповнення бази знань на основі експериментальних досліджень і знань експертів потребує проведення таких діагностичних процедур [103, 152, 153]:

- отримання та уточнення характеристик матеріалів, конструкцій, вузлів і основ, зміни яких призводять до змін технічного стану ОБ;
- визначення суттєвих факторів навантажень і впливів середовища;
- аналізу деформацій, дефектів і пошкоджень конструктивних елементів БіС;
- оцінки ступеню впливу пошкодження на ТС конструктивного елемента;
- розрахунків, що необхідні для оцінки ТС об'єкта в цілому.

Підсистема обробки даних виконує процедуру формування вектора чітких вхідних змінних, що подаються до ННСВ [154, 155].

ННСВ запропоновано будувати у вигляді п'яти пар ШНМ категорії TSK, які інтегруються з СНВ (рис.3.2).

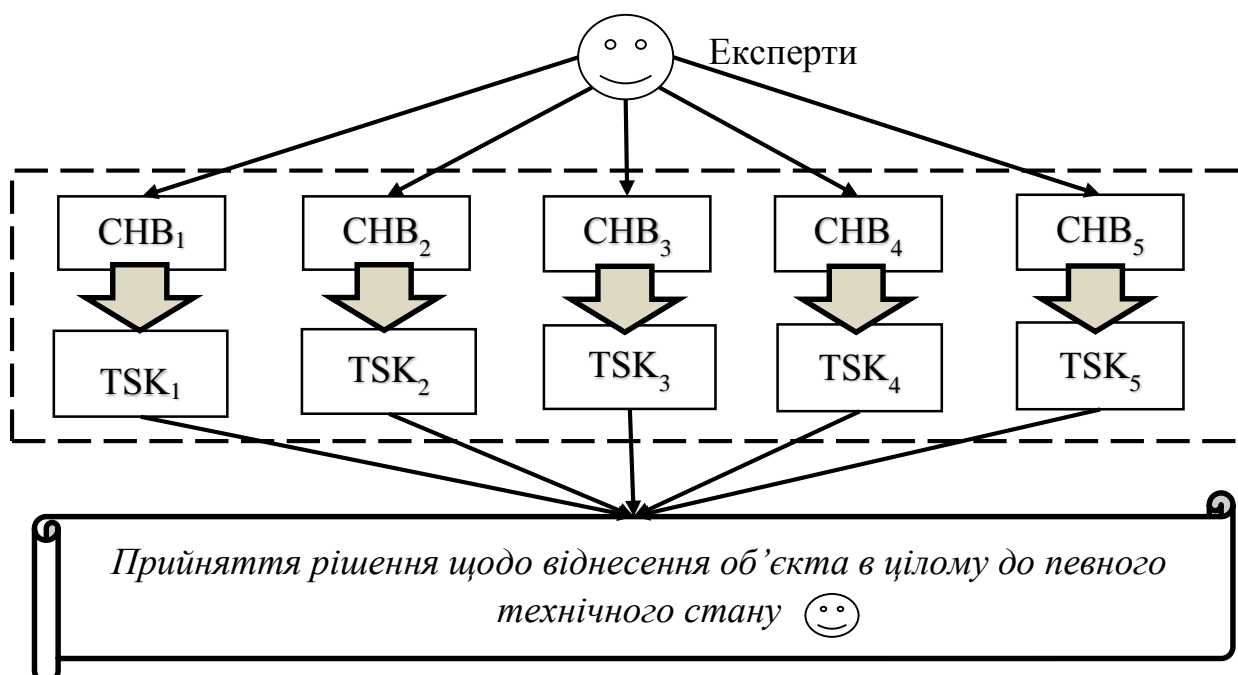


Рис.3.2. Структура нейро-нечіткої системи виведення ІСПІ ПОТС ОБ

Кожна пара  $СНВ_i - ТСК_i$  ( $i = \overline{1,5}$ ) призначається для оцінки ТС одного типу конструктивних елементів БіС, що являються найбільш вразливими до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, а саме:

- фундаменту;
- несучих конструкцій;
- жорсткосних схем;
- огорожувальних конструкцій;
- вузлів.

В даний час в пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB реалізовано моделі СНВ типу Мамдані та Сугено [98, 156].

Кожне правило в моделях зазначеного типу будується у вигляді (1.16) та (1.17), відповідно.

Моделі відрізняються форматом бази знань і процедурою дефазифікації.

База знань в СНВ типу Мамдані має вигляд [108]:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_{i,jp}) \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}. \quad (3.1)$$

Нечітка множина  $\tilde{y}$  (рис.1.11), яка ставиться у відповідність вхідному вектору  $X^*$ , визначається таким чином:

$$\tilde{y} = \text{agg} \left( \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \text{imp} \left( \mu_{d_j}(X^*), \mu_{d_j}(y) \right) / y \right), \quad (3.2)$$

де  $\text{imp}$  – імплікація, що зазвичай реалізується операцією знаходження мінімуму;  $\text{agg}$  – агреговані нечіткі множини, які найчастіше реалізуються операцією знаходження максимуму.

Таким чином, для розв'язання задач пояснень і обґрунтування експертних рішень, що вирішуються на етапі формування апріорної баз правил нечіткої бази знань СНВ (рис.1.11), доцільним є застосування моделі Мамдані, яка оперує лінгвістичними змінними та нечіткими множинами (11).

База знань СНВ Сугено аналогічна (3.1), за винятком висновків правил, які в цій моделі задаються лінійною функцією від вхідних значень [102]:

$$d_j = b_{j,0} = \sum_{i=1}^n b_{j,i} \cdot x_i. \quad (3.3)$$

Таким чином, база знань моделі Сугено є гібридною, оскільки її правила містять посилання у вигляді нечітких множин і висновки у вигляді чіткої лінійної комбінації. В такому випадку база знань СНВ типу Сугено може трактуватись як деяке розбиття простору суттєвих факторів на нечіткі підпростори, в кожному з яких значення функції відгуку визначається як лінійна комбінація входів з розмитими границями підпросторів.

Це означає, що одночасно можуть виконуватись декілька лінійних законів з різними вагами, а результуюче значення виходу визначається як суперпозиція лінійних залежностей (3.4) або (3.5):

$$y = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_{d_j}(X^*) \cdot d_j}{\sum_{j=1}^m \mu_{d_j}(X^*)}; \quad (3.4)$$

$$y = \sum_{j=1}^m \mu_{d_j}(X^*) \cdot d_j. \quad (3.5)$$

Використання в моделі Сугено ймовірнісного «або» і «множення» замість операцій «V» і «Λ» надає можливість розглядати нечітку модель типу Сугено як особливий клас багат шарових нечітких ШНМ прямого поширення сигналу, структура якої є ізоморфною базі знань СНВ.

Задача ідентифікації нелінійної залежності, що представлена вибіркою даних «вхід – вихід», полягає в знаходженні нечіткої моделі F, яка забезпечує мінімальне значення середньоквадратичного відхилення [91]:

$$R = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_r - F(X_r)) \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

де  $F(X_r)$  – значення виходу нечіткої моделі при значенні входів, які задані вектором  $X_r$ ;  $y_r$  – вихід в парі  $r = \overline{1, M}$  ( $M$  – розмірність вибірки).

Визначення структури та параметрів нечіткої моделі, які забезпечують мінімальне значення критерію (2.4) являє собою задачу ідентифікації, яка для СНВ типу Сугено набуває вигляду задачі математичного програмування щодо визначення вектора (I; B), який забезпечить умову (3.1):

$$\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_r - F(I, B, X_r)) \rightarrow \min, \quad (3.7)$$

де I – вектор параметрів; B – вектор коефіцієнтів функцій у висновках правил.

При виборі моделі для вирішення задачі автоматичної оцінки ТС об'єктів будівництва в дисертаційному дослідженні урахувалась можливість інтеграції СНВ типу Сугено з інструментальними засобами моніторингу (рис.1.10). При цьому розглядається питання використання СНВ типу Мамдані для вирішенні завдання автоматизації процесу набуття та накопичення експертних знань.

В роботах [91, 104, 105] показано, що при обробці чітких вхідних даних моделі Мамдані та Сугено працюють однаково.

В [75] запропоновано використовувати нечітку ШНМ категорії TSK для оцінки ТС будівельних конструкцій з пошкодженнями. Ця модель розроблялась для вирішення задач нечіткої класифікації і здатна до інтерпретації нечітких вхідних параметрів дефектів і пошкоджень реальних ОБ з пошкодженнями [103, 152].

Іншими критеріями вибору цієї ШНМ для оцінки ТС конструктивних елементів БіС, що експлуатуються в стохастичних динамічних умовах великих міст, стали можливість задавати правила функцією входів та здатність ШНМ до апроксимації нелінійних вхідних даних [100, 107, 157]. Це означає, що при відповідній обробці вхідних даних TSK може бути використана для автоматизації процесів підтримки рішень щодо оцінки ТС об'єктів будівництва в умовах накладання коливань і вібрацій різного характеру.

### **3.2. Архітектура і алгоритм навчання штучної нейро-нечіткої моделі Такаґи-Сугено-Канґа**

На рис.3.3 показано узагальнену архітектуру штучної нейро-нечіткої мережі TSK, що складається з п'яти шарів.

В кожному конкретному випадку архітектура нейромережі визначається кількістю вхідних змінних і кількістю правил [75, 94].

Для вхідних змінних  $x_n$  ( $n=\overline{1, N}$ ) та  $i$ -го ( $i=\overline{1, M}$ ) правила виведення мають вигляд [80, 94]:

$$\text{if } (x_1 \text{ is } A_1^{(i)}) \dots (x_n \text{ is } A_n^{(i)}) \dots (x_N \text{ is } A_N^{(i)}) \text{ then } y_i = \rho_{i0} + \sum_{n=1}^N \rho_{in} x_n. \quad (3.8)$$



де  $\rho_{in}$  – невідомі параметри ( $i=\overline{1, M}$ ;  $n=\overline{1, N}$ ).

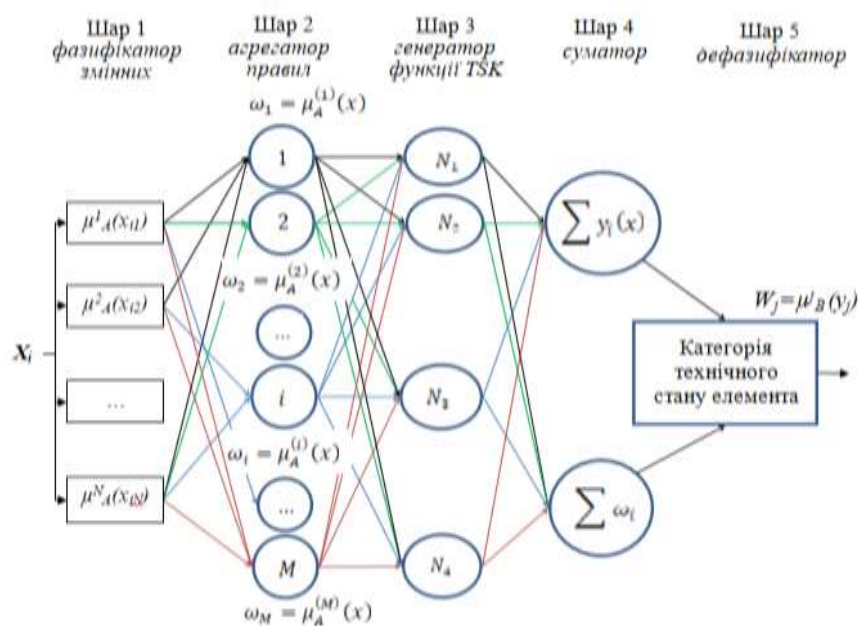


Рис.3.3. Узагальнена архітектура штучної нейро-нечіткої мережі TSK

1. Перший (параметричний) шар з параметрами  $c_n^i, \sigma_n^i, b_n^i$ , що підлягають адаптації в процесі навчання TSK, виконує фазифікацію змінних.

Умова ( $x_i$  is  $A_i$ ) правила (3.9) реалізується функцією фазифікації:

$$\mu_{A^i}(x_i) = 1 / \left( 1 + \left( (x_i - c_i) / \sigma_i \right)^{2b_i} \right). \quad (3.9)$$

2. Другий (непараметричний) шар виконує агрегування окремих змінних, які визначають результуюче значення ваги правила  $\omega_i = \mu_{A^i}^n(x)$  для вектора  $\vec{X}$ , тобто ваги  $\omega_i$  ШНМ інтерпретуються як значимість компонентів  $\mu_{A^i}^n(x)$ .

3. Третій шар (генератор функції TSK) розраховує значення  $y_i(x)$  згідно з (51), та здійснює множення  $y_i(x)$  на  $\omega_i$ , які сформовані в попередньому шарі.

Адаптації підлягають ваги  $\rho_{in}$  ( $i=\overline{1, M}$ ;  $n=\overline{1, N}$ ).

4. Четвертий (непараметричний) шар складають нейрони-суматори, що розраховують зважену суму сигналів  $y_i(x)$  і суму вагових коефіцієнтів  $\omega_i$  ( $i=\overline{1, M}$ ).

5. П'ятий (нормалізуючий) шар виконує агрегування вихідного сигналу мережі за формулою (3.10).

Агрегований вихідний результат ШНМ має вигляд:

$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^M \omega_i y_i}{\sum_{i=1}^M \omega_i}, \quad y_i(x) = \rho_{i0} + \sum_{n=1}^N \rho_{in} x_n. \quad (3.19)$$

Для оцінки ТС конструктивних елементів БіС вихідний параметр ШНМ ( $y$ ) приймає значення, що виражає ТС елемента (табл.1.3):

$$y \in Y = \{y_j\}, j = \overline{1,4}. \quad (3.11)$$

Параметри, що підлягають адаптації, розділяються на дві групи:

- перша складається з параметрів  $\rho_{ij}$  третього (лінійного) шару;
- друга складається з параметрів функції приналежності першого шару.

В процесі навчання TSK відбувається налаштування параметрів першого та третього шарів.

Налаштування параметрів здійснюється в два етапи.

*Етап 1. Розрахунок параметрів полінома TSK.*

Розв'язуються системи лінійних рівнянь для обчислення параметрів  $\rho_{in}$  ( $i=\overline{1,M}; n=\overline{1,N}$ ) полінома TSK при фіксованих значеннях функції приналежності.

*Етап 2. Розрахунок фактичних значень вихідних сигналів.*

Розраховуються фактичні значення вихідних сигналів  $y_k$  ( $k=\overline{1,P}$ ) при фіксованих лінійних параметрах  $\rho_{in}$ .

Алгоритм навчання штучної нейро-нечіткої мережі TSK описано в [80, 94].

### **3.3. Адаптація штучної нейро-нечіткої моделі Такаґи-Сугено-Канґа до вирішення задачі оцінки технічного стану будівельних конструкцій**

Для адаптації алгоритму навчання TSK до задачі оцінки ТС будівельних конструкцій вибрано варіант, при якому вихідний параметр мережі приймає значення, що виражає ТС конструкцій (табл.1.3).

$$y_i(x) = y_{i0} \quad y = \sum_{i=1}^m \omega_i y_{i0}. \quad (3.12)$$

де  $m$  – кількість різних значень (функцій приналежності) для кожної змінної  $x_T$ .

Навчання TSK може проводитись за алгоритмом з вчителем чи алгоритмом самоорганізації.

В роботі [94] запропоновано використовувати алгоритм навчання TSK з вчителем, в результаті якого мінімізується функція:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (y(x^{(i)}) - d^{(i)})^2, \quad (3.13)$$

де  $k$  – кількість пар  $(x, d)$  для навчання,  $d^{(i)}$  – значення вихідного сигналу мережі, що є на виході при значеннях компонентів  $\mu_A^{(i)}(x)$ .

*1 етап. Адаптація лінійних параметрів.*

На вхід мережі подаються значення  $\{x_i\}$ .

Для інтерпретації значимості компонентів  $\mu_A^{(i)}(x)$  розв'язується система лінійних рівнянь виду:

$$W \cdot \vec{Y} = \vec{d}, \quad (3.14)$$

де:  $W = (\omega'_{in})$ ;  $\omega'_{in}$  – рівень активації  $n$ -го правила для вектора  $\vec{X}^{(k)} = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_N^k)$ ;  $\vec{Y}^{(k)} = (y_{10}^k, y_{20}^k, \dots, x_{M0}^k)$  та  $\vec{d}$  – вихідні значення.

Розмірності  $\vec{Y}$  та  $\vec{d}$  дорівнюють  $M$  та  $K$ , а розмірність  $W$  дорівнює  $K \cdot M$ .

Значення  $\omega'_{in}$  знаходяться за формулою:

$$\omega'_{ij} = \frac{\prod_{n=1}^N \mu_A^{(i)}(x_n^{(k)})}{\sum_{i=1}^M \left[ \prod_{n=1}^N \mu_A^{(i)}(x_n^{(k)}) \right]}. \quad (3.15)$$

В якості  $\mu_A(x_i)$  пропонується розглянути міру приналежності у вигляді:

$$\mu_A(x_i) = \frac{1}{1 + \left( \frac{x_i - c_i}{\sigma_i} \right)^2}. \quad (3.16)$$

При цьому кількість рядків  $K$  більше, ніж кількість стовпців (змінних).

Розв'язок системи знаходиться з рівняння  $\vec{Y} = W^+ \cdot \vec{d}$ ; де  $W^+$  – псевдоінверсія матриці  $W$  [80].

*2 етап. Уточнення нелінійних параметрів.*

Після обчислення значень  $y_i$  ( $i = \overline{1, K}$ ) обчислюється похибка  $\vec{E} = |\vec{d} - \vec{y}|$ , для мінімізації якої використовуються методи градієнтного спуску чи випадкового пошуку. Із методів випадкового пошуку для вирішення даної задачі підходять метод «імітації отжига» і прямий метод випадкового пошуку. Проте, задача оцінки ТС будівельних конструкцій передбачає обробку дуже великої кількості вхідних

параметрів  $N$ . При таких умовах оптимальна кількість правил  $M = m^N$  також дуже велика, тому використання методів градієнтного спуску і методу «імітації отжига» вимагає більших обчислювальних ресурсів, ніж прямий метод випадкового пошуку.

Метод градієнтного спуску для мережі TSK описано в [80].

Для навчання мережі пропонується прямий метод випадкового пошуку.

Для параметрів  $\{c_i\}$  та  $\{\sigma_i\}$ :

- визначаються допустимі межі  $\{[c_i^H; c_i^B]\}$  та  $\{[\sigma_i^H; \sigma_i^B]\}$ ;
- моделюються випадкові величини  $\xi_i \in \{[c_i^H; c_i^B]\}$  та  $\eta_i \in \{[\sigma_i^H; \sigma_i^B]\}$ , які рівномірно розподілені в цих інтервалах;
- знаходиться вектор похибки  $\vec{E}$ .

Навчання здійснюється до тих пір, поки похибка досягне заданого значення.

Після уточнення нелінійних параметрів запускається процес адаптації лінійних параметрів TSK (перший етап).

На вхід кожної  $TSK_i$  подаються параметри характерних пошкоджень конструктивних елементів, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень (табл.3.1).

В табл.3.1 прийняті такі позначення матеріалу, з якого виготовлені конструктивні елементи БіС: Б – бетон; Ме – метал; Ка – камінь; Д – дерево. При цьому кількість нейронів першого та другого шару визначається правилами нормативно-правових актів, згідно з якими виконується оцінка ТС елемента.

Множина вхідних даних, що характеризують ТС кожного типу конструктивних елементів, задається у вигляді вектора  $\vec{X}_1 = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}\}$ , що формується на основі аналізу матеріалів БТЕ і науково-технічних звітів щодо оцінок ТС об'єктів БТЕ.

Отримані на виході кожної  $TSK_i$  значення  $y_j^*$  подаються на вхід підсистеми оцінки ТС об'єкта в цілому (рис.3.2).

Таблиця 3.1

Результати адаптації  $TSK_i$  до вирішення задачі оцінки технічного стану конструктивних елементів

№	Вид елемента (номер елемента)	Вектор вхідних даних ( $J$ – кількість термів)	Кількість нейронів ( $N$ ) шару 1	Кількість нейронів ( $M$ ) шару 2
1	Фундамент ( $i=1$ )	$\vec{X}_1 = (\overset{1}{x}_1 ; \dots ; \overset{1}{x}_J)$ ,	$N=5$	$M=5$
2	Конструкції несучі ( $i=2$ )	$\vec{X}_2 = (\overset{2}{x}_1 ; \dots ; \overset{2}{x}_J)$ ,	$N(Б)=5,$ $N(Ме)=6,$ $N(Ка)=5,$ $N(Д)=5$	$M(Б)=6,$ $M(Ме)=3,$ $M(Ка)=3,$ $M(Д)=3$
3	Жорсткісна схема ( $i=3$ )	$\vec{X}_3 = (\overset{3}{x}_1 ; \dots ; \overset{3}{x}_J)$ ,	$N(Б)=5,$ $N(Ме)=6,$ $N(Ка)=5,$ $N(Д)=5$	$M(Б)=6,$ $M(Ме)=3,$ $M(Ка)=3,$ $M(Д)=3$
4	Конструкції огорожувальні ( $i=4$ )	$\vec{X}_4 = (\overset{4}{x}_1 ; \dots ; \overset{4}{x}_J)$ ,	$N=4$	$M=2$
5	Вузли ( $i=5$ )	$\vec{X}_5 = (\overset{5}{x}_1 ; \dots ; \overset{5}{x}_J)$ ,	$N(Б)=5,$ $N(Ме)=6,$ $N(Ка)=5,$ $N(Д)=5$	$M(Б)=6,$ $M(Ме)=3,$ $M(Ка)=3,$ $M(Д)=3$

Рішення щодо віднесення об'єкта в цілому до певного ТС запропоновано формувати згідно з [151, 158, 159]:

$$T(z) = \sum_{m=1}^4 \tilde{z}_m P(T_m), \quad (3.17)$$

де:  $\tilde{z}_m$  – «характерне» для терма  $T_m$  значення ( $\tilde{z}_m \in Z, m=\overline{1,4}$ );  $P(T_m)$  – ймовірність того, що вихідна лінгвістична змінна прийняла це значення.

При цьому розглядається можливість застосування Байєсівського логіко-ймовірнісного підходу до дефазифікації значення вихідної змінної  $z^*$ , що ґрунтується на обчисленні математичного сподівання при прогнозуванні ТС елементів з використанням СНВ.

Таким чином, Байєсівський логіко-ймовірнісний метод дефазифікації відповідає вимогам неперервності в силу властивостей математичного сподівання.

Вимога правдоподібності забезпечується тим, що значення  $z^*$ , в залежності від значення ймовірностей в розподілі,  $\{P(T_m)\}$ ,  $m = \overline{1,4}$ , зміщується в область «характерного» значення найбільш ймовірного терма вихідної змінної.

Однозначність запропонованого методу дефазифікації не нижче, ніж однозначність традиційних методів, що обумовлено застосуванням нормативно-правових актів і спеціальних експертних знань при виборі «характерних» значень кожного з термів відповідних функцій приналежності. Окрім того, Байєсіської логіко-ймовірнісний підхід не передбачає побудови штучного результуючого терму  $T_R$  вихідної лінгвістичної змінної, за рахунок чого знижується його обчислювальна складність у порівнянні з підходами, що використовують для дефазифікації формули (1.12) – (1.15).

### **Висновки до розділу 3**

1. Запропоновано концептуальну модель гібридної інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва, що ґрунтується на знаннях. В основу роботи системи покладено нейро-нечітку систему виведення з інтегрованою нечіткою нейронною мережею категорії Такаґи-Сугено-Канґа.

2. Описано узагальнену архітектуру штучної нечіткої нейронної мережі Такаґи-Сугено-Канґа та алгоритм її навчання.

3. Здійснено адаптацію моделі нейро-нечіткого виведення до вирішення задачі оцінки технічного стану конструктивних елементів будівель і споруд, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень. Для цього визначено кількість суттєвих вхідних змінних та кількість правил для оцінки ТС кожного з конструктивних елементів.

4. Розглянуто переваги, які забезпечується застосуванням Байєсіського логіко-ймовірнісного підходу до дефазифікації значення вихідної змінної.

## **РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА В ПРОЦЕС ПРОВЕДЕННЯ БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ**

На основі існуючих методів та засобів моделювання поведінки будівельних конструкцій в умовах вібродинамічних навантажень та проведеного моделювання процесу експертної оцінки технічного стану об'єктів будівництва розроблено технологію формування апріорної бази знань системи нечіткого виведення ІСП ПОТС ОБ. Обробку узагальнених експертних знань реалізовано системою нечіткого виведення типу Мамдані в програмному пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB. Послідовність проведення оцінки технічного стану будівель і споруд з накопиченим фізичним зносом представлено у вигляді, прийнятному для обробки експертами.

### **4.1. Етапи формування бази знань ІСП ПОТС ОБ**

База знань інтелектуальної системи оцінки технічного стану об'єктів будівництва формується з різних джерел, які являють собою:

- дані впровадженої в Україні обов'язкової системи містобудівного кадастру, що регулярно наповнюється звітами про ТС об'єктів з дефектами;
- напрацювання державних судово-експертних установ, які доступні для узагальнення та надання інформації в базу знань ННСВ;
- ресурс для узагальнення та аналогій оцінки ТС об'єктів, що створені з використанням ВІМ, який з часом буде зростати з впровадженням обов'язкового застосування ВІМ у практику проектування та обстеження БіС.

Одним із основних напрямків набуття знань про динаміку втрати експлуатаційних якостей ОБ внаслідок впливу різних факторів середовища є аналіз і обробка статистичних даних, що отримуються в процесі моніторингу та експертної діагностики їх ТС [72, 96, 160].

За результатами проведення натурного обстеження ОБ, експертом заповнюється «дата-лист» – уніфікований формуляр, який містить в собі складові

всіх можливих вихідних даних для формування вектору, що в подальшому подається на вхід ННСВ. Зазначений формуляр є тотожним тому, який використовується при проведенні натурального обстеження, але він фактично заповнюється «постфактум» за результатами вже проведеного дослідження.

Для узагальнення та приведення даних містобудівного кадастру з оцінки технічного стану БіС різного призначення має використовуватися спеціальна програма-адаптер, що передаватиме наявну інформацію в вигляді «дата-листа» для вводу в ІСП ПОТС ОБ (рис. 3.1). Проте, впровадження в будівельну галузь комп'ютеризованих експертних систем обмежується низкою проблем, які пов'язані зі збиранням, обробкою і накопиченням потрібних даних у тому вигляді, в якому вони в даний час отримуються від експертів при обстеженні БіС [115, 161].

Для подолання цих проблем в роботі на *першому етапі* формування бази знань ІСП ПОТС ОБ виконується накопичення статистичних даних, які наповнюють банк еталонів та являють собою підґрунтя для створення бази знань ННСВ, експертам запропоновано використовувати Adobe Forms Central (рис.4.1).

Акт обстеження на наявність дефектів будівлі (споруди)

Назва будівлі, адреса:  Дата:

Детальні дані:

Фундамент:  наявність

Трещини цоколю:

Глибокі:  Дрібні:  Скряпані:  Скряпані прогнатуровані:

Рис.4.1. Приклад форми акту обстеження фундаменту БіС в Adobe Forms Central

За наведеною на рис. 4.1 аналогією складаються форми по кожному дефекту для СНВ<sub>i</sub>, що реалізується для і-ї конструкції.



Альтернативою Adobe Forms Central можуть бути форми, створені в як в локальних цифрових програмних комплексах, – Microsoft Excel, Microsoft Access, так і в мережових – Google Forms.

*На другому етапі* для кожного виду конструктивних елементів, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від вібродинамічних навантажень зовнішнього середовища формується відповідна нечітка база знань систем нечіткого виведення (рис. 1.11).

При визначенні дефектів і пошкоджень окремих конструктивних елементів БіС в ході спостереження за його експлуатацією, технічних оглядів та обстежень експертам рекомендовано орієнтуватись на такий перелік найбільш імовірних ділянок дефектів і пошкоджень, дані про які рекомендовано включати в умову нечітких імплікацій (1.3):

- для основ – у зонах складування важких вантажів, біля колон, стін, фундаментів, опор, які несуть великі навантаження, у місцях зволжених ґрунтів та вібраційних чи ударних навантажень;

- для фундаментів – у зонах зволоження ґрунтів, у зонах дії вібрацій, ударних навантажень, привантажень, влаштуванні близько розташованих котлованів, при невпорядкованих водовідливів та водозниженні;

- для колон – у найбільш напружених зонах стику з фундаментом, біля консолей, у стиках збірних колон по висоті, поблизу підлоги, де можливе попадання агресивної рідини чи механічне пошкодження транспортом та навантажувально-розвантажувальними засобами, у вузлах стикування з ригелями перекриттів та покриттів;

- для балок, ферм та плит перекриттів – у зоні дії максимальних згинальних моментів, поперечних сил, передачі зосереджених зусиль, дії вібраційних та ударних навантажень, агресивних рідин, газів, пилу, в місцях стикування;

- для покриттів – у місцях підвищеного зволоження, пошкоджень з боку приміщень, накопичень технологічного пилу, на ділянках з підвищеною щільністю утеплювача або насичення його вологою;

- для стін – у місцях підвищеного зволоження з заморожуванням та відтаванням, у стиках панельних стін, у приляганнях до підлоги та перекриття.

На третьому етапі апріорні експертні знання у вигляді нечітких правил завантажуються в СНВ, що реалізована в програмному пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB.

На четвертому етапі проводиться навчання штучної нейронної мережі, яке полягає в налаштуванні параметрів правил ННСВ.

На п'ятому етапі здійснюється інтеграція ІСП ПОТС ОБ в процес проведення БТЕ, що передбачає розробку методичних рекомендацій щодо проведення оцінки технічного стану будівель і споруд на предмет відповідності об'єктів вимогам нормативно-правових актів та інструкцій з проведення БТЕ з використанням ІСП ПОТС ОБ та ВІМ новітніх інформаційних систем і технологій та дефіцит кадрів, підготовлених для роботи з ВІМ.

#### 4.2. Формування апріорної бази знань системи нечіткого виведення ІСП ПОТС ОБ в пакеті Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB

На рис. 4.2 представлено загальний вигляд програми Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB [162, 163].

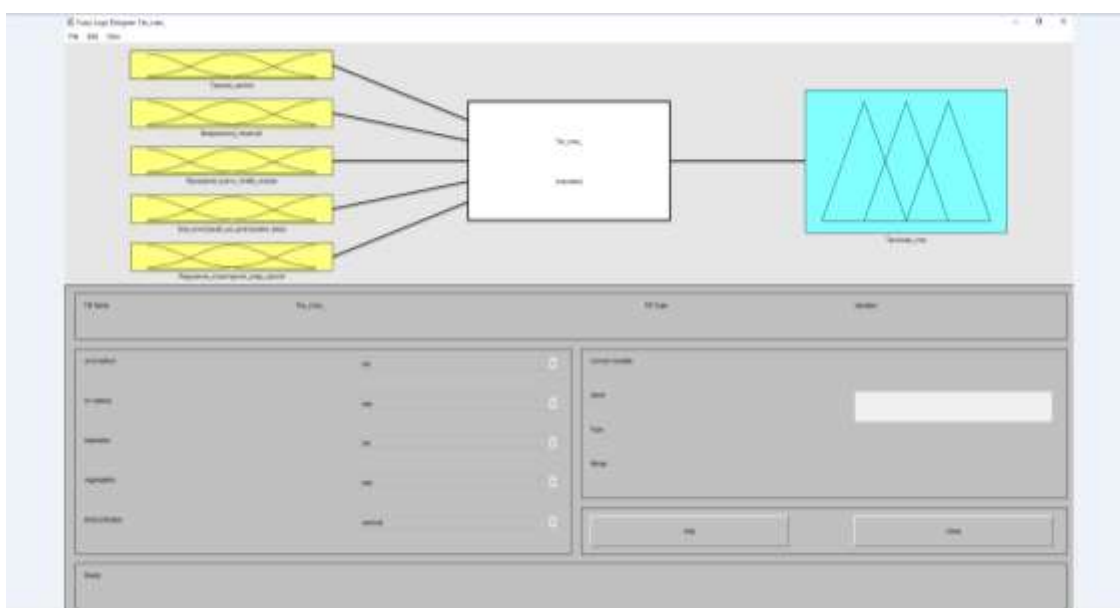


Рис.4.2. Загальний вигляд програми Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB

На рис. 4.3 – 4.8 показано фрагменти апріорної бази знань, що відображають процес визначення ТС об'єкта за наявними дефектами і пошкодженнями основ і фундаментів, які були виявлені в ході спостереження за його експлуатацією, при технічних оглядах та обстеженнях. При виборі фрагментів в цьому розділі дисертаційної роботи витримувалась послідовність формування апріорної бази правил в СНВ типу Мамдані.

Міру впливу кожного пошкодження на ТС конструктивного елемента БіС показано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Фрагмент попередньої обробки вхідної інформації для навчання TSK<sub>1</sub>

Конструктивний елемент – фундамент (3.1)							
№	Вид пошкодження (лінгвістична змінна)	Нечіткий опис та інтерпретація координат вектора вхідних даних	Міра впливу пошкодження на ТС елемента	Вага впливу на ТС об'єкта в цілому			
1	Тріщини цоколя (ТЦ)	відсутні ( ${}_1x_1 = 0$ )	${}_1\mu_A^1({}_1x_1) \in [0; 0,15]$	$W_j = \mu_B^j(y_j) \in [0; 0,3]$ (формули (38), (39), (47), рис.3.3)			
		дрібні ( ${}_1x_2 = 1$ )	${}_1\mu_A^2({}_1x_2) \in [0,15; 0,25]$				
		глибокі ( ${}_1x_3 = 2$ )	${}_1\mu_A^3({}_1x_3) \in [0,2; 0,35]$				
		наскрізні ( ${}_1x_4 = 3$ )	${}_1\mu_A^4({}_1x_4) \in [0,2; 0,5]$				
		наскрізні прогресуючі ( ${}_1x_5 = 4$ )	${}_1\mu_A^5({}_1x_5) \in [0,5; 1]$				
2	Викривлення геометрії (ВГ)	відсутнє ( ${}_2x_1 = 0$ )	${}_2\mu_A^1({}_2x_1) \in [0; 1]$	$W_j = \mu_B^j(y_j) \in [0; 0,3]$ (формули (38), (39), (47), рис.3.3)			
		наявне ( ${}_2x_2 = 1$ )	${}_2\mu_A^2({}_2x_2) \in [0; 1]$				
3	Просідання ґрунту та/або основи (ПГО)	місцеві ( ${}_3x_1 = 1$ )	${}_3\mu_A^1({}_3x_1) \in [0; 1]$		$W_j = \mu_B^j(y_j) \in [0; 0,3]$ (формули (38), (39), (47), рис.3.3)		
		загальні незначні ( ${}_3x_2 = 2$ )	${}_3\mu_A^2({}_3x_2) \in [0; 1]$				
		загальні значні ( ${}_3x_3 = 3$ )	${}_3\mu_A^3({}_3x_3) \in [0; 1]$				
4	Місцеві вибоїни, відколи, порушення штукатурного шару цоколя (ПШШЦ)	відсутнє ( ${}_4x_1 = 0$ )	${}_4\mu_A^1({}_4x_1) \in [0; 1]$			$W_j = \mu_B^j(y_j) \in [0; 0,3]$ (формули (38), (39), (47), рис.3.3)	
		наявне ( ${}_4x_2 = 1$ )	${}_4\mu_A^2({}_4x_2) \in [0; 1]$				
5	Зсув конструкцій (ЗК), розташованих вище; викривлення прорізів	відсутнє ( ${}_5x_1 = 0$ )	${}_5\mu_A^1({}_5x_1) \in [0; 1]$				$W_j = \mu_B^j(y_j) \in [0; 0,3]$ (формули (38), (39), (47), рис.3.3)
		наявне ( ${}_5x_2 = 1$ )	${}_5\mu_A^2({}_5x_2) \in [0; 1]$				

Терм-множини вихідної лінгвістичної змінної, що описують ТС об'єкта дослідження визначається згідно з табл.4.2.

Таблиця 4.2

## Оцінка параметре «ТС» об'єкта будівництва

Категорія ТС	Лінгвістична оцінка (терм)	Інтервальна оцінка
«1»	Нормальний (Н)	[0; 0,25]
«2»	Задовільний (З)	[0,15; 0,45]
«3»	Непридатний до експлуатації (Не)	[0,35; 0,75]
«4»	Аварійний (А)	[0,65; 1]

При виборі об'єктів моделювання основна увага приділялась дослідженню БіС, що функціонують в охоронній зоні маршрутів рейкового наземного транспорту.

При виборі вхідних параметрів впливу на ТС конструктивних елементів відбирались найбільш імовірні пошкодження, що з'являються при влаштуванні близько розташованих котлованів, а також в зонах дії ударних навантажень і вібродинамічних навантажень транспортних магістралей. При виборі функцій приналежності урахувався узагальнений експертний досвід.

При цьому системний аналіз експертного досвіду показав, що в процесі оцінки ТС об'єктів будівництва:

- експерти переважно використовують Гаусові функції приналежності, сплайни або сигмоїд;
- математичне сподівання параметрів функцій приналежності визначається нормативно-правовими актами,
- моменти вищих порядків визначаються експертами на основі знань та досвіду, що набутий ними в процесі проведення БТЕ різноманітних об'єктів-аналогів.

Для параметра «ТЦ» введено такий набір терм-множини лінгвістичних змінних  $L_n = \{ \text{відсутні, дрібні, глибокі, наскрізні, наскрізні прогресуючі} \}$  (рис.4.3).

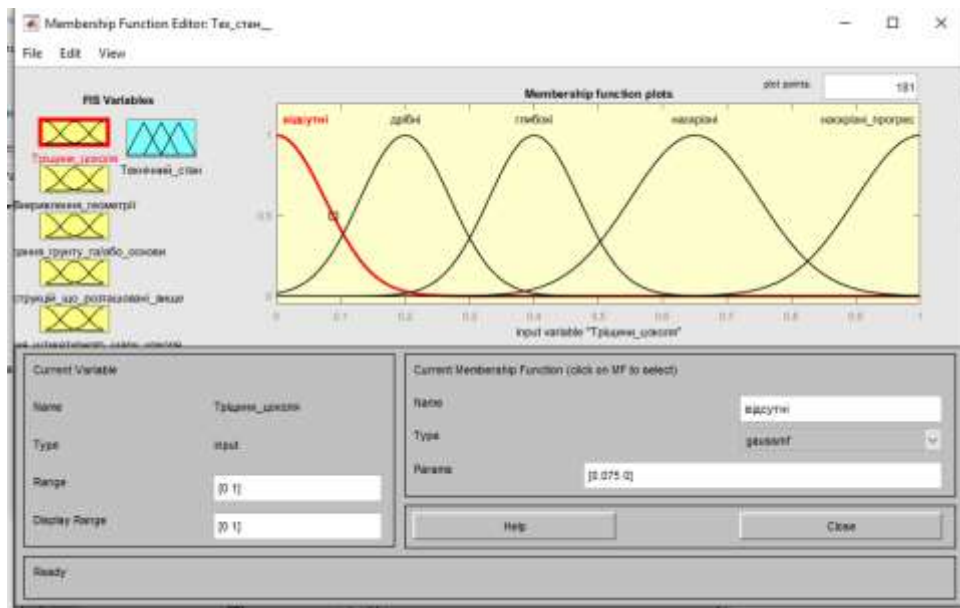


Рис.4.3. Моделювання функції приналежності вхідного параметру «ТЦ»

Для параметра «ВГ» введено такий набір терм-множини лінгвістичних змінних  $L_n = \{\text{відсутні, наявні}\}$  (рис.4.4).

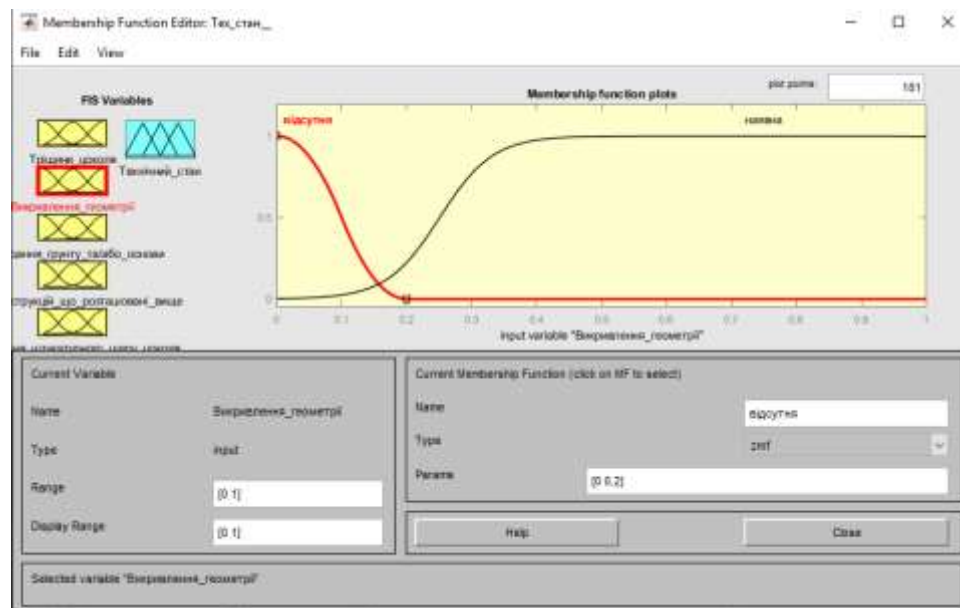


Рис.4.4. Моделювання функції приналежності вхідного параметру «ВГ»

Для параметра «ПГО» введено терм-множини лінгвістичних змінних  $L_n = \{\text{місцеві, загальні незначні, загальні значні}\}$  (рис. 4.5).

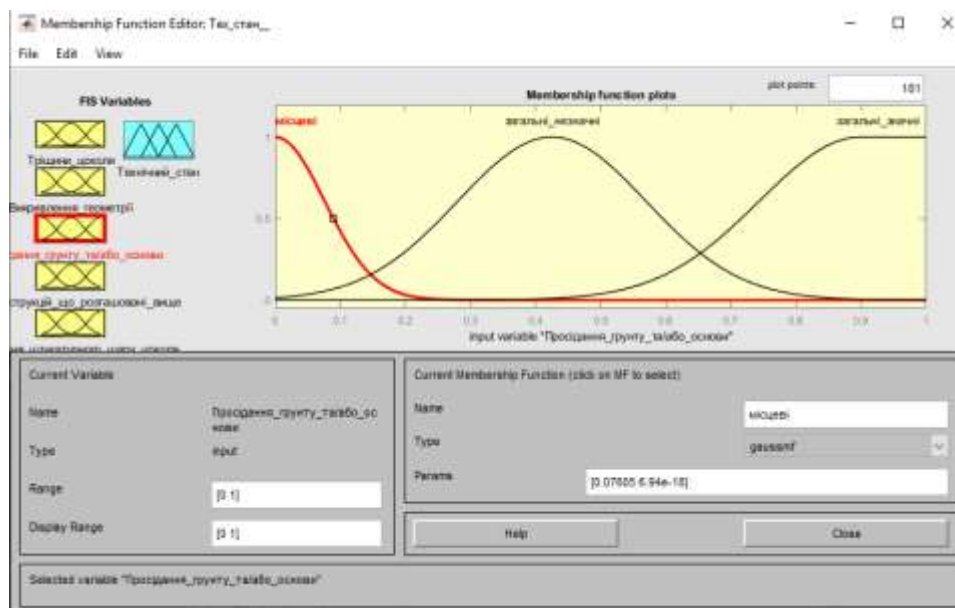


Рис.4.5. Моделювання функцій приналежності вхідного параметру «ПГО»

На рис.4.5 терм лінгвістичної змінної *«загальні незначні»* характеризує пошкодження, що визначені в межах проекту, а терм *«загальні значні»* – пошкодження, параметри яких виходять за межі проектних значень.

Для параметра «ПШШЦ» введено такий набір терм-множини лінгвістичних змінних  $L_n = \{\text{відсутні, наявні}\}$  (рис. 4.6).

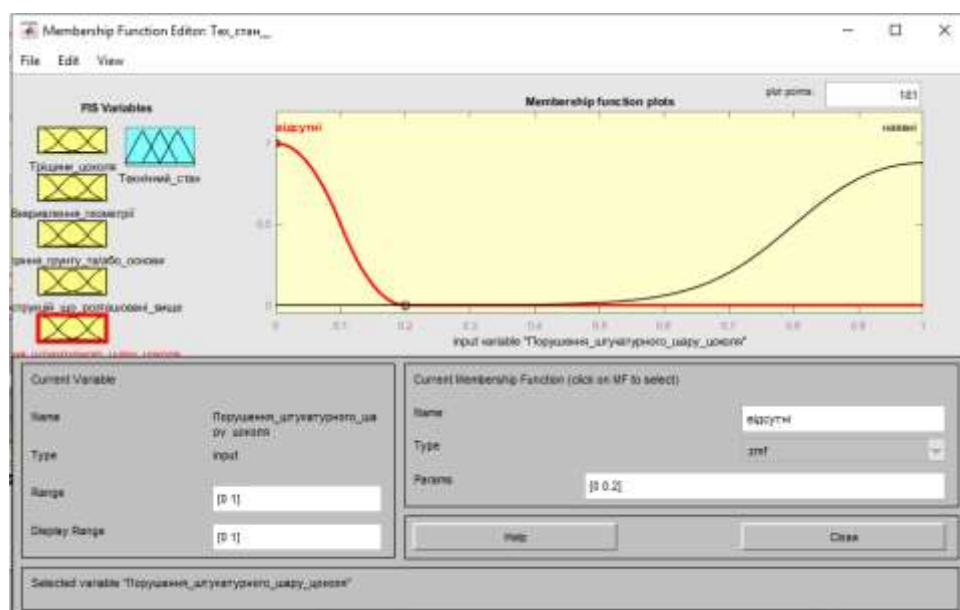


Рис.4.6. Моделювання функції приналежності вхідного параметру «ПШШЦ»

Для параметра «ЗК» введено терм-множини лінгвістичних змінних  $L_n = \{\text{відсутні, наявні}\}$  (рис. 4.7).

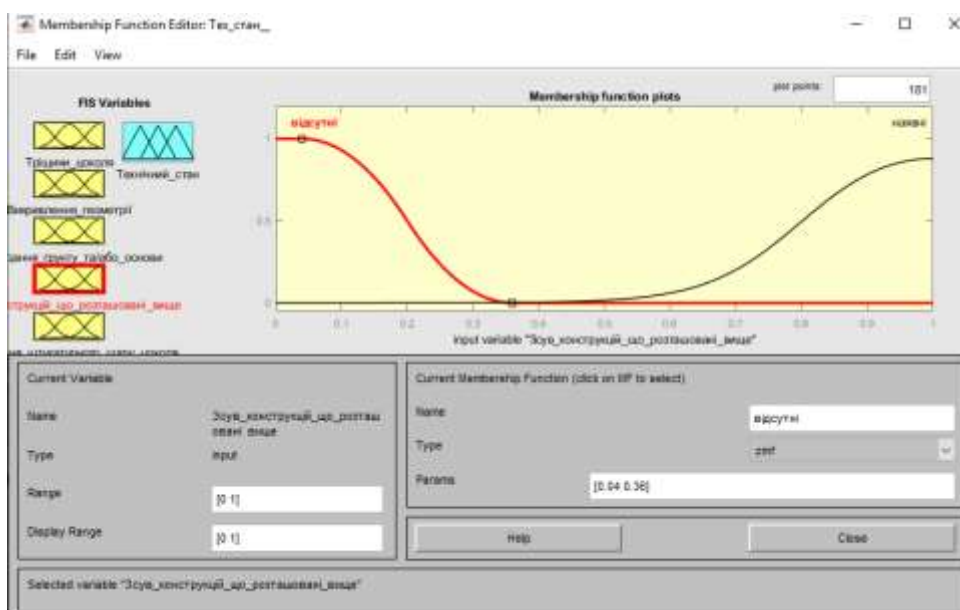


Рис.4.7. Моделювання функцій приналежності вхідного параметру «ЗК»

На рис. 4.8, у відповідності з табл. 4.2, визначено ТС вхідних лінгвістичних змінних ТС об'єкта «фундамент».

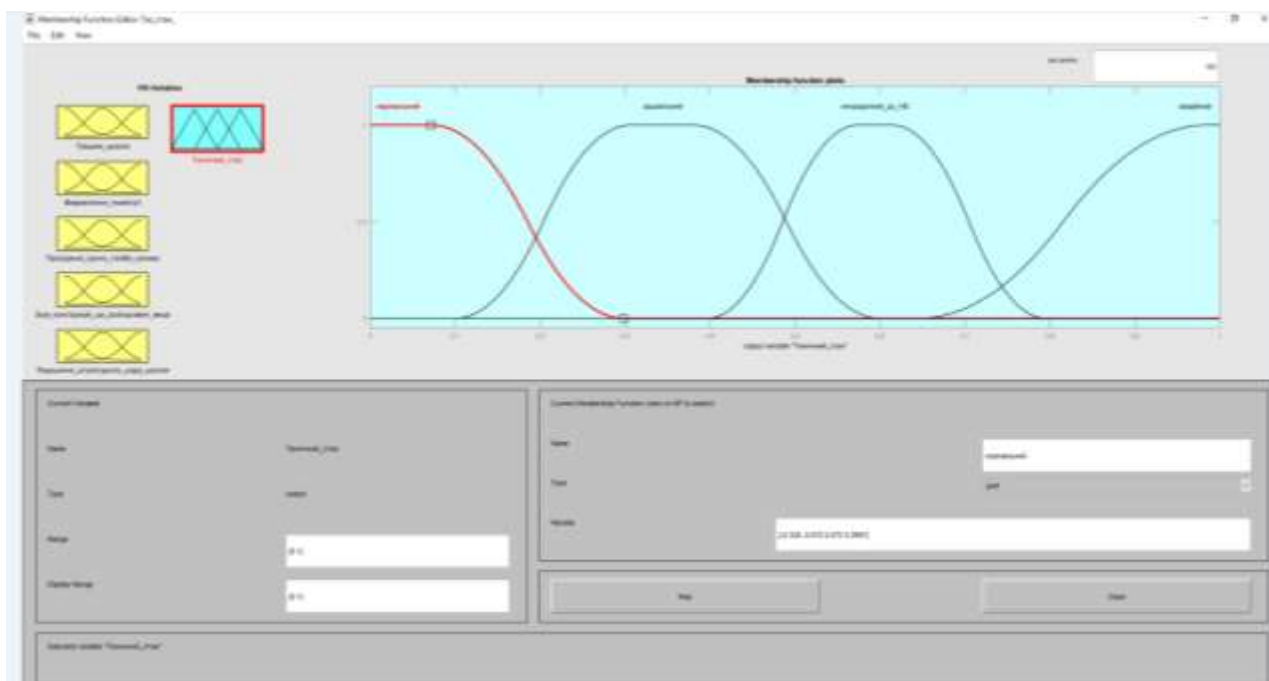


Рис.4.8. Моделювання функцій приналежності вхідного параметру «ТС»

В результаті оцінки ТС конструктивних елементів з використанням різних функцій приналежності (табл. 1.4) та порівняльного аналізу результатів моделювання з результатами натурних експертних досліджень визначено вид функцій приналежності, використання яких найкраще відтворює реальний стан (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

## Компоновані дефекти конструкцій фундаментів (i=1)

№	Вид пошкодження чи дефекту (нечіткий терм)	Класифікація дефекту	Вид функції приналежності
1	ТЦ	Відсутні	Гаусова_2; сплайн_1
		Дрібні	Гаусова_1
		Глибокі	Гаусова_1
		Наскрізні	Гаусова_1
		Наскрізні прогресуючі	Гаусова_2; сигмоїд
2	ВГ	Відсутнє	Гаусова_1; сплайн_1, 2
		Наявне	Сигмоїд
3	ПГО	Місцеві	Гаусова_1; сплайн_1, 2
		Загальні незначні	Гаусова_1
		Загальні значні	Гаусова_2
		Прогресуючі	Гаусова_2; сигмоїд
4	ПШШЦ	Відсутнє	Гаусова_1; сплайн_1, 2
		Наявне	Сигмоїд, сплайн
5	ЗК	Відсутнє	Гаусова_2; сигмоїд
		Наявне	Гаусова_2; сигмоїд

На рис.4.9. показано результат роботи СНВ, що полягає в формуванні системи правил для оцінки ТС об'єкта «фундамент», які є основою бази знань системи нечіткого виведення ІСП ПОТС ОБ.

При моделюванні ТС об'єктів БТЕ було визначено, що найкращий результат забезпечувався при використанні функцій приналежності типу трапецієвидна і Гауса\_2.



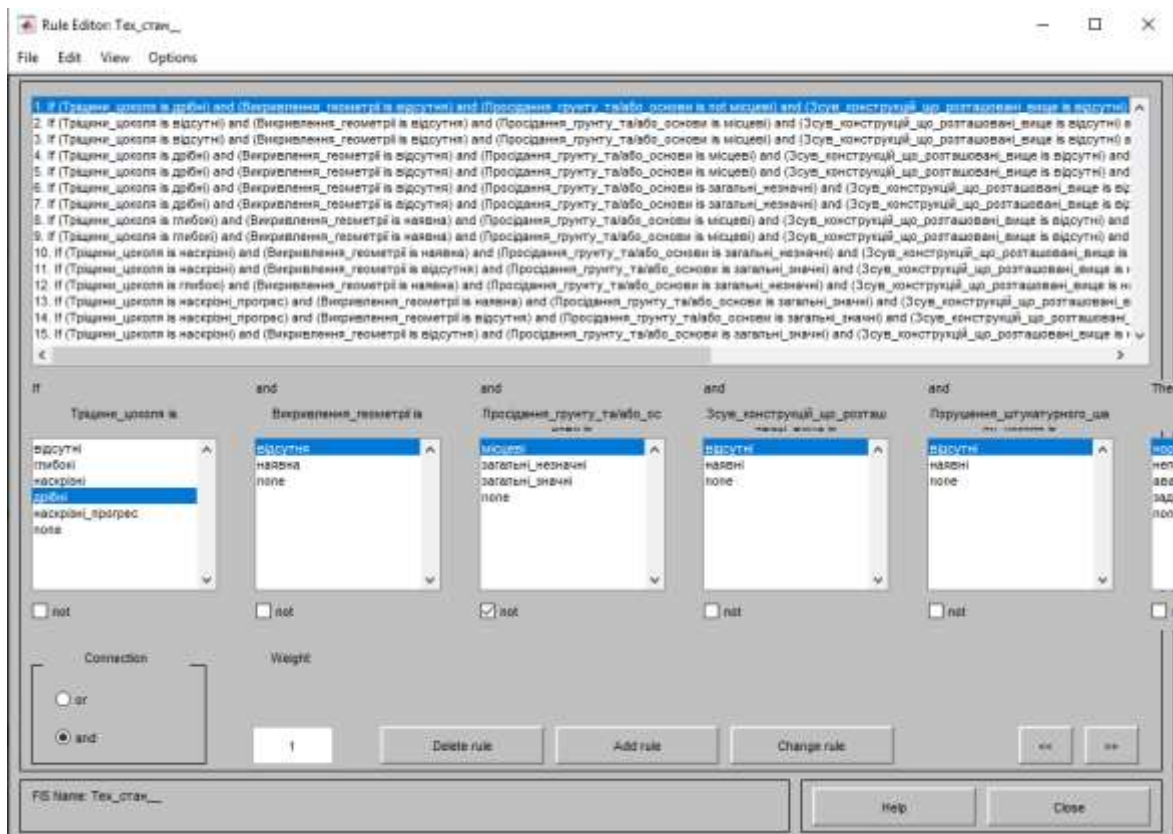


Рис.4.9. Система апріорних правил нечіткої бази знань для оцінки ТС об'єкта

Побудовані в моделі СНВ правила характеризуються мірою впевненості експерта, що дорівнює 1, і мають вигляд:

1. Якщо ТЦ = «дрібні» та ВГ «відсутні»  
та ЗК «відсутні»  
та ПШШЦ «відсутні»  
то ТС = «нормальний»;

(4.1)

2. Якщо ТЦ = «відсутні» та ВГ «відсутні»  
та ПГО «місцеві» та ЗК «відсутні»  
та ПШШЦ «відсутні»  
то ТС = «нормальний»;

(4.2)

3. Якщо ТЦ = «відсутні»  
та ВГ «відсутні»  
та ПГО «місцеві»

(4.3)

та ЗК «відсутні»  
та ПШШЦ «наявні»  
то ТС = «нормальний»;

4. Якщо ТЦ = «дрібні» (4.4)

та ВГ «відсутні» та ПГО «місцеві»  
та ЗК «відсутні» та ПШШЦ «відсутні»  
то ТС = «задовільний»;

5. Якщо ТЦ = «дрібні» (4.5)

та ВГ «відсутні»  
та ПГО «місцеві»  
та ЗК «відсутні»  
та ПШШЦ «наявні»  
то ТС = «задовільний»;

6. Якщо ТЦ = «дрібні» (4.6)

та ВГ «відсутні»  
та ПГО «загальні незначні»  
та ЗК «наявні»  
та ПШШЦ «наявні»  
то ТС = «задовільний»;

7. Якщо ТЦ = «дрібні» (4.7)

та ВГ «відсутні»  
та ПГО «загальні незначні»  
та ЗК «відсутні» та ПШШЦ «відсутні»  
то ТС = «задовільний».

На рис. 4.10 показано результат обробки всіх правил, що завантажені в базу знань системи нечіткого виведення ІСП ПОТС ОБ.

Згідно з 4.10 числове значення оцінки «ТС» об'єкта дорівнює 0,105, що відповідає лінгвістичній оцінці «Н».

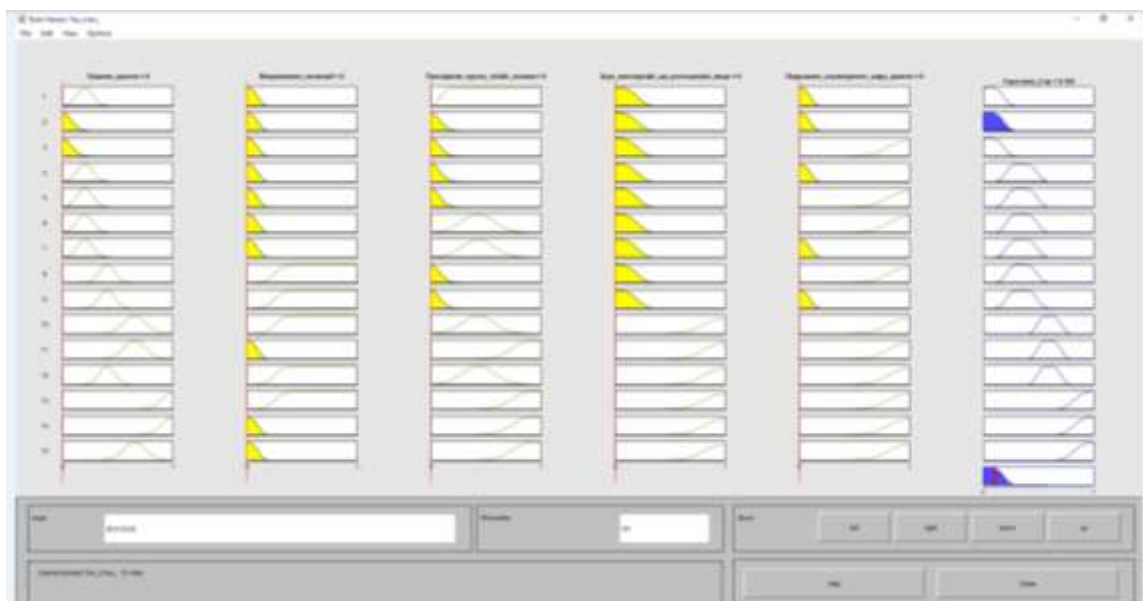


Рис.4.10. Результат обробки всіх правил, що завантажені в базу знань СНВ

На рис. 4.11, 4.12 червоною вертикальною лінією показано результати прогнозування ТС об'єкта для різних сценаріїв розвитку експлуатаційних пошкоджень, заданих з різною імовірністю.

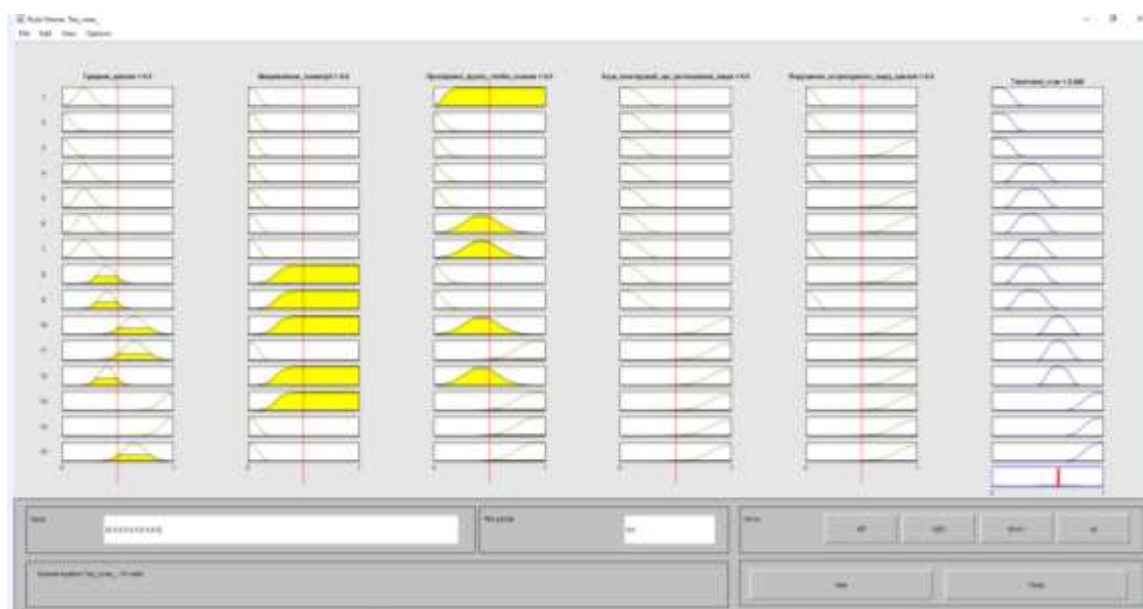


Рис.4.11. Результат прогнозування за «Сценарієм 1»

Результатом прогнозування СНВ типу Мамдані, яка реалізована в ПП Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB, є чітке значення вихідного параметра, що:

- згідно зі сценарієм 1 приймає значення 0,596, що відповідає лінгвістичній оцінці ТС конструкції «Не»;
- згідно зі сценарієм 2 приймає значення 0,798, що відповідає лінгвістичній оцінці ТС конструкції «А».

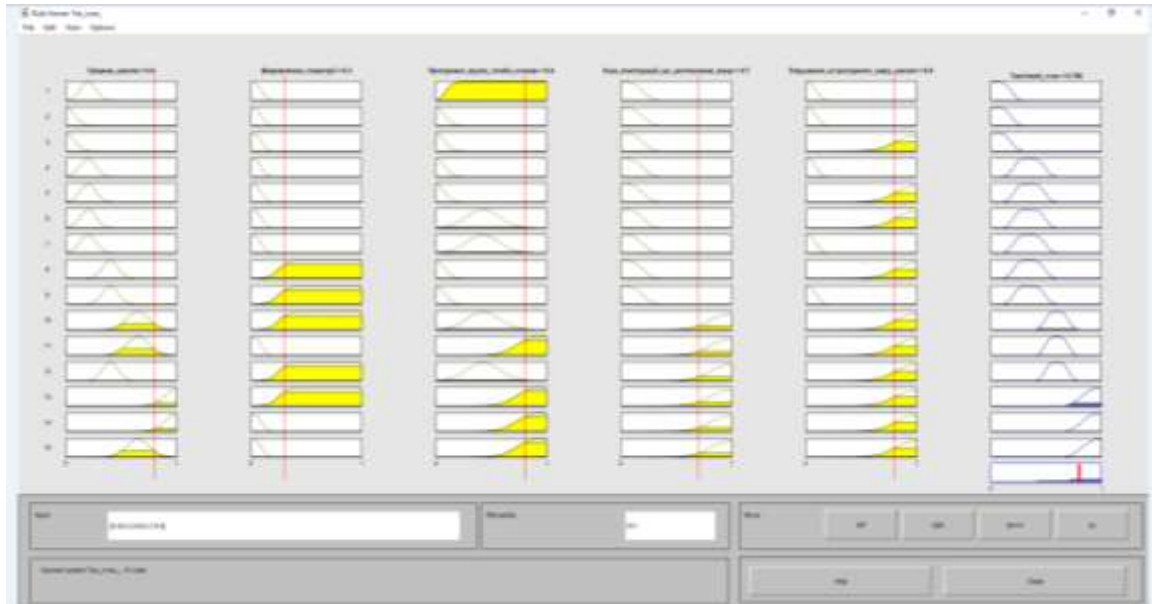


Рис.4.12. Результат прогнозування за «Сценарієм 2»

В подальшому створена таким чином система апріорних правил буде використана при формуванні банку еталонів ІСП ПОТС ОБ (рис. 3.1) та при тестуванні ШНМ (рис. 4.13), яку передбачається використовувати для налаштування параметрів в модулі нечіткого виведення системи (рис. 1.11).

Для навчання ШНМ, що інтегрується в нейро-нечітку систему виведення ІСП ПОТС ОБ, запропоновано використовувати результати прогнозування, адекватність яких гарантується досвідом експертів, що виконували моделювання, та апробовані (додатки В, Г) під час виконання науково-дослідних робіт в Київському національному університеті будівництва і архітектури та Київському науково-дослідному інституті судових експертиз Міністерства юстиції України.

При формуванні навчальної вибірки ШНМ міра впливу окремо кожного пошкодження на ТС об'єкта в цілому призначається експертами для кожного об'єкта БТЕ згідно таблиць збірника «Сборник укрупненних показателей

восстановительной стоимости» [164], а для оцінки впливу різних композицій використовувались результати моделювання, надійність яких гарантується узагальненим експертним досвідом (рис. 4.14 – 4.16).

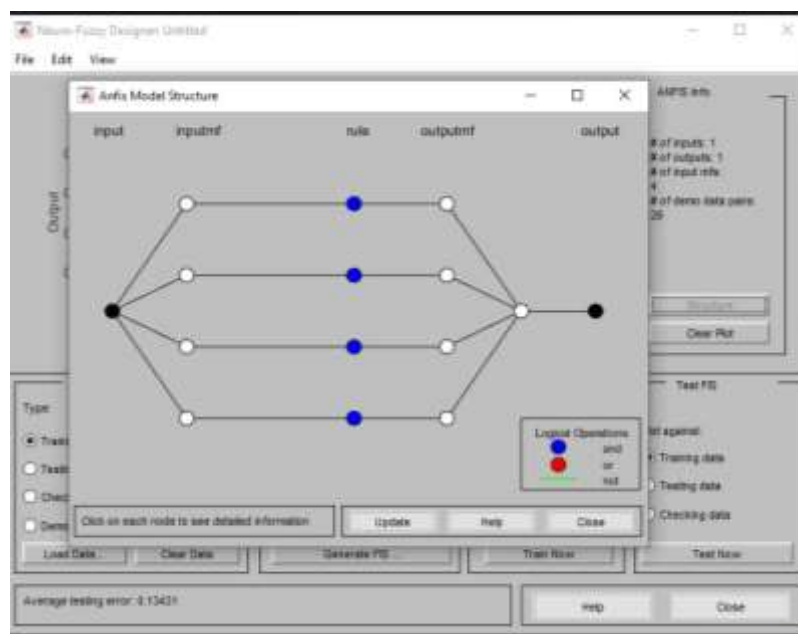


Рис.4.13. Створення нейронної мережі на основі нечіткої логіки в MATLAB

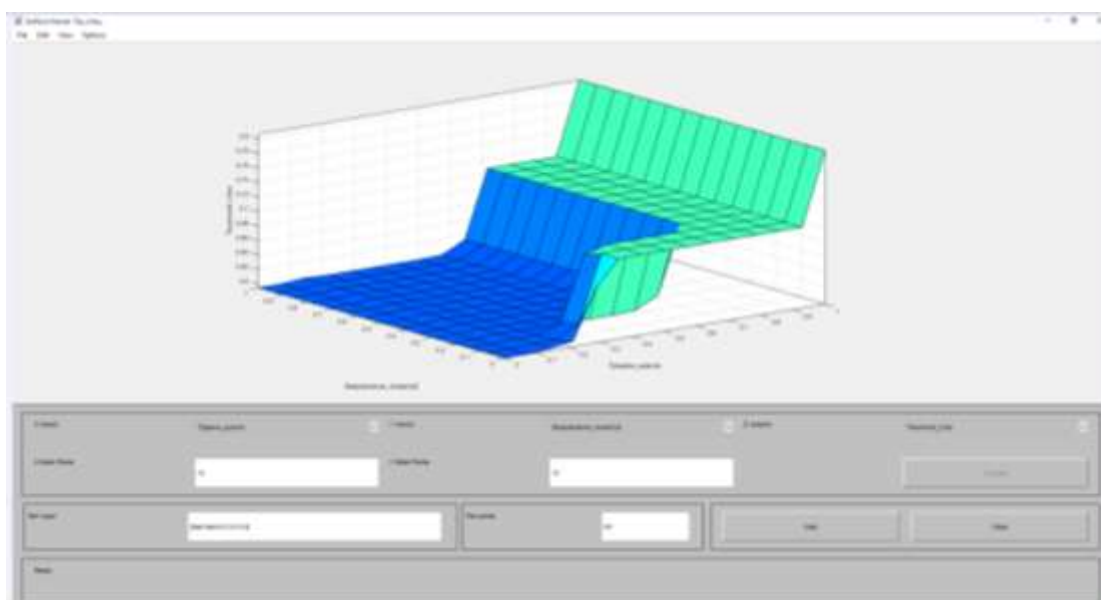


Рис.4.14. Результат впливу композиції «ТЦ» та «ВГ» на ТС об'єкта

Візуалізація результатів моделювання функції двох змінних надає змогу враховувати взаємний вплив пошкоджень ОБ і, таким чином, зменшити вплив

«людського фактора» та пов'язані з цим ризики прийняття невірних рішень щодо визначення ТС об'єктів, яким характерна властивість тривалий час накопичувати фізичний знос, при формалізації експертних знань.

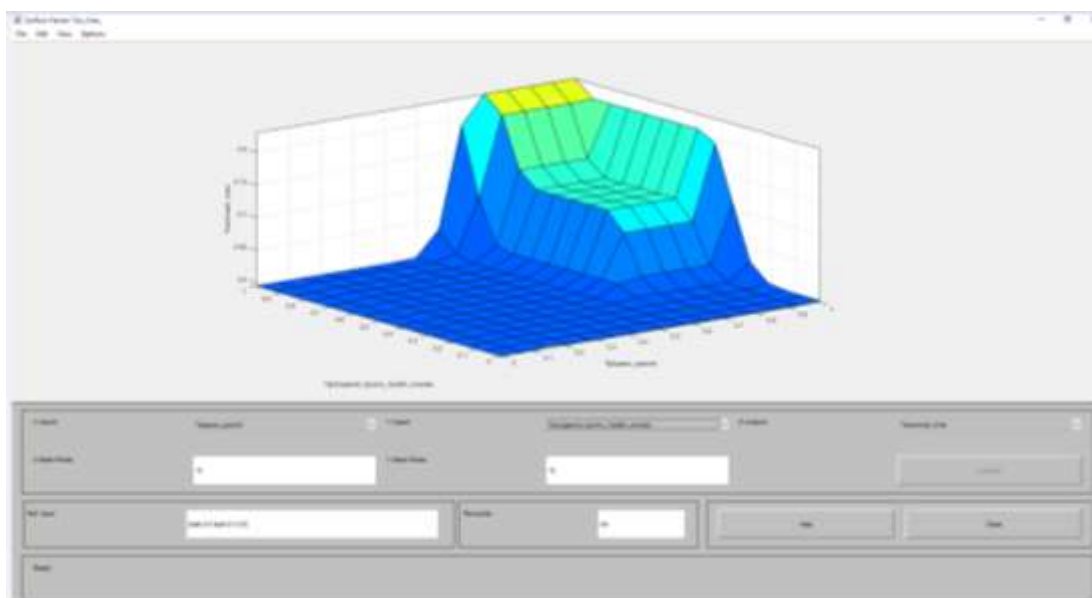


Рис.4.15. Результат впливу композиції «ТЦ» та «ПГО» на ТС об'єкта

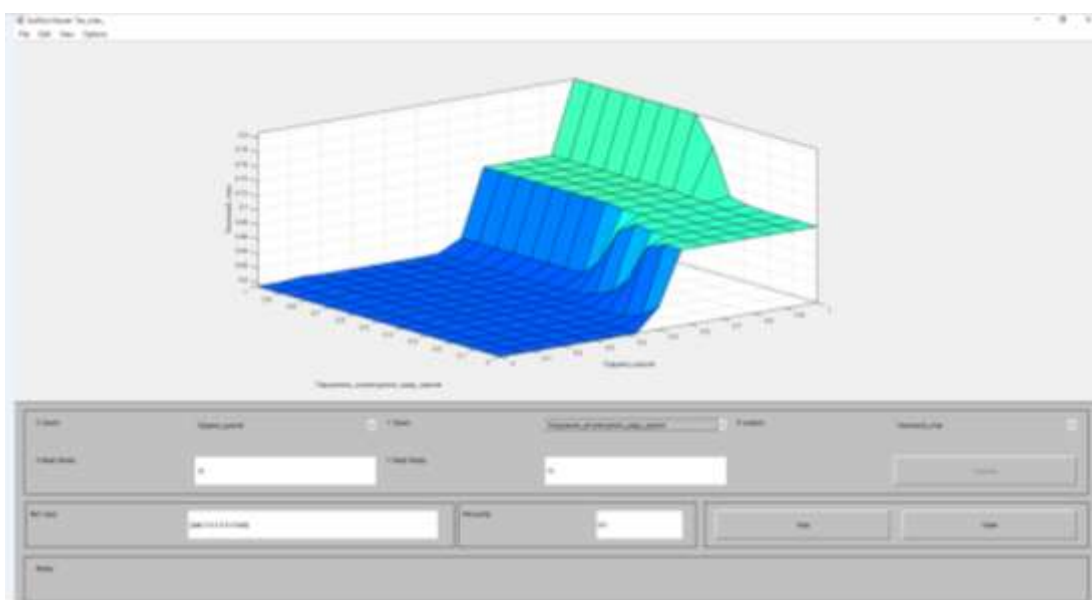


Рис.4.16. Результат впливу композиції «ТЦ» та «ПШШЦ» на ТС об'єкта

Окрім того, аналіз перерізів візуалізацій (рис. 4.14 – 4.16) відкриває можливість визначати значення параметрів експлуатаційних пошкоджень, при

досягненні яких конструкція може тривалий час накопичувати фізичне зношення без явних ознак погіршення ТС, після чого може перейти в «Не» або «А» технічний стан внаслідок впливу резонансних явищ, що спричинені вібраціями від транспортних магістралей або інших вібродинамічних навантажень середовища.

На рис. 4.17 показано один з таких перерізів функції  $ТС=F(ТЦ; ПГО)$ , аналіз якого надає підстави стверджувати, що об'єкт БТЕ до переходу в аварійний стан деякий час зберігає властивість накопичувати пошкодження типу «ТЦ». Такий графік свідчить про нестабільний ТС в області  $y \in [0,38; 0,83]$ . Аналіз графіку на рис. 4.17 показує, що будь-який не суттєвий в інших умовах може призвести ОБ до переходу в аварійний технічний стан.

До таких впливів належать вібродинамічні навантаження від наземного рейкового транспорту, які, на відміну від сейсмічних, характеризуються незначною амплітудою, але тривала вібродинамічного транспортного навантаження на ґрунти призводить до зміни фізико-механічних властивостей ґрунтової основи БіС. Зазначені зміни, в свою чергу, можуть спричинити її осідання об'єкта БТЕ під дією інших (не суттєвих в інших умовах джерел вібродинамічних навантажень).

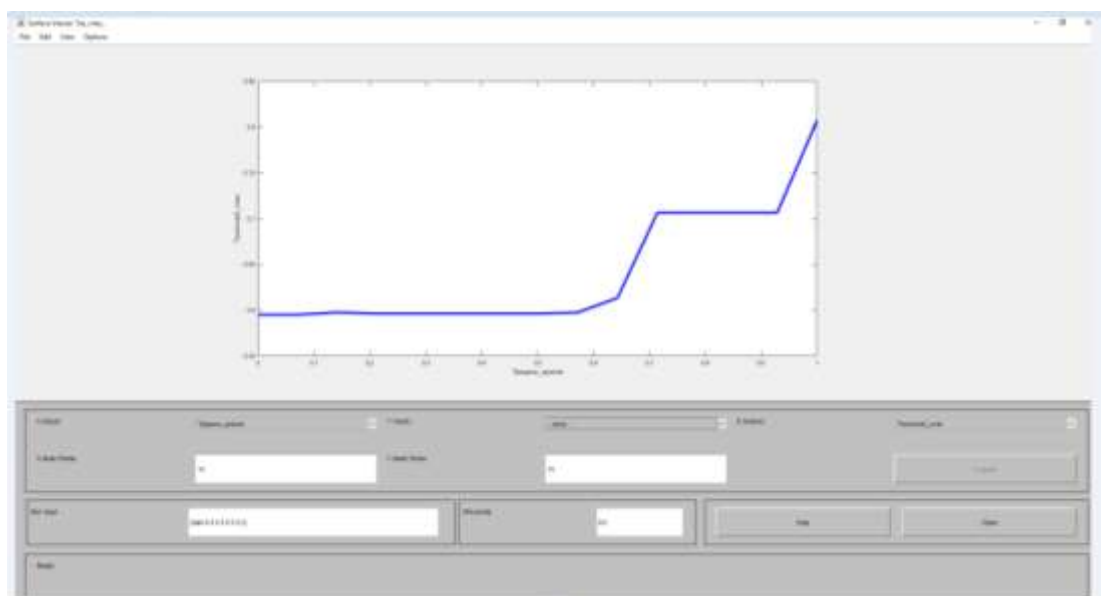


Рис.4.17. Графік залежності вихідної змінної «ТС» від вхідної змінної «ТЦ»

На рис.4.18. показано інший переріз залежності вихідної змінної «ТС» від вхідної змінної «ПГО», який також свідчить про неузгодженість правил в базі знань ІСП ПОТС ОБ.

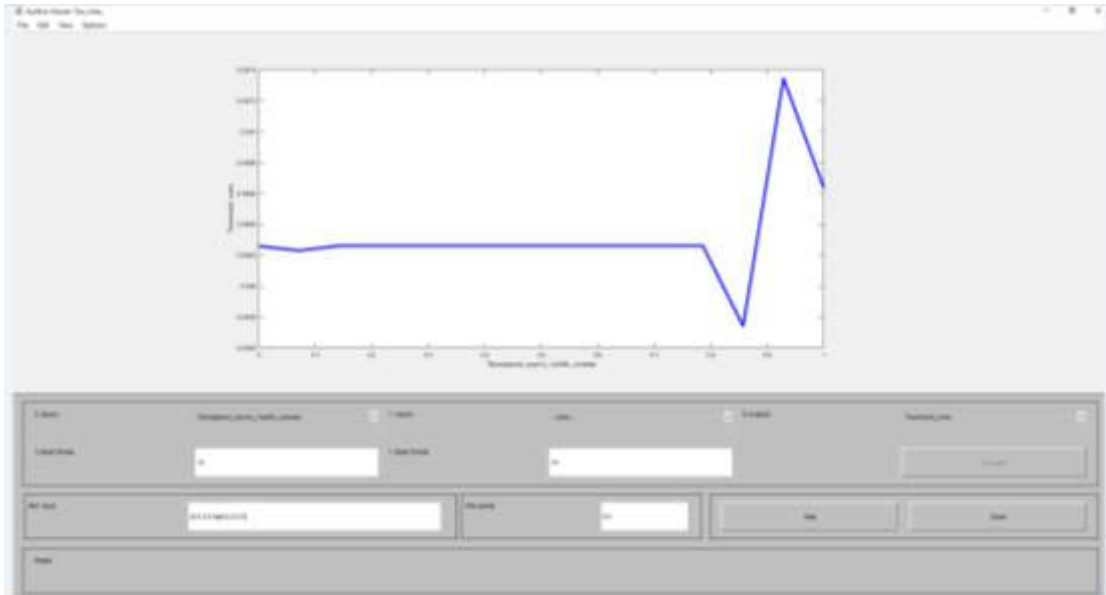


Рис.4.18. Графік залежності вихідної змінної «ТС» від вхідної змінної «ПГО»

Іншим характерним прикладом значного зростання ризику неврахування суттєвих факторів впливу середовища на ТС об'єкта БТЕ в умовах тривалої дії вібродинамічних транспортних навантажень є неврахування такого пошкодження, як «ПШШЦ». В подібних випадках для урахування ризиків прийняття невірних рішень, експертам *рекомендується виконувати аналіз* залежності категорії ТС від композиції різних параметрів експлуатаційних пошкоджень, які представлені у вигляді мап (рис. 4.19 – 4.20).

Результатом аналізу мапи на рис. 4.19 є висновок про деяку неузгодженість правил в базі знань СНВ, який робиться на основі спеціальних експертних знань щодо залежності категорії ТС об'єкта БТЕ від параметра «ВГ». Про неврахування такого суттєвого фактору впливу середовища, як вплив вібрацій (ВВ) свідчить незалежність ТС об'єкта від параметра «ПШШЦ» (рис. 4.20). Проте, експерти відзначають, що порушення штукатурного шару на значній ділянці конструкції свідчить про велику ймовірність резонансу власних коливань об'єктів БТЕ від



вібродинамічних навантажень середовища (табл. 4.1), і оцінюють міру впливу цього параметра на ТС конструкції, як  $\frac{1}{4}\mu_A^1(\frac{1}{4}x_1) \in [0;1]$ , що додає невизначеності в оцінки ТС об'єкта за даним критерієм.

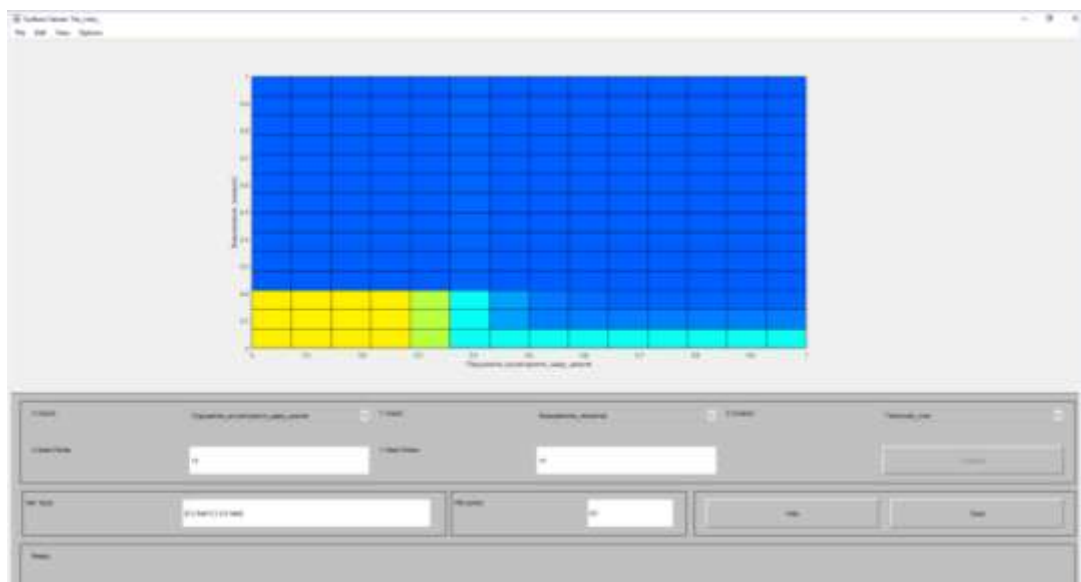


Рис.4.19. Мапа залежності ТС конструкції від параметрів «ПШШЦ» та «ВГ»

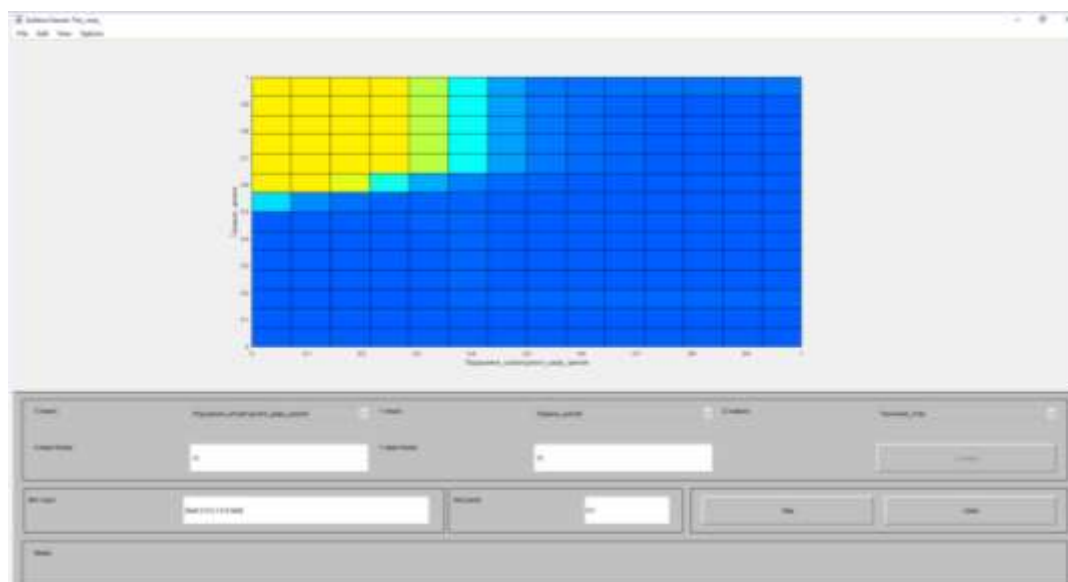


Рис.4.20. Мапа залежності ТС конструкції від параметрів «ПШШЦ» та «ТЦ»

В даному випадку перегляду потребують такі правила, як (4.3), (4.5), (4.6). Критерієм вибору правил для перегляду є наявність в умові правил таких вхідні параметрів, «ТЦ» та «ПШШЦ» (рис. 4.21) та параметра «ПГО», оскільки цей

параметр відображає інформацію про зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів внаслідок вібродинамічних навантажень від транспортних мереж, яка має прихований характер, і неврахування його впливу може з великою ймовірністю призвести до переходу БіС в аварійний стан або руйнування.

Скоригована база правил містить в собі нечіткі імплікації типу (4.8) – (4.10), а мапи, на яких відображено результати роботи скорегованої системи нечіткого виведення ІСП ПОТС ОБ показано на рис.4.21 – 4.24.

Якщо ТЦ = «дрібні» (4.8)

та ВГ «відсутні»

та ПГО «місцеві»

та ЗК «відсутні»

та ПШШЦ «наявні»

та вплив вібрацій «суттєвий»

то ТС = «задовільний».

Якщо ТЦ = «дрібні» (4.9)

та ВГ «відсутні»

та ПГО «загальні незначні»

та ЗК «наявні»

та ПШШЦ «наявні»

та вплив вібрацій «суттєвий»

то ТС = «непридатний до експлуатації»;

Якщо ТЦ = «дрібні» (4.10)

та ВГ «відсутні»

та ПГО «загальні незначні»

та ЗК «наявні»

та ПШШЦ «наявні»

та вплив вібрацій «критичний»

то ТС = «аварійний».

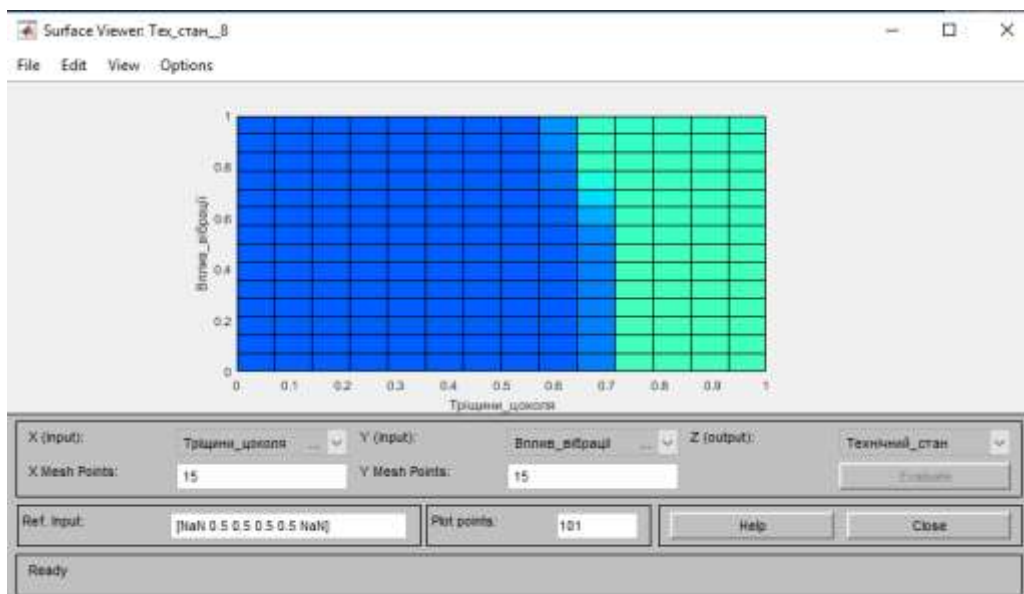


Рис. 4.21. Мапа залежності ТС конструкції від параметрів «ТЦ» та «ВВ» згідно з правилами (4.3), (4.8)

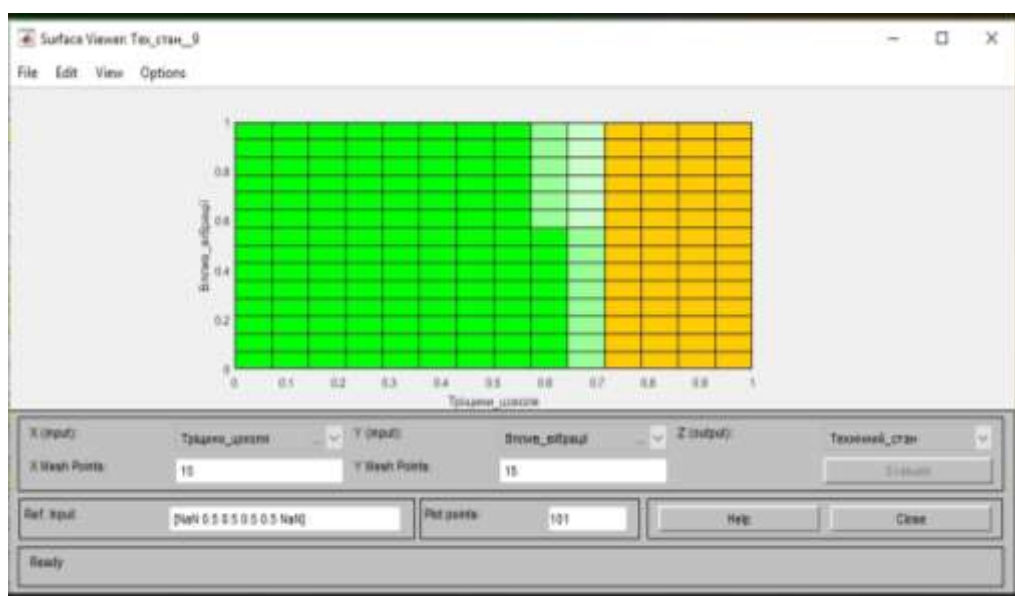


Рис. 4.22. Мапа залежності ТС конструкції від параметрів «ТЦ» та «ВВ» згідно з правилами (4.9), (4.10)

З рис. 4.21, 4.22 видно, що вплив вібрацій стає критичним та призводить до різкого погіршення ТС об'єкта з накопиченими експлуатаційними дефектами «ТЦ», що оцінюється значенням  $[0,6; 0,7]$ . Окрім того, після врахування «ВВ» мапи залежності ТС об'єкта від параметру «ПШЩЦ» та «ТЦ» адекватно відтворюють результати реальних БТЕ (рис. 4.23, 4.24).

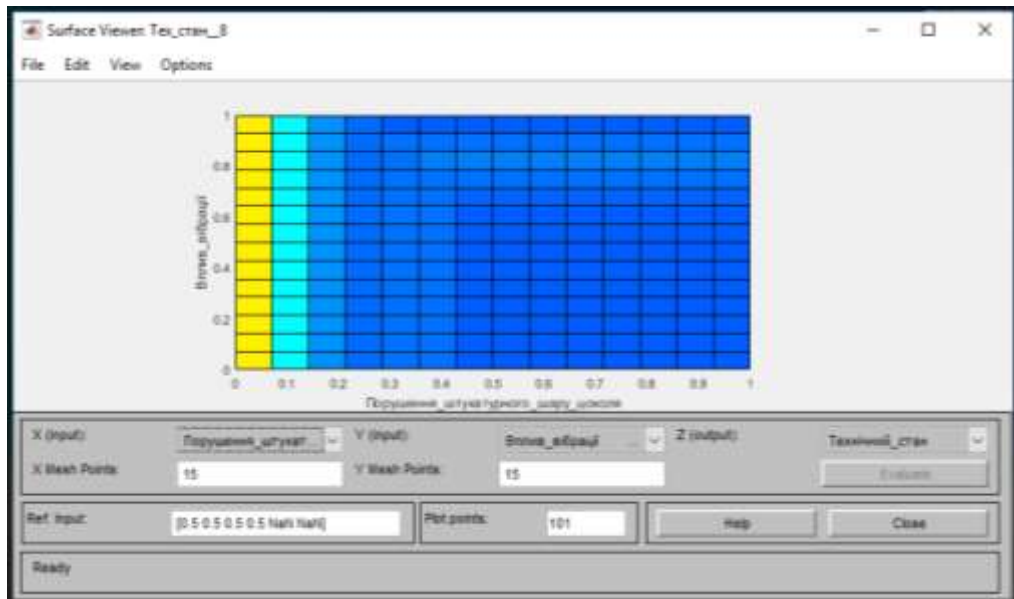


Рис. 4.23. Мапа залежності ТС конструкції від параметрів «ПШШЦ» та «ВВ»

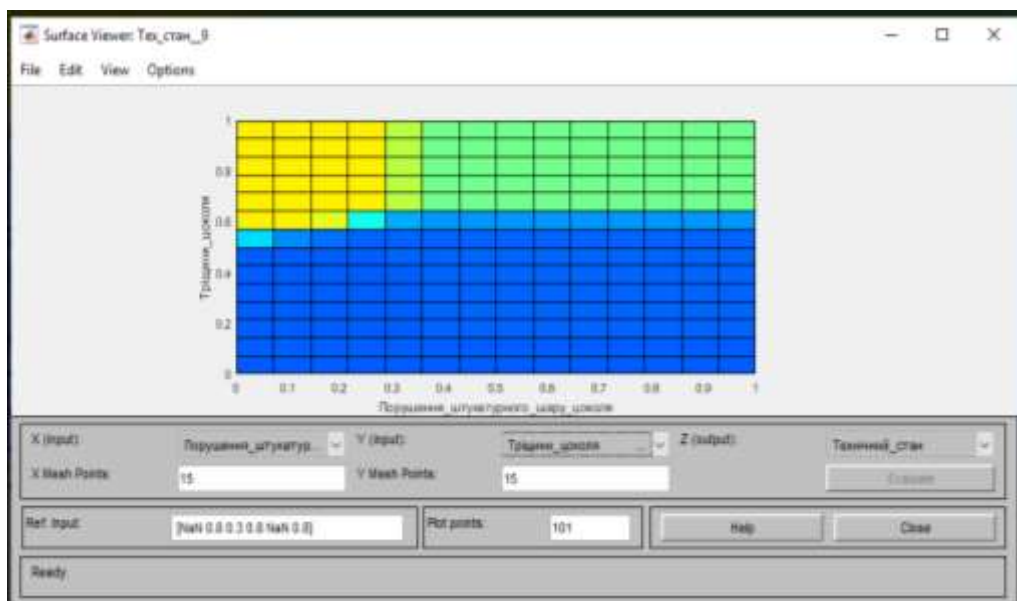


Рис. 4.24. Мапа залежності ТС конструкції від параметрів «ПШШЦ» та «ТЦ» з урахуванням «ВВ»

Мапи на рис.4.23, 4.24 свідчить про те, що вплив вібрації різко погіршує стан штукатурного шару на початкових стадіях, тобто при перших ознаках руйнування штукатурного шару ОБ необхідно виявляти можливість появи резонансу власних коливань БіС від впливу вібродинамічних навантажень. Інші ознаки прояву резонансних явищ можуть певний час бути прихованими внаслідок властивості ОБ

тривалий час накопичувати навантаження і проявитись іншою категорією наслідків, що можуть бути викликані їх відмовою (табл.1.1).

На особливу увагу заслуговує результат моделювання, який свідчить про те, що ТС конструкції з накопиченим фізичним зносом, якій належить інтервалу  $[0,55; 0,9]$ , з великою ймовірністю може різко погіршитись (до аварійного) під впливом вібрацій зовнішнього середовища, які характеризується експертами, як «суттєві» (рис.4.25).

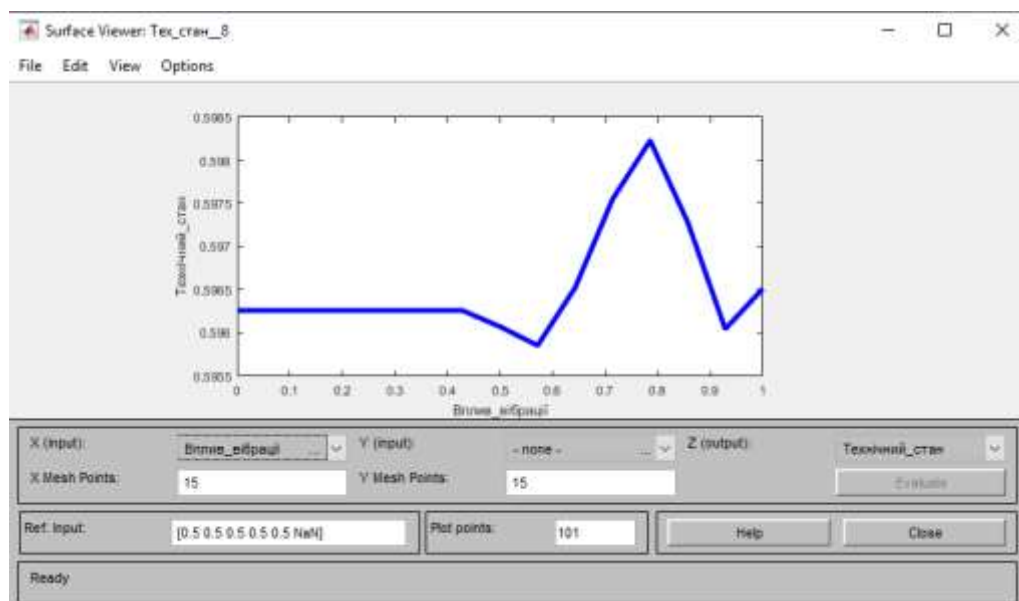


Рис.4.25. Графік залежності вихідної змінної «ТС» від вхідної змінної «ВВ»

Для врегулювання подібних питань, що пов'язані з неузгодженістю або конфліктом правил, які формують нечітку базу знань СНВ ІСП ПЩТС ОБ, передбачено використання підсистеми експертної оцінки рішення (рис.3.1).

База знань ННСВ для інших конструкцій, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень (табл. 3.1) формуються аналогічно до формування бази знань, яка розроблялась для оцінки ТС конструктивного елемента «фундамент».

На даному етапі розробки системи надійність апріорної бази знань СНВ і адекватність математичних моделей для оцінки ТС об'єктів будівництва забезпечується експертами.

Проте впровадження ІСП ПОТС ОБ в процес проведення БТЕ передбачає:

- розробку методичних рекомендацій щодо проведення оцінки технічного стану БіС з використанням описаних засобів;
- накопичення необхідної кількості даних для навчання ШНМ, яка призначається для налаштування параметрів, що наповнюють базу даних нечіткої бази знань СНВ;
- інтеграцію ІСП ПОТС ОБ в процес проведення БТЕ.

### **4.3. Інтеграція ІСП ПОТС ОБ в процес проведення БТЕ**

Відповідно до пункту 1 статті 22 [165], містобудівний кадастр ведеться уповноваженими органами містобудування та архітектури на державному, регіональному, районному рівнях, рівні обласних центрів і міст обласного значення. Порядок ведення та структура кадастру, затверджені [165]. Детальний склад і зміст інформаційних ресурсів містобудівного кадастру визначений [166].

Відповідно до пункту 8 [165], графічні матеріали містобудівних кадастрів оприлюднюються у формі геопросторових даних у форматах, що підтримують векторну графіку (SHP, DMF, MID/MIF, DXF, XML, GeoJSON, GPX, LOC, ARINC, AIXM) [167]. Доступ до даних кадастру може бути наданий через відкритий інтерфейс прикладного програмування (API) геоінформаційних порталів або WMS/WMTS підключення. Просторові дані оприлюднюються в державній геодезичній системі координат УСК-2000. Розпорядники мають оприлюднювати всі графічні матеріали крім тих, що становлять інформацію з обмеженим доступом.

Під час закупівлі послуг з розробки, впровадження або модернізації ПЗ містобудівних кадастрів органам місцевого самоврядування рекомендовано обов'язково визначати в тендерній документації та угодах умову можливості експорту даних у форматах, що підтримують векторну графіку, наявність відкритого API, WMS/WMTS. У разі необхідності рекомендовано ознайомитись з Методичними рекомендаціями щодо опублікування в мережі інтернет містобудівної документації (BRDO, 2019). Таким чином, наповнення

містобудівного кадастру окремих населених пунктів, надає змогу доповнювати базу знань ІСП ПОТС ОБ, що розробляється, відповідною інформацією.

Визначення ТС кожного складового елемента будівлі або споруди потрібно при проведенні БТЕ та досліджень, які містять у собі таку складову, потрібно виконувати в такій послідовності:

1. Визначити конструктивну схему (рис.4.26) та наявність або відсутність контрольних конструктивних елементів будівлі або споруди.

Конструктивна система являє собою взаємопов'язану сукупність вертикальних і горизонтальних несучих конструкцій і вузлових з'єднань, які спільно забезпечують міцність, просторову жорсткість і стійкість будівлі, зберігаючи геометричну незмінність його форми.

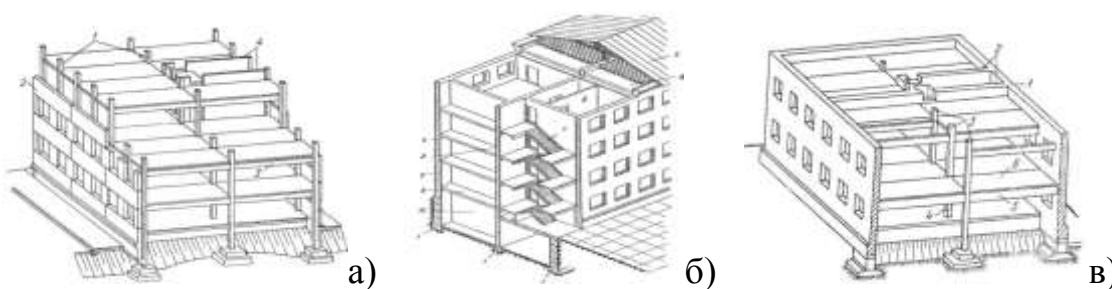


Рис.4.26. Основні типи конструктивних схем будівлі: а – каркасний; б – стіновий; в – комбінований (змішаний)

2. Визначити матеріал конструктивних елементів БіС.

3. У разі, якщо експертом встановлено матеріал конструкцій та конструктивних елементів будівлі, елементи будівлі не містять складових елементів конструкцій, то визначаються дефекти за зазначеними типами конструкцій.

4. У разі, якщо конструкції будівлі містять конструкції, що складаються з різних матеріалів і мають конструктивні особливості, то визначення дефектів проводиться по аналогії з переважаючою конструкцією.

5. При формуванні моделі об'єкта будівельно-технічної експертизи, основну увагу рекомендовано приділяти:

– опису та формалізації характерних пошкоджень конструктивних елементів, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень;

– характеристик вібродинамічних навантажень на основу будівель і споруд, що опинились в зоні впливу шляхів рейкового транспорту.

6. Для ОБ, які тривалий час експлуатуються в охоронній зоні рейкового транспорту, рекомендовано в умови правил, згідно з якими оцінюється ТС об'єктів будівництва включати параметр «ПГО».

При цьому експертам рекомендовано особливу увагу звертати на:

- 1) вид і параметри функції приналежності, яка вибирається для моделювання загального незначного просідання ґрунтової основи;
- 2) окремо досліджувати композицію таких вхідних параметрів, як «ВВ», «ПГО» та «ПШШЦ».
- 3) урахувати зазначений вплив при *призначенні ймовірностей* в сценаріях розвитку експлуатаційних пошкоджень ОБ, що опинились чи можуть опинитись в зоні впливу наземного рейкового транспорту;

7. Для дефазифікації висновків рекомендовано застосовувати Байєсівський логіко-ймовірнісний підхід, який забезпечує:

- експертам зручність при оцінці можливих сценаріїв погіршення ТС конструкцій;
- системі перевагу, що полягає в меншій обчислювальній складності при використанні гаусівської функції приналежності термів в СНВ;
- узгоджується з алгоритмом навчання TSK, яку запропоновано інтегрувати з СНВ для вирішення задачі оцінки ТС ОБ.

8. Для забезпечення виконання п. 6 потрібно:

- включити запит на інформацію про вплив вібродинамічного навантаження від спостережуваних при проведенні БТЕ джерел вібрацій в акти обстежень БіС;
- урахувати цю надану експертами інформацію в умовах нечітких імплікацій, які являють собою основу нечіткої бази знань ІСП ПОТС ОБ;



– представити інформацію щодо характеристик вібродинамічного навантаження у вигляді, прийнятному для обробки штучною нейро-нечіткою мережею TSK.

9. База знань НСВ для інших конструкцій, що являються найбільш вразливими до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень (табл. 3.1) формуються аналогічно до формування бази знань, яка розроблялась для оцінки ТС конструктивного елемента «фундамент».

На основі аналізу зібраної інформації будуються вибірки для навчання ШНМ (рис. 3.3), а схема процесу виконання БТЕ набуває такого вигляду, як показано на рис 4.27.

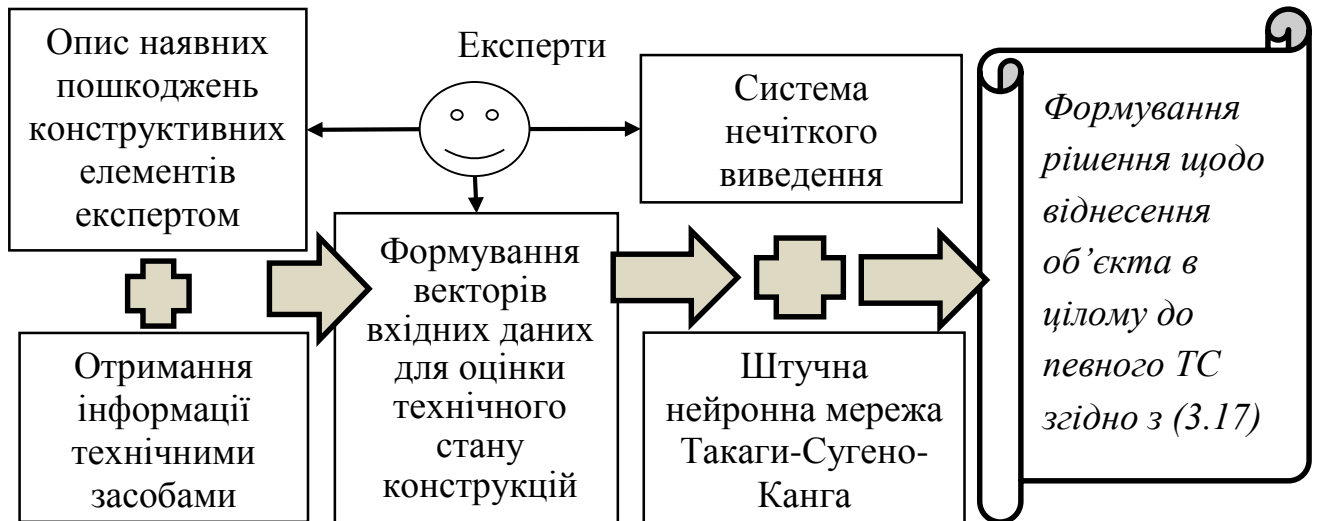


Рис.4.27. Схема процесу підтримки рішень щодо оцінки технічного стану об'єктів будівництва з використанням ІСП ПОТС ОБ

Формування рішення щодо віднесення об'єкта в цілому до певного ТС згідно з (3.17) на даному етапі роботи лишається за експертами. Проте при виборі штучної нейронної мережі одним із основних критеріїв вибору була здатність TSK до апроксимації нелінійних вхідних даних про стан середовища, в якому функціонують БіС, що опинились чи можуть опинитися в охоронній зоні транспортних магістралей.

В теперішній час проводиться тестування системи та розробка методичних рекомендацій щодо відповідності об'єктів будівництва вимогам нормативно-правових актів з використанням ІСП ПОТС ОБ в Київському науково-дослідному інституті судових експертиз Міністерства юстиції України, що підтверджується актом впровадження (Додаток Г).

#### **Висновки до розділу 4**

1. В розділі детально описано процес формування апріорної бази знань СНВ, що реалізована в ПП Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB; описано процес підтримки рішень щодо оцінки технічного стану об'єктів будівництва в цілому; запропоновано форму, яка заповнюється експертами за результатами проведених будівельно-технічних експертиз та надано методичні рекомендації щодо встановлення відповідності об'єктів будівництва вимогам нормативно-правових актів з використанням інтелектуальної інформаційної системи, що розробляється.

2. Специфікація моделей здійснювали для конструкцій, що тривалий час функціонували в умовах міської забудови. Коригування нечіткої бази правил бази знань системи нечіткого виведення полягало в цілеспрямованому розширенні правил, що містять конфліктні параметри. Правила, що розроблені для типових БіС можуть бути використані експертами для оцінювання технічного стану об'єктів-аналогів, а також для навчання штучних нейронних мереж.

3. Результати проведених досліджень можуть бути використані для розробки систем підтримки прийняття рішень, що здатні самі аналізувати динамічну інформацію, знаходити в ній закономірності, виконувати прогноз та формувати користувачеві пояснення логіки міркувань системи щодо отримання результатів.

4. Формалізація даних та виведення правила, що формують базу знань ІСП ПОТС ОБ формувалась на основі співставлення експертних оцінок з результатами моніторингу відповідних факторів впливу середовища що забезпечує адекватність нечітких моделей, які покладено в основу онтології системи.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Дослідження сучасного стану галузі будівельно-технічних експертиз та діючої методики оцінки технічного стану будівель і споруд показали, що оцінка технічного стану конструкцій з накопиченим фізичним зносом і оцінка технічного стану об'єкта в цілому супроводжується ризиками прийняття неадекватних рішень, які можуть бути зменшені шляхом впровадження в експертну діяльність автоматизованих засобів оцінки (моніторингу) об'єктів будівельно-технічних експертиз та інтелектуальних інформаційних систем.

2. Аналіз методів і засобів моделювання вібрацій від рейкового транспорту та методів і засобів оцінки технічного стану будівель і споруд з накопиченим фізичним зносом, що експлуатуються в умовах вібродинамічних навантажень такого транспорту, виявили попит на розробку і впровадження в галузь будівельно-технічних експертиз інформаційних інтелектуальних систем, що здатні вирішувати задачу нечіткої класифікації в умовах нелінійного впливу середовища.

3. На основі аналізу проблеми автоматизації процесу оцінки ТС об'єктів будівництва, що мають дефекти та пошкодження різного характеру і експлуатуються в складних умовах міської забудови, запропоновано для кожного типу конструкцій, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, адаптувати відповідну штучну нейро-нечітку мережу Такаґи-Сугено-Канґа.

4. Систематизовано характерні пошкодження різних типів конструкцій, поява і розвиток яких є наслідком вібродинамічних навантажень на основу ОБ, та досліджено основні фактори впливу середовища на технічний стан будівель і споруд, які спричинені вібродинамічними навантаженнями різного походження.

5. Запропонована спеціалізована інтелектуальна системи підтримки процесу оцінки ТС об'єктів будівництва для вирішення задачі оцінки категорії технічного стану об'єкта в цілому при відповідному налаштуванні параметрів та правил здатна вирішувати задачу нечіткої класифікації в умовах вібродинамічних навантажень від наземного рейкового транспорту.

6. На основі проведеного аналізу нормативно-правового забезпечення процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва сформовано вхідні вектори суттєвих параметрів, що відображають негативний вплив вібродинамічних навантажень на ТС конструкцій, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, та здійснено адаптацію моделі нейро-нечіткого виведення до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єктів з накопиченим фізичним зносом.

7. Використання штучної нейро-нечіткої мережі Такаґи-Сугено-Канґа дозволить підвищити рівень надійності та зменшити час оцінки, що проводяться в нечітких умовах накладання вібродинамічних навантажень і впливів середовища.

8. Запропоновано методичні рекомендації щодо оцінки технічного стану будівель і споруд з використанням спеціалізованої інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки ТС об'єктів будівництва дозволять знизити вплив людського фактору на виконання будівельно-технічних експертиз, які проводяться в нечітких умовах нелінійних впливів зовнішнього середовища.

## Література

1. ДБН 360-92\*\*. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. Київ, 1992.
2. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: Державні будівельні норми. Київ, Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. 36 с.
3. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Київ, 2014.
4. ДБН В.2.2-9-2009. Будинки і споруди. Громадські будинки й споруди. Основні положення. Київ, 2009.
5. ДБН В.1.2-5:2007. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. 2007. Додаток А. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2017/12/39.1.-DBN-V.1.2-52007.-SNBB.-Naukovo-tehnicniysuprovid.pdf>.
6. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд. Держбуд України. К., 2003. С. 82.
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: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць*. К.: ДП НДІБК, 2010. Вип. 73. С. 655-660.
8. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. К.: НДІБВ, 2003. С. 144.
9. Садовський В.І. Досвід і проблеми ведення реєстру аварійно небезпечних об'єктів. *Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний збірник*, Вип. 44, НДІБВ, 2003. С. 22-25.

10. Амін Агхеззаф, Командиров О., Яценко О. Методи і засоби моніторингу технічного стану об'єктів будівництва. *ВМС-2020 – International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2020"*, November 2020, Kyiv, Ukraine. С.154-155.

11. Банах В.А. Применение статико-динамических расчетных моделей длительно эксплуатируемых зданий совместно с основанием при динамических воздействиях от строительных процессов. *Містобудування та територіальне планування*, 2012. № 46. С. 38-47.

12. 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.

13. Банах В.А. Моделирование работы строительных конструкций эксплуатируемых зданий при передаче динамических воздействий через грунтовый массив. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*, 2011. Вип. 39. С. 18-22.

14. 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.

15. Барабаш М., Ромашкина М. Определение вибрационного влияния движущегося транспорта в городах плотной застройки. *19-ая конференция молодых ученых «Наука – будущее Литвы»*, 6 мая 2016 г., Вильнюс. Vilniaus Gedimino technikos universitetase. С. 30-33.

16. Барабаш 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.

17. Барабаш М.С., Гензерський Ю.В., Овчарова В. Численное моделирование воздействия динамических нагрузок метрополитена на

близстоящие здания. *Містобудування та територіальне планування*, 2013. № 48. С. 46-52.

18. Барабаш М.С., Гуца Ю.В., Башинський Я.В. Влияние динамических нагрузок метрополитена на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций. *Проблеми розвитку міського середовища*, 2016. Вип.2(16). С. 17-27.

19. Башинський Я.В. Вібраційний вплив метрополітену на напружено-деформований стан несучих конструкцій. *Проблеми розвитку міського середовища*, 2018. Вип. №2(21). С. 17-25

20. Экспертиза судової практики / за ред. В.Г. Поттер. К.: Юрінком Інтер, 2010. 400 с.

21. Ицков, И.Е. Предельные перекосы этажей зданий при сейсмических воздействиях. *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*, 2005. Вип.6. С.19-22.

22. Доценко Т., Лябах М., Парамонов О. Київ: мандрівка стародавнім містом. Київ. дім, 1998. 57 с.

23. Косаревська Р.О. Історико-архітектурний атлас Києва як основа усвідомлення його містобудівної спадщини. *Архітектура історичного Києва. Феномен урбанізованих ландшафтів: матеріали IV Міжнар. наук. - практ. конф.* Київ: КНУБА, 2018. С. 63-64.

24. Нічога В.О., Дуб П.Б., Іванчук В.М. Сучасний стан методів та апаратури для швидкісної технічної діагностики залізничної колії електромагнітними методами. Неруйнівний контроль та технічна діагностика матеріалів та конструкцій. Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2007.

25. Кохманюк С.С., Янютин Е.Г., Романенко Л.Г. Колебания деформируемых систем при импульсных и подвижных нагрузках. К.: Наукова думка, 1980. 232 с.

26. ДБН В.2.3-22–2009 Мости і труби. Основні вимоги проектування. Мінрегіонбуд України. К., 2009.

27. Лантух-Лященко А.І. О прогнозе остаточного ресурса моста. *Дороги і мости*. К.: ДерждорНДІ, 2007. Вип. 7, Т. 2. С. 3-9.
28. Боднар Л.П., Лантух-Лященко А.І., Канін О.П., Коваль П.М., Фаль А.Є. Аналітична експертна система управління мостами. *Досвід впровадження. Дорожня галузь України*, 2011. №7. С. 42-47.
29. Н.-М. Koh, S.P. Chang, S.-K. Kim, S.-Y. Kim, W.J. Kim. Development and application of health monitoring system for bridge in Korea // Proc. First Int. Conf. on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2002, Barcelona, 14–17 July, 2002.
30. Башинський Я.В. Методика формування розрахункової моделі об'єкту незавершеного будівництва при впливі метрополітену. *Проблеми розвитку міського середовища*, 2018. Вип. 1(20). С. 33-37.
31. Командиров О.В. Дослідження моделей, методів і засобів оцінки технічного стану об'єктів будівництва в умовах навантажень і впливів транспортних магістралей. *Управління розвитком складних систем*, 2020, №43. С. 104-109.
32. Теренчук С.А., Єременко Б.М., Пашко А.О. (2016) Оцінювання технічного стану будівельних конструкцій на основі нечіткого виведення. *Будівельне виробництво*, № 61(1). С. 23-31.
33. Пасько Р.М., Азнаурян І.О., Теренчук С.А. Адаптація системи нечіткого виведення до задачі оцінки впливу ремонтно-будівельних робіт на технічний стан об'єкта будівництва. *Управління розвитком складних систем*, 2020, №42. С. 113-118.
34. Теренчук С.А., Єременко Б.М., Картавих С.М., Насіковський О.В. Моделювання зони впливу нового будівництва на оточуюче середовище. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. Вип.101/2017. С. 215-222.
35. Пікуль А.В., Барабаш М.С. Проблеми моделювання динамічних впливів. Реалізація в ПК ЛІРА-САПР. Збірка тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю з дня народження професора В.К.



Єгупова «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва». Одеса: ОДАБА, 2016. 124 с.

36. Hashad, A. (2012) Evaluation of construction vibration on buildings. *Eng. Res. J. Fac. Eng. (Shoubra)* 16, 23-33.

37. Hashad, A. (2015) Additional stresses on buildings induced by vibration effects. *Water Science. Science Direct Water Science*, 29, 134-145.

38. Paskelbtas atnaujintas Londono metro žemėlapis. – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.anglija.today/transportas/paskelbtas-atnaujintas-londono-metro-zemelapis>.

39. Схема розвитку рейкового пасажирського транспорту Проекту Генерального плану міста Києва до 2025 року. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://uk.shram.kiev.ua/kiiev/m.shtml>.

40. Демидова А.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Диагностика неисправностей в городских инженерных сетях на основе аппарата теории нечетких множеств. *Современные информационные технологии в образовании*. Материалы 5-й Межрегион. науч.-практич. конф., 12-14 мая 2004 г. С. 119-121.

41. Про затвердження Порядку визначення категорій пам'яток. Кабінет Міністрів України: постанова від 22 травня 2019р. №452. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/452-2019-%D0%BF#n27>.

42. 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*.

43. Kotb, M., Ghaleb, A., Hashad, A., Helal, E. (2014) Suggested Methodology to Evaluate Vibration Effect on Buildings. *Al-Azhar Engineering Magazine*.

44. Kartavykh, S., Komandirov, 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.

45. Будстандарт. Сервіс документів. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/klassifikator-minregionstroya.html>.

46. Про затвердження науково-проектної документації щодо розширення меж охоронних (буферних) зон об'єкта всесвітньої спадщини ЮНЕСКО: наказ Міністерства культури України від 23.03.2017 № 233 Київ: Собор Святої Софії та прилеглі монастирські споруди, Києво-Печерська лавра. URL: [http://mincult.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=245238951&cat\\_id=244950594](http://mincult.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=245238951&cat_id=244950594).

47. Порядок розроблення проектної документації на будівництво об'єктів: затв. наказом Мін. Регіон. розвитку, будівництва та ЖКГ України від 16.05.2011 № 45 (у ред. наказу Мін. Регіон. розвитку, будівництва та ЖКГ України від 23 березня 2012 р. № 122), зареєстр. в Мініюсті України 1 червня 2011 р. за № 651/19389. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0651-11>.

48. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. 2014 URL: [http://afo.com.ua/doc/DBN\\_A.2.2-3-2014.pdf](http://afo.com.ua/doc/DBN_A.2.2-3-2014.pdf).

49. Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж: постанова Кабміну від 05 травня 1997 року № 409. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/go/409-97- %D0%BF](https://zakon.rada.gov.ua/go/409-97-%D0%BF).

50. Про заходи щодо посилення контролю за проектуванням, новим будівництвом, реконструкцією, капітальним ремонтом та експлуатацією будинків і споруд: розпорядження Кабміну України № 100-р від 01 березня 2004 р. URL: [http://zakon.rada.gov.ua/go/100-2004- %D1%80](http://zakon.rada.gov.ua/go/100-2004-%D1%80).

51. Положення про порядок перевірки стану житлових будинків з метою встановлення їх відповідності санітарно-технічним вимогам та визнання житлових будинків та будинків непридатними для проживання: затверджено. Постанова Ради Міністрів СРСР від 26.04.84 р. № 189 [Електронний ресурс]. Режим доступу: [zakon.rada.gov.ua/go/189-84-п](http://zakon.rada.gov.ua/go/189-84-п).

52. Господарський процесуальний кодекс України. Документ 1798-ХІІ, чинний, поточна редакція. – Редакція від 16.08.2020, підстава – 738-ІХ. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1798-12#Text>.

53. Національні стандарти у сфері будівництва, обов'язковість застосування яких встановлена нормативно-правовими актами. Електронний

ресурс. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/building/tech-reg/normuvannia/natsionalni-standarti-u-sferi-budivnitstva-obovyazkovist-zastosuvannya-yakih-vstanovlena-normativno-pravovimi-aktami/>.

54. Відомчі будівельні норми. Забудова територій колективних садів, будівлі та споруди. Норми проектування ВСН 43-85. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0404400-85#Text>.

55. ДБН.А.1.1-1-93 Державні будівельні норми України. Система стандартизації та нормування в будівництві. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://profidom.com.ua/a-1/a-1-1/766-dbn-a-1-1-1-93-derzhavni-budivelni-normi-ukrajini-sistema-standartizaciji-ta-normuvanna-v-budivnictvi>.

56. Технічні умови. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://uas.org.ua/ua/services/standartizatsiya/tehnichni-umovi/>

57. Кодекс України про адміністративні правопорушення. Документ 80731-X, чинний, поточна редакція. – Редакція від 13.08.2020, підстава – 768-IX. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text>.

58. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень. Міністерство юстиції України: Наказ 08.10.98, № 53/5. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98#Text>.

59. Інструкція про особливості здійснення судово-експертної діяльності атестованими судовими експертами, що не працюють у державних спеціалізованих експертних установах. Міністерство юстиції України: Наказ 24.12.2003, №170/5. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1209-03#Text>.

60. Кримінальний процесуальний кодекс України: Документ 4651-VI, чинний, поточна редакція – Редакція від 11.09.2020, підстава – 113-IX. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text>.

61. Цивільний процесуальний кодекс України. Документ 1618-IV, чинний, поточна редакція. – Редакція від 13.08.2020, підстава – 768-IX. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1618-15#Text>.

62. Про виконавче провадження: закон України. Документ 1404-VIII, чинний, поточна редакція. – Редакція від 25.09.2020, підстава – 831-IX. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1404-19>.

63. Про судову експертизу: закон України від 25.02.1994 р. № 4038-XII із змінами, внесеними згідно із Законами № 662-IV від 03.04.2003 р. № 1992-IV від 9 вересня 2004 р. № 4652-VI від 13 квітня 2012. Режим доступу: [zakon.rada.gov.ua/go/4038-1](https://zakon.rada.gov.ua/go/4038-1).

64. Chernyshev D., Klochko A., Terenchuk S., Ternavska V., Zapryvoda V. Semantic Analysis Models and Methods of the Text Information in the Building Normative Base. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* ISSN: 2278-3075, Volume-9 Issue-6, April 2020. P. 1873-1879.

65. Pasko R., Terenchuk S. The Use of Neuro-Fuzzy Models in Expert Support for Forensic Building Technical Expertise. *ScienceRise*. ISSN: 2313-8416, 2(67), 2000. P. 10-18.

66. Будівельно-технічна експертиза. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://kndise.gov.ua/activity/expertise-view/c-budivelno-tehnicna>.

67. Методичні рекомендації з визначення фізичного зносу нежитлових будівель: звіт про НДР (заключний) / КНДІСЕ; керівник: О. Буратевич, викон.: Н. Сенік, В. Харченко, О. Чайка, Р. Пасько, Д. Псярнецький, О. Сверида, В. Буднік, Н. Арабулі, О. Лисак, І. Чалюк. 0114U000706. Київ, 2015. 177 с.

68. Правила оцінки фізичного зносу жилих будинків. КДП 2031-12 Україна 226-93. Додаток до наказу Держжитлокомунгоспу України від 02.07.93р. №52.

69. Григоровський П.Є., Тромса Ю.Г., Чуканов С.В., Сушко С.В. Досвід та проблеми обстеження і паспортизації. *Нові технології у будівництві*, НДІБВ, 2002. С. 65-69.

70. Правила оценки физического износа жилых зданий. Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2007. 80 с.

71. Командиров О.В. Особливості дослідження дотримання вимог нормативно-правових актів України в частині пожежної безпеки при аналізі

проектної документації та будівельних об'єктів. *Криміналістика і судова експертиза*, №63, 2018. Київ. С. 73-80.

72. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Національний стандарт України. Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2017. 43 с.

73. Мізернюк, Б.Н. (1975) Типи тріщин та оцінка їх значущості. Методи обстеження залізобетонних конструкцій. Вип. 21. Стройиздат.

74. Terenchuk S., Yeremenko B., Kartavykh S., Nasikovskiy O. Application of Fuzzy Mathematics Methods to Processing Geometric Parameters of Degradation of Building Structures. *EUREKA: Physics and Engineering*, №1, 2018. С.56-62.

75. 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.

76. Міністерство культури України. Збереження історико-культурної та архітектурної спадщини в національних і державних заповідниках, здійснення заходів з охорони культурної спадщини, паспортизація, інвентаризація та реставрація пам'яток архітектури, культури та світової спадщини ЮНЕСКО. 2018. С. 25. URL: <http://mincult.kmu.gov.ua/document/245040698/1801490zapitf2.pdf>.

77. Картавих С.М. Застосування методів нечіткої математики в задачах експертного оцінювання будівельних проектів. *Scientific Journal «ScienceRise»*, №8(61), 2019. С. 31-34

78. Більчук В.М., Дзеверін І.Г., Воробйов О.В. (2012) Методичний підхід опису функціонування складної системи в нечіткому стохастично невизначеному середовищі. *Збірник наукових праць ХУПС*. Х.: ХУПС, вип. 4(33). С. 136-140.

79. Демидова А.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде MATLAB. М.: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 2005. С. 365.

80. Osowski, S. (2000) *Siecin neuronowe do przetwarzania informacji*. Warszawa, 342 p. (польською).
81. Tanaka, K., Wang, H. O. (Eds.) (2001). *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: a Linear Matrix Inequality Approach*. New York: Wiley, 320.
82. Кудинов Ю.И., Келина А.Ю., Кудинов И.Ю., Пащенко А.Ф., Пащенко Ф.Ф. *Нечеткие модели и системы управления*. М.: ЛЕНАНД, 2017. 328 с.
83. Zadeh L. *Fuzzy Sets. Information and Control*, 1965. №8. P.338-353.
84. Zadeh LA. *Fuzzy logic. Computer*. 1988. Vol. 21, Issue 4. P.83–93.
85. Бураков Д.П. *Логические основы интеллектуальных систем*. Ч.1: учеб. пособие. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. 56 с.
86. Кожомбердиева Г.И., Бураков Д.П. О применении модели нечеткого вывода для оценивания выполнения практик СММИ®. *ИнтеллектТранс-2012: Сб. материалов II междунар. научно-практич. конф., С.-Петербург, 28-31 марта 2012*. ФАЖТ, ФГБОУ ВПО ПГУПС. СПб., 2012. С. 199-206.
87. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. *Нечеткие модели для экспертных систем в САПР*. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 136.
88. Mudi R.K., Pal N.R. A Self-Tuning Fuzzy PI Controller *Int. Jo. Fuzzy sets and systems*. № 115. 2000. P.327-378.
89. Mendel, J. M. (2017). *Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems: Introduction and New Directions*. Springer.
90. Заде Л.А. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений*. М.: Мир, 1976. С. 165.
91. Штовба С.Д. *Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>.
92. Кофман А. *Введение в теорию нечетких множеств*. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.
93. Terenchuk S., Yeremenko B., Sorotuyk T. *Implementation of Intelligent Information Technology for the Assessment of Technical Condition of Building*

Structures in the Process of Diagnosis. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5/3(83), 2016. P. 30-39.

94. Командиров О.В., Куліков П.М., Плоский В.О., Єременко Б.М. Застосування штучної нейро-нечіткої мережі Такаґи-Сугено-Канґа до оцінки технічного стану об'єктів будівництва. *Управління розвитком складних систем*, 2020, №42. С. 107-112.

95. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия - Телеком, 2007. 247 с.

96. Кожомбердиева Г.И., Гарина М.И., Бураков Д.П. Об использовании аппарата теории принятия решений в задачах оценивания согласно модели СММИ®. *Программные продукты и системы*, № 4, 2013. С. 117-124.

97. Теренчук С.А., Полтораченко Н.І. Кошарна Ю.В. Аналіз здатності штучних нейромереж до розв'язання задач оцінювання технічного стану будівельних конструкцій. *Будівельне виробництво*, 2017. №63/1. С. 85-90.

98. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М: Горячая линия-Телеком, 2007. 288 с.

99. Driankov, D., Hellendorn, H., Reich Frank, M. (1996). An Introduction to Fuzzy Control. Berlin: Springer.

100. Dongrui, Wu, Chin-Teng, Lin, Jian, Huang and Zhigang, Zeng (2019) On the Functional Equivalence of TSK Fuzzy Systems to Neural Networks. *Mixture of Experts, CART, and Stacking Ensemble Regression*, 1.

101. Rezaee B, Zarandi MF (2010) Data-driven fuzzy modelling for Takagi-Sugeno-Kang fuzzy system. *Inf Sci* 180(2), 241-255

102. Hguen H., Sugeno M., Tong R., Yager R. Theoretical Aspects of Fuzzy Control. New York, John Wiley & Sons. 1995. 359 p.

103. Катасев, А. Нейро-нечітка модель формування нечітких правил оцінки стану об'єктів в умовах невизначеності. *Комп'ютерні дослідження та моделювання*, Вип. 11, Випуск 3, 2019. С. 477-492.

104. Krassimir T. Atanassov. Type-1 Fuzzy Sets and Intuitionistic Fuzzy Sets. *Algorithms*. 2017. 10(3).
105. Karnik N.N., Mendel J.M., Liang Q. Type-2 Fuzzy Logic Systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 1999. Vol.7. № 6.
106. Yeremenko B., Riabchun Y., Ploskiy V., Aznaurian I., Daoud Mezzane, Kryvinska N. Intelligent information technologies implementation to the process of professional self-identification IntelITSIS'2021: 2nd *International Workshop on Intelligent Information Technologies and Systems of Information Security*, March 24–26, 2021, Khmelnytskyi, Ukraine. P. 168-177.
107. Ashutosh, Tewari, Mirna-Urquidi, Macdonald. (2010) Knowledge-based parameter identification of TSK fuzzy models Author links open overlay panel. *Applied Soft Computing*. Volume 10, Issue 2, 481-489.
108. Mamdani, E. H., Gaines, B. R. (1981). *Fuzzy Reasoning and Its Applications*. Academic Press, Inc, 381.
109. Єременко Б.М., Теренчук С.А., Картавих С.М., Насіковський О.В. Застосування експертних знань для формування бази знань системи оцінювання технічного стану будівельних конструкцій. *Наука та будівництво*. 2017. №4. С.63-69.
110. Штовба С. Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB. *Математика в приложениях*. 2003. №2(2). С.9-15.
111. Панкевич О.Д., Штовба С.Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 108с.
112. Субботин С. А. Синтез распознающих нейро-нечетких моделей с учетом информативности признаков. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, №10, 2006. С. 50-56.
113. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.



114. Mettrey W. An Assessment of Tools for Building Large Knowledge Based Systems. *AI Magazine*, vol. 8(4). 1987. P.81-89.

115. Namestnikov, A., Filippov, A., Avvakumova, V. An ontology-based model of technical documentation fuzzy structuring. *CEUR Workshop Proceedings*. 2016. Vol. 1687. Pp. 63-74.

116. Барабаш, М.С., Башинський, Я.В. (2012) Методи проектування об'єктів строительствана базе BIM-технологий. *Проблеми розвитку міського середовища: зб. наук. праць*, Вип.7, 2012. С. 22-28.

117. Разов И.О., Березнев А.В., Коркишко О.А. Проблемы и перспективы внедрения BIM технологий при строительстве и проектировании. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «*BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры*». СПбГАСУ, 2018. С.27-31.

118. Командиров О.В., Левченко О.В., Кисіль О.В. Перспективи застосування BIM-технології (BUILDING INFORMATION MODELING) в будівельно-технічній експертизі. *Криміналістика і судова експертиза*. Вип. 64, 2019. С. 633-638.

119. Autodesk Revit. AUTODESK. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.autodesk.ru/campaigns/aecbuilding-design-bds-new-seats/landing-page>.

120. Graphisoft ArchiCAD. [Електронний ресурс]: Режим доступу: [https://r.autocad-specialist.ru/archicad-free?roistat\\_referrer=&roistat\\_pos=&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign={campaignname}\\_9553285162&utm\\_term=archicad\\_&utm\\_content=97232728505\\_422716591829\\_c&roistat=google2\\_g\\_97232728505\\_422716591829\\_archicad&gclid=Cj0KCQjwna2FBhDPAIIsACAЕс\\_XAXVM0M6YyseZeiefZ8GbsMyDyVR8oLPrZhrUQl1EZmQLo1U3Vp2EaArm\\_EALw\\_wcB](https://r.autocad-specialist.ru/archicad-free?roistat_referrer=&roistat_pos=&utm_medium=cpc&utm_campaign={campaignname}_9553285162&utm_term=archicad_&utm_content=97232728505_422716591829_c&roistat=google2_g_97232728505_422716591829_archicad&gclid=Cj0KCQjwna2FBhDPAIIsACAЕс_XAXVM0M6YyseZeiefZ8GbsMyDyVR8oLPrZhrUQl1EZmQLo1U3Vp2EaArm_EALw_wcB).

121. Nemetschek Allplan. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.nemetschek.com/en/brands/allplan>.

122. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2015: учебное пособие. Под ред. академика РААСН А.С. Городецкого. М., 2015. 376 с.

123. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles. URL: <https://www.iso.org/standard/68078.html>.

124. Кур'ят П.П., Єжов С.В. Доцільність впровадження BIM-технологій в проектуванні житлових будинків індустріального типу. *Архітектура будівель і споруд*, №49. С. 427-433.

125. Технология BIM: единая модель и связанные с этим заблуждения [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://stroi.mos.ru/builder\\_science/tiekhnologhiia-bim-iedinaia-modiel-isviazannyie-s-etim-zabluzhdeniia](https://stroi.mos.ru/builder_science/tiekhnologhiia-bim-iedinaia-modiel-isviazannyie-s-etim-zabluzhdeniia) (дата звернення 08.08.2018). – Назва з екрана. Київська К. І. Інформаційні інтегровані технології моделювання об'єктів будівництва: автореф. дис. канд. техн. наук. Київ, 2016.

126. Кисіль О.В., Левченко О.В., Михальченко С.В. Теоретичні та методологічні засади створення державної бази даних будівельних об'єктів, паспортизованих за технологією BIM. *Web of Scholar*. 2018. Вип. 6(24). Vol. 3. С. 13-16.

127. Левченко О. В., Михайленко А. В. Технології BIM та засоби обміну даних в форматі IFC. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Вип. 44. 2016. С.70-81.

128. Командиров О.В., Левченко О.В., Косаревська Р.О. Аспекти залучення BIM-технологій для паспортизації об'єктів культурної спадщини. *Криміналістика і судова експертиза*, №65, 2020. Київ. С. 485-496.

129. Программа по обучению BIM (Building Information Modeling) [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.госэкспертиза.kz/node/5438> (дата звернення 01.09.2018) – Назва з екрана.

130. Приказ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 27.10.2014 №298 «О применении BIM-технологии в проектировании».

131. Historic England. BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Swindon. Historic England. 2017. URL: <https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/recording-heritage/>.

132. Dr. Peter Smith. BIM implementations - global strategies. Selected Papers from the Creative Construction Conference 2014 (Prague, 21-24 June 2014). NY: Curran Associates, 2015. P.482-492.

133. Stefano Della Torre. Perspectives on Historic BIM Developments in Italy. [online] AECbytes Viewpoint #82 (December 15, 2016). URL: [http://www.aecbytes.com/viewpoint/2016/issue\\_82.html](http://www.aecbytes.com/viewpoint/2016/issue_82.html).

134. Утвержденная «дорожная карта» по внедрению BIM-технологий в строительстве [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru/press/utverzhdena-dorozhnaya-karta-po-vnedreniyu-bimtekhnologiy-v-stroitelstve> (дата звернення 08.08.2018). Назва з екрана.

135. Городецький О.С., Гензерський Ю.В. Різні підходи до розрахунку конструкцій на динамічні впливи. *Наука та будівництво*, 2019. Том 21, № 3. С.35-41.

136. Немчинов Ю.И., Маценко А. Метод расчета свободных колебаний динамической системы «сооружение-фундамент-основание». Строительные конструкции. К.: НИИСК, № 52, 2000. С. 229-242.

137. Мерекин Ю.В. Решение задач вероятностного расчета однотактных схем методом ортогонализации. Вычислительные системы, 1963. Вып. 5. С. 10-21.

138. ЦП-0267 Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. Нормативно-технічний документ.

139. УДС2-РДМ-33 ультразвуковой дефектоскоп для контроля зон сварки простата управления надежность в эксплуатации. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.rdm-kontakt.ru/userfiles/dsc%20rdm-33.pdf>.

140. Вища математика: Підручник. У 2 ч. Ч. 2: Диференціальні рівняння. Операційне числення. Ряди та їх застосування. Стійкість за Ляпуновим. Рівняння математичної фізики. Оптимізація і керування. Теорія ймовірностей. Числові методи. Техніка, 2004 р. 792 с.

141. Модуль Pushover Analysis. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: [https://lira-soft.com/pc\\_lira/modules/#%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%20Pushover%20Analysis](https://lira-soft.com/pc_lira/modules/#%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%20Pushover%20Analysis).

142. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев: Факт, 2004. С.105.

143. ДБН В.1.1-12-2014. Будівництво у сейсмічних районах України. – Чинні від 2014-10-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2014. – VI, 110 с.

144. Vogiatzis, K. (2011) Environmental ground borne noise and vibration protection of sensitive cultural receptors along the Athens Metro Extension to Piraeu. *WSEAS transactions on environment and development*, 11, 359-370.

145. Тревого І.С. Сучасні електронні тахеометри, тенденції розвитку та класифікації електронних тахеометрів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», Вип. 1 (17), 2009. С.109-115.

146. Спосіб геоелектророзвідки: патент 115695, 2017. [Електронне посилання]. – Режим доступу: <https://uapatents.com/5-115695-sposib-geoelektrozvidki.html>.

147. Іванчук В.М. Застосування вейвлет-функцій до задачі діагностування залізничних рейок. *Радіоелектроніка та телекомунікації*, №618, 2008. С.164-167.

148. Kulikov P., Pasko R., Terenchuk S., Ploskyi V., Yeremenko B. Using of Artificial Neural Networks in Support System of Forensic Building-Technical Expertise. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. ISSN: 2278-3075. Vol. 9, Issue 4, 2019. P. 3162-3168.

149. Сєдих, О. Л., Овчарук В. О. Дослідження методології побудови та принципів функціонування експертних систем. *Международное периодическое*

научное издание Научные труды SWorld. *Научный мир*, 2016. Т. 3, № 1 (42). С.13-19.

150. Кожомбердиева Г.И., Бураков Д.П., Гарина М.И. Использование формулы Байеса при оценивании выполнения практик модели CMMI®. Программные продукты и системы, № 1, 2017. С. 67-74.

151. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.

152. Єременко, Б.М. Моделювання інтелектуальної системи для діагностики технічного стану об'єктів будівництва. *Технологічний аудит та резерви виробництва*, 2015. № 1/2(21). С. 44-48.

153. Про затвердження Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва: постанова Кабміну України від 12 квітня 2017 р. № 257. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/257-2017-%D0%BF>.

154. Blum C., Puchinger J., Raidl G.R., Roli A. Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey. *Applied Soft Computing*. 2011. 11(6). Pp. 4135–4151.

155. Tomaz Berlec, Alojzij Sluga, Edvard Govekar, et al. Hybrid self-organization based facility layout planning. *Strojniski vestnik*. 2014. Vol.60, no. 12. S. 789-796, SI 147.

156. Круглов В.В. Сравнение алгоритмов Мамдани и Сугэно в задаче аппроксимации функции. *Математическая морфология: электронный математический и медико-биологический журнал*. 2001. Т.3. №4. С.69–76.

157. Сєдих, О. Л., Овчарук В. О. (2016) Дослідження методології побудови та принципів функціонування експертних систем. Международное переодическое научное издание *Научные труды SWorld*. Научный мир, Т. 3, № 1 (42). С. 13-19.

158. Кожомбердиева Г.И., Бураков Д.П. Байесовский подход к решению задач оценивания качества. *Мягкие измерения и вычисления*, №5, 2018. С.15-26.

159. Бураков Д.П. Этап дефаззификации нечеткого вывода: традиционный и байесовский логиковероятностный подходы. С.39-42.

160. Снитюк В.Е., Рифат Мохаммед Али. Модели процесса принятия адаптивных решений композиционной структуры с детерминированными и вероятностными характеристиками. Харьков: Радиоэлектроника и информатика, № 4, 2002. С. 123-127.

161. Cook, D. A., Ledbetter, S., Ring, S., Wenzel, F. (2000). Masonry crack damage: its origins, diagnosis, philosophy and a basis for repair. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings, 140 (1), 39–50. doi: 10.1680/stbu.2000.140.1.39

162. Пакет Fuzzy Logic Toolbox for Matlab: учеб. пособие / В.С. Тарасян. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2013.— 112 с.

163. Субботін С.О. Нейронні мережі: теорія та практика: навч. посіб. – Житомир: Вид. О.О. Євенок, 2020. – 184 с.

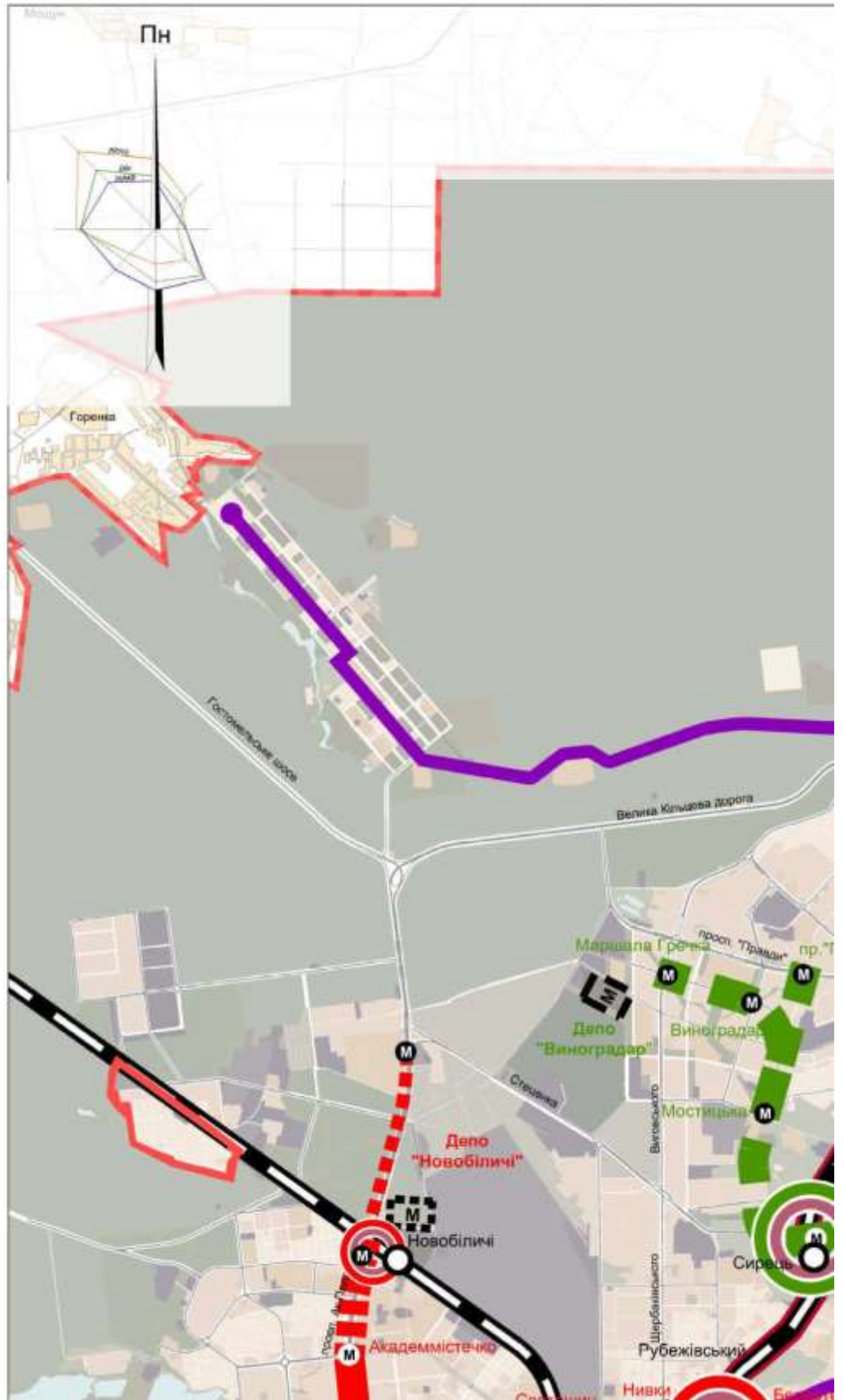
164. УПВС – сборники укрупненних показателів встановительної вартості будівель і споруд. [Електронне посилання]. Режим доступу: <https://upvs.com.ua>.

165. Містобудівний кадастр. [Електронне посилання]. Режим доступу: <https://www.dma.kh.gov.ua/planning/kadastr>.

166. Про містобудівний кадастр. [Електронне посилання]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/559-2011-%D0%BF#Text>

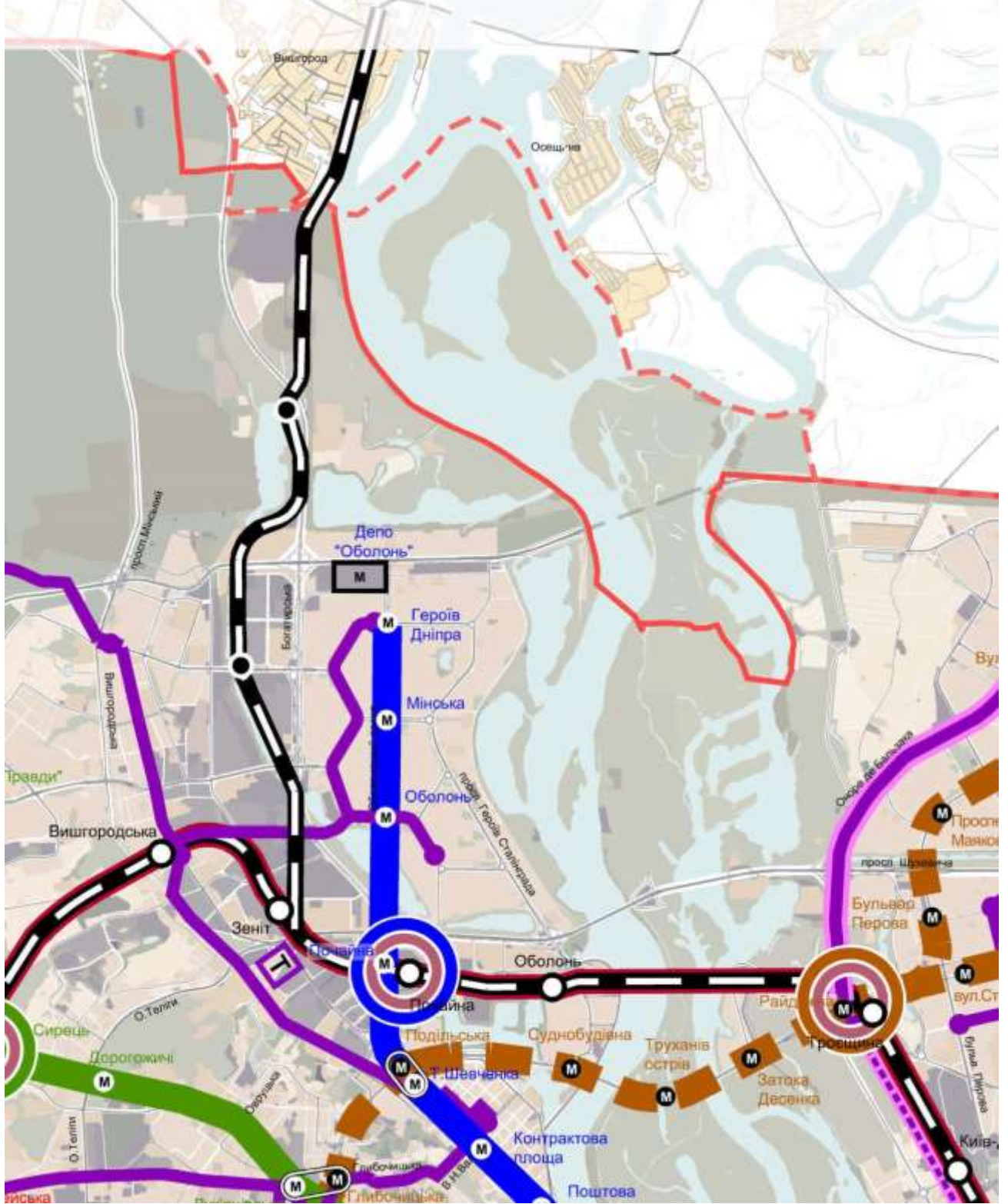
167. Дані містобудівного кадастру, у тому числі геопросторові дані. Режим доступу: [https://data.gov.ua/pages/835-recm-urban-urban-cadastre#:~:text=%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%20%D0%B4%D0%BE%20%D0%BF%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%82%D1%83%208%20%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B3,LOC%2C%20ARINC%2C%20AIXM\)](https://data.gov.ua/pages/835-recm-urban-urban-cadastre#:~:text=%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%20%D0%B4%D0%BE%20%D0%BF%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%82%D1%83%208%20%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B3,LOC%2C%20ARINC%2C%20AIXM)).



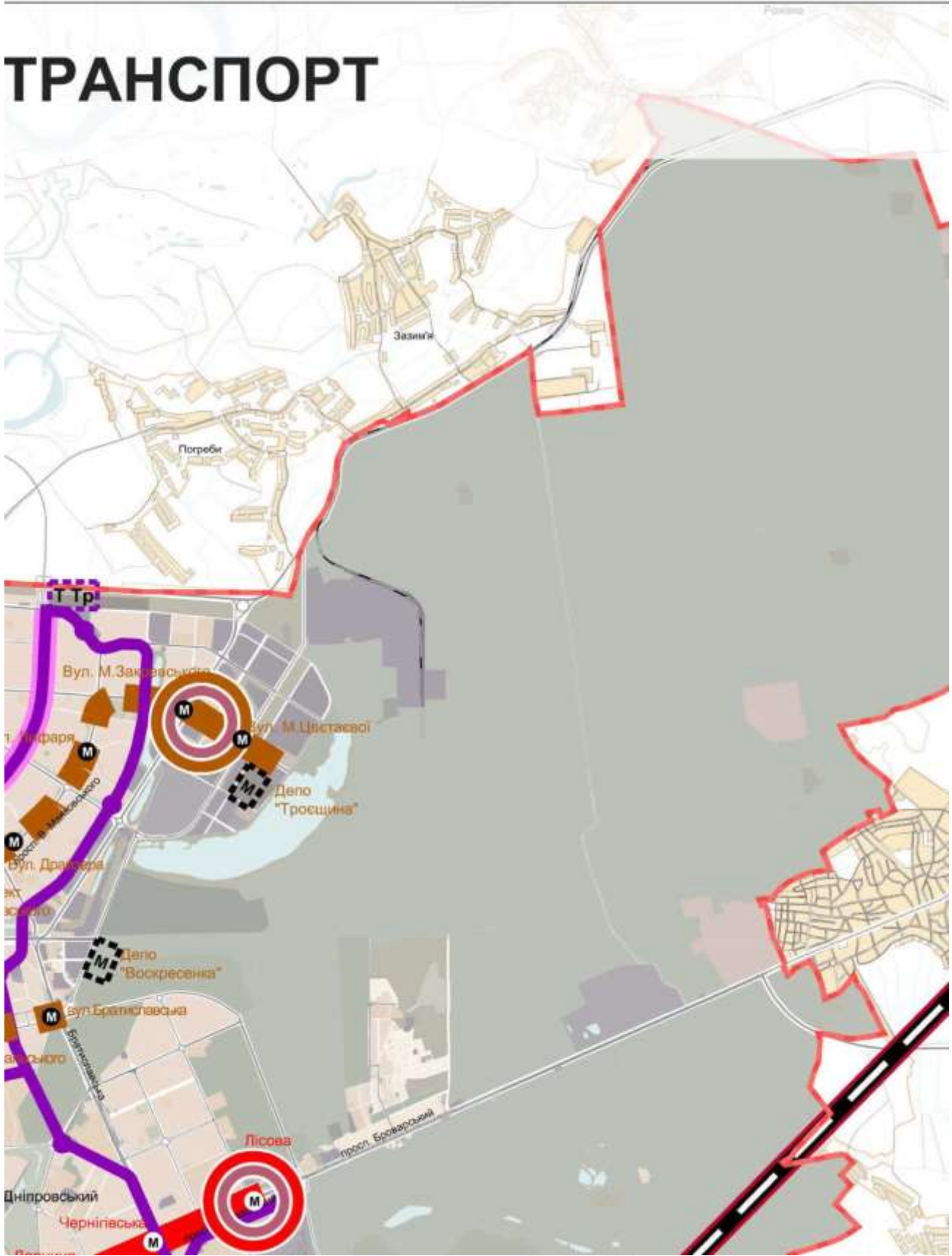




# РЕЙКОВИЙ ПАСАЖИРСЬКИЙ



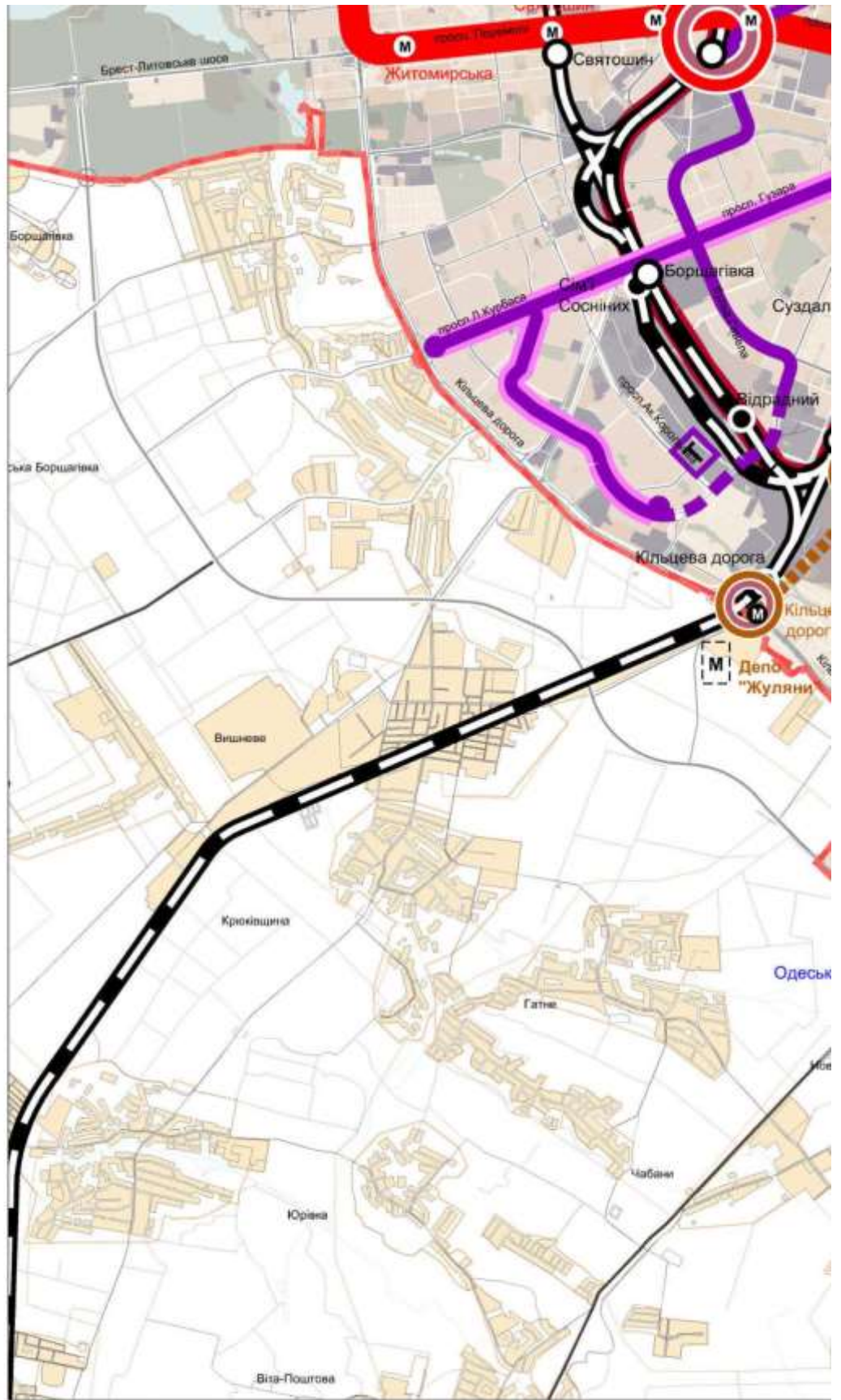
# ТРАНСПОРТ

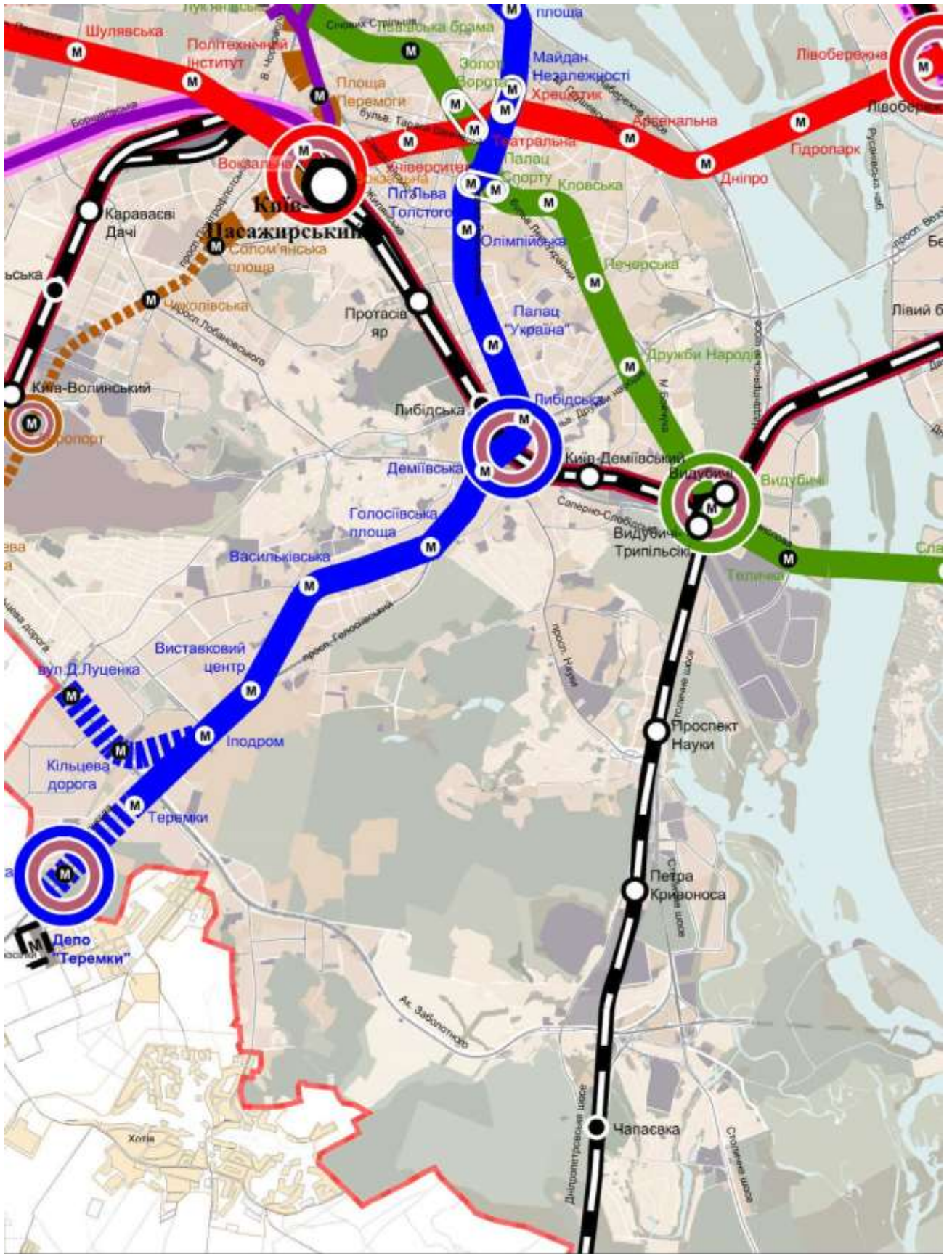


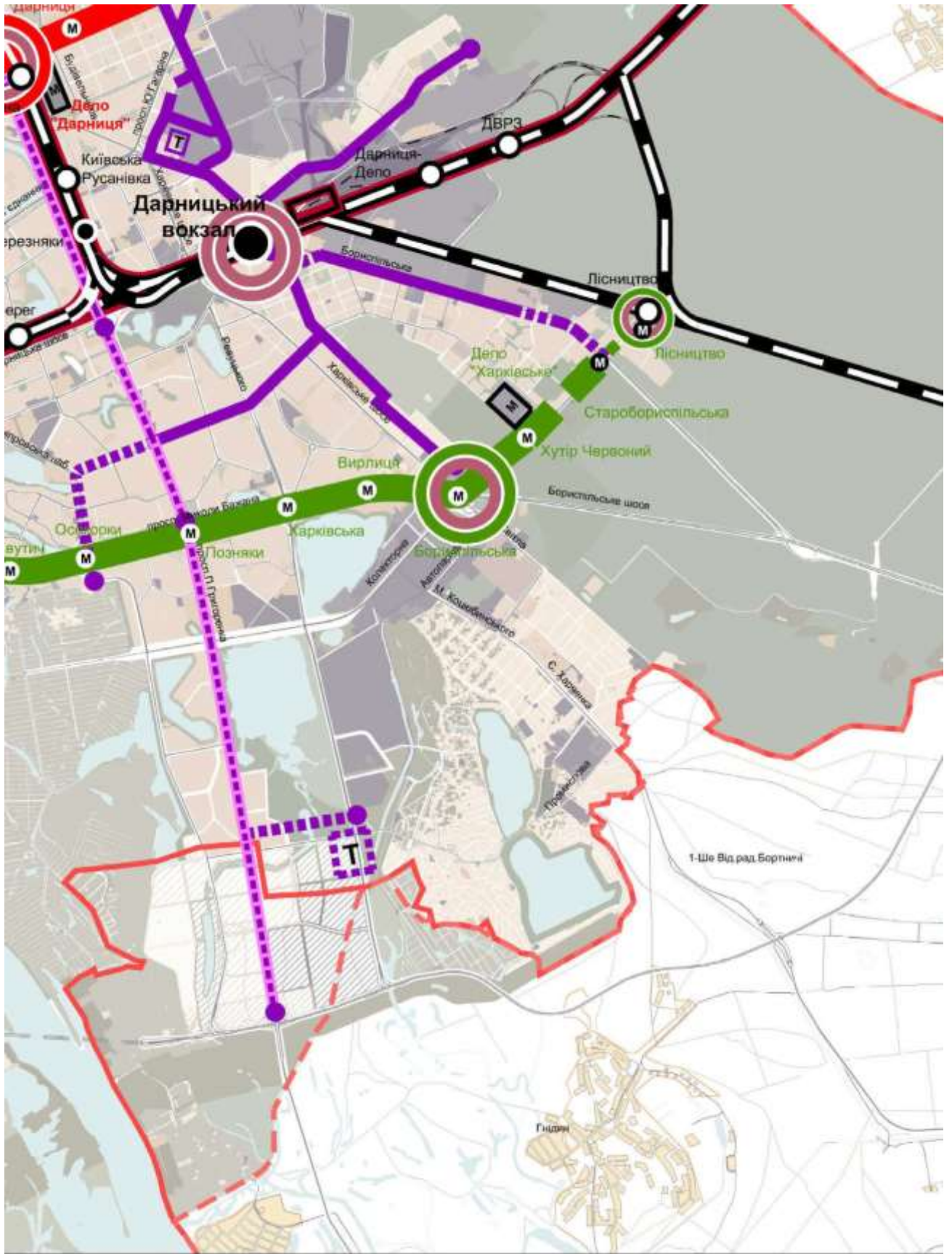
18

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ІСНУЮЧИЙ СТАН	РОЗРАХУНКОВИЙ ПЕРІОД	ПЕРСПЕКТИВА	ЛІНІЇ ТА СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ:
			СВЯТОШИНСЬКО-БРОВАРСЬКА ЛІНІЯ
			ОБОЛОНСЬКО-ТЕРЕМКІВСЬКА ЛІНІЯ
			СИРЕЦЬКО-ПЕЧЕРСЬКА ЛІНІЯ
			ПОДІЛЬСЬКО-ВИГУРІВСЬКА ЛІНІЯ
			ПЕРЕСАДОЧНІ ВУЗЛИ МІЖ ЛІНІЯМИ
			ДЕПО МЕТРОПОЛІТЕНУ
			ЛІНІЇ ТА СТАНЦІЇ ЗАЛІЗНИЦІ
			ЛІНІЯ МІСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ
			ДЕПО МІСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ
			ЛІНІЇ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ
			ТРАМВАЙНІ ЛІНІЇ









КО "ІНСТИТУТ  
 ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНУ  
 МІСТА КИЄВА"

**ВИТЯГ З ІНСТРУКЦІЇ  
ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ  
ТА ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**1.2. Основними видами (підвидами) експертизи є:**

1.2.2. Інженерно-технічна: інженерно-транспортна; дорожньо-технічна; *будівельно-технічна*; оціночно-будівельна; земельно-технічна; оціночно-земельна; експертиза з питань землеустрою; пожежно-технічна; безпеки життєдіяльності; гірничотехнічна; інженерно-екологічна; електротехнічна; комп'ютерно-технічна; телекомунікаційна, електротранспортна експертиза; експертиза технічного стану ліфтів.

**5. Будівельно-технічна та оціночно-будівельна експертизи**

**5.1. Основними завданнями будівельно-технічної експертизи є:**

- визначення відповідності розробленої проектно-технічної і кошторисної документації вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва;
- *визначення відповідності виконаних будівельних робіт та побудованих об'єктів нерухомого майна (будівель, споруд тощо) проектно-технічній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва;*
- визначення відповідності виконаних будівельних робіт, окремих елементів об'єктів нерухомого майна, конструкцій, виробів та матеріалів проектно-технічній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва;
- визначення, перевірка обсягів і вартості виконаних будівельних робіт та складеної первинної звітної документації з будівництва та їх відповідність проектно-кошторисній документації, вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва;
- визначення групи капітальності, категорії складності, ступеня вогнестійкості будівель і споруд та ступеня будівельної готовності незавершених будівництвом об'єктів;



- *визначення технічного стану будівель, споруд та інженерних мереж, причин пошкоджень та руйнувань об'єктів та їх елементів;*
- *визначення вартості будівельних робіт, пов'язаних з переобладнанням, усуненням наслідків залиття, пожежі, стихійного лиха, механічного впливу тощо;*
- *визначення можливості та розробка варіантів розподілу (виділення частки; порядку користування) об'єктів нерухомого майна.*

#### 5.1.1. Орієнтовний перелік вирішуваних питань:

- *Чи відповідає розроблена проектно-кошторисна документація вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (ДБН, СНиП тощо)? Якщо не відповідає, то в чому полягають невідповідності?*
- *Чи відповідають виконані будівельні роботи проектній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва? Якщо не відповідають, то в чому полягають невідповідності?*
- *Чи відповідають об'єкти (будівлі, споруди тощо) проектно-технічній документації на їх будівництво (ремонт, реконструкцію) та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва. Якщо не відповідають, то в чому полягають невідповідності?*
- *Чи відповідають виконані будівельні роботи (або окремі елементи об'єктів нерухомого майна, конструкції, вироби, матеріали тощо) проектно-технічній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (ДБН, СНиП, стандартам, технічним умовам тощо)? Якщо не відповідають, то в чому полягають невідповідності?*
- *Який перелік та об'єми фактично виконаних будівельних робіт з будівництва (ремонт, реконструкції)?*
- *Яка вартість фактично виконаних робіт з будівництва (ремонт, реконструкції) об'єктів?*
- *Чи відповідають обсяги та вартість фактично виконаних робіт з будівництва (ремонт, реконструкції) об'єктів обсягам та вартості, визначеним проектно-кошторисною або первинною звітною документацією з будівництва?*

- Чи відповідає первинна звітна документація (форми КБ-2в, КБ-3 тощо) з будівництва (ремонт, реконструкції) за порядком складання і наведеними розрахунками вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва? Якщо не відповідає, то в чому полягають невідповідності?
- Який вид будівництва (нове будівництво, реконструкція, капітальний ремонт тощо) фактично виконаний на об'єкті?
- Чи є об'єкт (результат виконання робіт) нерухомим майном?
- Який ступінь будівельної готовності незавершеного будівництвом об'єкта?
- Яка група капітальності (категорія складності, ступінь вогнестійкості) об'єкта?
- **Який технічний стан (ступінь фізичного зношення) об'єкта нерухомого майна (будівлі, споруди тощо)?**
- **Чи є об'єкт нерухомого майна (будівля, споруда) аварійним?**
- **Які пошкодження об'єкта (будівлі, квартири, приміщення, оздоблення тощо) виникли внаслідок залиття, пожежі, стихійного лиха, механічного впливу, просідання ґрунту на підроблюваних територіях тощо?**
- **Яка технічна причина пошкоджень та руйнувань об'єкта нерухомого майна (елементів, конструкцій, інженерних мереж тощо)?**
- **Яка вартість ремонтно-будівельних робіт, проведення яких необхідне для усунення пошкоджень унаслідок залиття, пожежі, стихійного лиха, механічного впливу, просідання ґрунту тощо?**
- **Який розмір завданої матеріальної шкоди об'єкту (будівлі, квартирі, приміщенню, оздобленню тощо) унаслідок його залиття, пожежі, стихійного лиха, механічного впливу, просідання ґрунту тощо?**
- Яке функціональне призначення приміщень? Чи належать приміщення будинку до нежитлових (допоміжних)?
- Чи є технічна можливість відповідно до вимог нормативно-правових актів у галузі будівництва розділити (виділити частку; визначити порядок користування) об'єкт нерухомого майна відповідно до часток співвласників (вказати частки)?

– Які варіанти розподілу (виділення частки; визначення порядку користування) об'єкта нерухомого майна можливо визначити відповідно до часток співвласників (вказати частки) та вимог нормативно-правових актів?

– Чи належить будівля за архітектурним вирішенням (стилем) до категорії культових споруд: храмів, церковних споруд? (Зазначене питання може вирішуватись шляхом проведення комплексної експертизи із залученням відповідних фахівців.)

5.1.2. Питання відповідності розробленої проектно-технічної та кошторисної документації вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва, а також питання визначення відповідності виконаних будівельних робіт та побудованих об'єктів нерухомого майна (будівель, споруд тощо) проектно-технічній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва можуть бути вирішені за наявності у експерта (експертів) відповідних фахових знань, в тому числі з вузько направлених питань, з проектування, будівництва та експлуатації об'єктів будівництва з урахуванням об'ємності матеріалів і складності об'єкта та інших його особливостей.

5.1.3. Для вирішення питань: про відповідність розробленої проектно-кошторисної документації вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (ДБН, СНиП тощо); відповідність фактично виконаних будівельних робіт проектній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва; визначення переліку та об'ємів фактично виконаних робіт з будівництва (ремонт, реконструкції) об'єктів; визначення вартості фактично виконаних робіт з будівництва об'єктів; визначення відповідності обсягів і вартості фактично виконаних будівельних робіт обсягам та вартості, визначеним проектно-кошторисною або первинною звітною документацією; відповідності первинної звітної документації з будівництва за порядком складання і наведеними розрахунками вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва експерту необхідно надати договірну документацію (договори підряду та додатки до них, додаткові угоди тощо), а також проектно-кошторисну та первинну звітну і виробничу документацію (форми КБ-2в, КБ-3, відомості списання матеріалів,

журнал виконання робіт, акти огляду прихованих робіт, акти випробувань тощо) на виконання будівельних робіт.

5.1.4. Для вирішення питань: про відповідність об'єктів нерухомого майна проектно-технічній документації на їх будівництво (ремонт, реконструкцію) та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (містобудівним, протипожежним, санітарно-гігієнічним тощо); відповідність виконаних будівельних робіт (окремих елементів об'єктів, конструкцій, виробів, матеріалів) проектно-технічній документації та вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва (ДБН, СНИП, стандартам, технічним умовам тощо) експерту необхідно надати проектну та первинну звітну та виробничу документацію на будівництво об'єкта, документ про приймання в експлуатацію об'єкта будівництва, матеріали технічної інвентаризації на об'єкт, стандарти та технічні умови на виготовлення конструкцій, виробів та матеріалів тощо.

**5.1.5. Для вирішення питань щодо визначення технічного стану (ступеня фізичного зношення), аварійності, групи капітальності, категорії складності, ступеня вогнестійкості об'єкта нерухомого майна, а також визначення пошкоджень та руйнувань об'єкта і його конструктивних елементів та причин їх виникнення експерту необхідно надати проектну документацію на будівництво об'єкта, документ про приймання його в експлуатацію, матеріали технічної інвентаризації, акти і звіти попередніх обстежень та досліджень тощо.**

5.1.6. Для вирішення питань щодо визначення технічної можливості розподілу об'єктів нерухомого майна та надання варіантів такого розподілу експерту необхідно надати правостановлювальні документи на об'єкт нерухомості, дані щодо часток співвласників, документ про приймання в експлуатацію об'єкта, матеріали технічної інвентаризації, дані щодо фактичного використання нерухомого майна.

## ВИТЯГИ З БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ

### ВИСНОВОК

за результатами проведення  
будівельно-технічного дослідження

⊕



□

Оскільки зміст завдання для дослідження експерту зрозумілий, то у відповідності до вимог п.4.14 Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень, затвердженої наказом Міністерства юстиції України №53/5 від 08.10.1998р. (із змінами та доповненнями), виходячи зі змісту листа від 26.02.2016 №319 та наданих додаткових матеріалів для дослідження, експерт вважає за доцільне викласти питання для дослідження у такій редакції:

1. Який фактичний технічний стан нежитлового будинку, розташованого за адресою: м. Київ, вул. Гоголівська, №■?
2. Чи відповідає фактичний технічний стан нежитлового будинку, розташованого за адресою: м. Київ, вул. Гоголівська, №■, технічному стану зазначеному у звіті про виконану роботу обстеження нежитлового будинку №■ по вул. Гоголівській в м. Києві від 25.12.2015?
3. Який технічний стан нежитлового будинку, розташованого за адресою: м. Київ, вул. Гоголівська, №■?
4. Чи відповідає фактичний технічний стан нежитлового будинку, розташованого за адресою: м. Київ, вул. Гоголівська, №■, технічному стану зазначеному у звіті про виконану роботу обстеження нежитлового будинку №■ по вул. Гоголівській в м. Києві від 25.12.2015?

Проведення експертного дослідження доручено судовому експерту Командирову Олексію Вікторовичу, який працює за шкільно-правовою

### ВИСНОВКИ

1. Фактичний технічний стан будинку №■ по вул. Гоголівській у м. Києві на момент обстеження (03.03.2016) визначається як непридатний (аварійний), при якому експлуатація елементів будинку неможлива, через те, що елементи знаходяться у зруйнованому стані, серед яких є конструкції стану IV – аварійний, категорії «А», що унеможливає та робить недоцільним реконструкцію та відновлення будівлі.
2. Фактичний технічний стан нежитлового будинку, розташованого за адресою: м. Київ, вул. Гоголівська, №■, відповідає технічному стану зазначеному у звіті про виконану роботу обстеження нежитлового будинку №44 по вул. Гоголівській в м. Києві від 25.12.2015.
3. Фактичний технічний стан будинку №■ по вул. Гоголівській у м. Києві на момент обстеження (03.03.2016) визначається як непридатний (аварійний), при якому експлуатація елементів будинку неможлива, через те, що елементи знаходяться у зруйнованому стані, серед яких є конструкції стану IV – аварійний, категорії «А», що унеможливає та робить недоцільним реконструкцію та відновлення будівлі.
4. Фактичний технічний стан нежитлового будинку, розташованого за адресою: м. Київ, вул. Гоголівська, №■, відповідає технічному стану зазначеному у звіті про виконану роботу обстеження нежитлового будинку №46 по вул. Гоголівській в м. Києві від 25.12.2015.

До висновку додається додаток А на 2-х аркушах.

Судовий експерт

О.В. Командиров

## ВИСНОВОК ЕКСПЕРТНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ за результатами проведення будівельно-технічного дослідження



надати відповіді на наступні питання:

«1. Чи відповідає проектна документація вищезазначених конструкцій Вишнівської загальноосвітньої школи № [REDACTED] вимогам нормативних документів, чинних на сьогоднішній день в галузі будівництва?

2. Чи відповідають фактично виконані роботи із виготовлення та монтажу металевих конструкцій (ферм) даху в спортивному та актовому залах школи № [REDACTED] рішенням визначеним у проектній документації та актам виконаних (прихованих) робіт?

3. У якому технічному стані знаходяться вище зазначені конструкції на сьогоднішній день?

4. Чи можлива нормальна експлуатація будівлі із вище зазначеними конструкціями в подальшому?».

### Проведення експертного дослідження доручено експертам:

- Командирову Олексію Вікторовичу – завідувачу відділу досліджень проектної документації та вартості будівельних робіт лабораторії інженерно-технічних видів досліджень, судовому експерту другого кваліфікаційного класу, який має вищу освіту другого рівня за ступенем магістра, кваліфікацію

### ВИСНОВОК

1. Проектна документація, в обсязі наданому на дослідження, металевих конструкцій (ферм) даху в спортивному та актовому залах нового корпусу Вишнівської ЗОШ № 1 по вул. Червоноармійська, 9, відповідає вимогам нормативних документів, чинних на сьогоднішній день в галузі будівництва, зокрема:

- в частині складу проекту: ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво», ДСТУ Б А.2.4-4:2009 «Основні вимоги до проектної та робочої документації» та «Порядку розроблення проектної документації на будівництво об'єктів».

- в частині змісту проекту: ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» та ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».

2. Фактично виконані роботи із виготовлення та монтажу металевих конструкцій (ферм) даху в спортивному та актовому залах школи №1 відповідають рішенням визначеним у проектній документації. Визначити відповідність робіт актам прихованих робіт не вдається за можливе, через ненадання актів на приховані роботи на дослідження.

3. Фактичний технічний стан металевих конструкцій (ферм) даху в спортивному та актовому залах нового корпусу Вишнівської ЗОШ № 1 по вул. Червоноармійська 9 визначається як нормальний (добрий).

Експерти: \_\_\_\_\_ О. В. Командиров \_\_\_\_\_ Д. В. Белек

40 з 40

4. Нормальна експлуатація будівлі нового корпусу Вишнівської ЗОШ № 1 по вул. Червоноармійська, 9, з металевими конструкціями (ферми) даху в спортивному та актовому залах можлива.

Експерт

О.В. Командиров

## ВИСНОВОК ЕКСПЕРТІВ

### за результатами проведення комісійної будівельно-технічної експертизи

На вирішення призначеної експертизи поставлено наступні питання:

1. "Який технічний стан об'єктів нерухомого майна жилих будинків з прибудовами та господарських приміщень за адресами:

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 3, належне на праві власності Коваленко Галині Олександрівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 18, належне на праві власності Слухай Василю Григоровичу та Слухай Оксані Василівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 30 кв. 2 належне на праві власності Гасумірян Арменуї Генріхівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Митицького, 9 належне на праві власності Григоренку Віктору Івановичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Жовтнева, 81 належне на праві власності Мовчану Василю Вікторовичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 60 належне на праві власності Клименко Миколі Володимировичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Митицького, 5 належне на праві власності Дубовому Анатолію Михайловичу, Дубовій Катерині Анатоліївні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Радосіна, 55 належне на праві власності Коломієць Зінаїді Панасівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 3 кв. 28 належне на праві власності Шудрак Тетяні Володимирівні Швець Ліз Іванівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Агрономічний, 14, належний на праві власності Марченко Наталії Леонідівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Агрономічний, 10, належне на праві власності Цісаренко Михайло Вікторовичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Митицького, 7 належне на праві власності Гончарук Віталію Нікіфоровичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 20, належне на праві власності Сибілевої Олені Миколаївні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 1А кв 4, належне на праві власності Шудрак Дмитру Фрідріховичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 3 належне на праві власності Тимофєєву Анатолію Васильовичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 28 кв. 4 належне на праві власності Романчук Н. І.;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 1А належне на праві власності Цимбал М. А.;

с. Сивова Рокитнянського р-ну Київської області вул. Радосіна, 57, належне на праві власності Москалевському Миколі Павловичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Митицького, 13 належне на праві власності Шудрак Євгеніо Валентиновичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Митицького, 3 належне на праві власності Булат Б. О., Булат Я. О.?"

2. "Яка технічна причина пошкодження та руйнувань об'єктів нерухомого майна жилих будинків з прибудовами та господарських приміщень за адресами:

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 3, належне на праві власності Коваленко Галині Олександрівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 18, належне на праві власності Слухай Василю Григоровичу та Слухай Оксані Василівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 30 кв. 2 належне на праві власності Гасумірян Арменуї Генріхівні;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Митицького, 9 належне на праві власності Григоренку Віктору Івановичу;

с/пт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Жовтнева, 81 належне на праві власності Мовчану Василю Вікторовичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 60 належне на праві власності Кищенко Миколі Володимировичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Мітлицького, 5 належне на праві власності Дубовому Анатолію Михайловичу, Дубовій Катерині Анатоліївні;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Радгоспна, 55 належне на праві власності Коломієць Зінаїді Панасівні;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 3 кв. 28 належне на праві власності Шудрак Тетяні Володимирівні Швець Лі Іванівні;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Агрономічний, 14, належний на праві власності Марченко Наталії Леонідівні;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Агрономічний, 10, належне на праві власності Цісаренко Михайло Вікторовичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Мітлицького, 7 належне на праві власності Гончарук Віталію Нікіфоровичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 20, належне на праві власності Сібілевіч Олені Миколаївні;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 1А кв 4, належне на праві власності Шудрак Дмитру Фрідріховичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 3 належне на праві власності Тимофееву Анатолію Васильовичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 28 кв. 4 належне на праві власності Романчук Н. І.;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області вул. Білоцерківська, 1А належне на праві власності Цимбал М. А.;

с. Синява Рокитнянського р-ну Київської області вул. Радгоспна, 57, належне на праві власності Москалевському Миколі Павловичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Мітлицького, 13 належне на праві власності Шудрак Євгенію Валентиновичу;

с/мт Рокитне – 2 Рокитнянського р-ну Київської області пров. Мітлицького, 3 належне на праві власності Булат Б. О., Булат Я. О.?"

У зв'язку із звільненням Ігнатюкова Вадима Миколайовича, виконання призначеної експертизи передоручено комісії експертів у складі:

- голова комісії Командиров Олексій Вікторович – завідувач відділу досліджень проектної документації та вартості будівельних робіт лабораторії інженерно-технічних видів досліджень, судовий експерт другого кваліфікаційного класу, який має вищу освіту другого рівня за ступенем магістра, кваліфікацію судового експерта за спеціальностями 10.6. "Дослідження об'єктів нерухомості, будівельних матеріалів, конструкцій та відповідних документів" (кваліфікаційне свідоцтво № 701-17 від 21.12.2017, видане Київським науково-дослідним інститутом судових експертиз Міністерства юстиції України, дієсне до 21.12.2022), 10.10. "Визначення оціночної вартості будівельних об'єктів і споруд" (кваліфікаційне свідоцтво № 702-17 від 21.12.2017, видане Київським науково-дослідним інститутом судових експертиз Міністерства юстиції України, дієсне до 21.12.2022), стаж експертної роботи з 2015 року;

## ВИСНОВКИ

1. За сукупним станом придатності до експлуатації окремих конструкцій, технічний стан житлових будинків з прибудовами та господарських будівель і споруд за адресами: Київська область, Рокитнянський р-н, с/мт. Рокитне-2, вул. Білоцерківська, будинки 1а, 1а кв. 4, 3, 3, 18, 20, 28 кв. 3, 28 кв. 4, 30, 60, вулиця Мітлицького, будинки 3, 5, 7, 9, 13, вулиця Жовтнева, будинок 81, вулиця Радгоспна, будинки 55, 57, провулок Агрономічний, будинки 10, 14 відповідно СОУ ЖКГ можливо охарактеризувати та оцінити, як задовільний, а їх фізичний знос перебуває в межах від 21 - 40 % (основні конструктивні елементи досліджуваних житлових будинків в цілому придатні для експлуатації, але потребують ремонту, який найдоцільніший на цій стадії).



## ВИСНОВОК ЕКСПЕРТІВ за результатами проведення комісійної судової будівельно-технічної експертизи

**На вирішення призначеної експертизи поставлено наступні питання:**

1. *"Чи відповідає розроблена проектна документація на тимчасову споруду за адресою: м. Полтава, вул. Соборності, 31, що розташована на земельній ділянці кадастровий номер № 5310137000:15:006:0342, вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва ? Якщо не відповідає, то в чому полягають невідповідності ?"*
2. *"Чи відповідає тимчасова споруда за адресою: м. Полтава, вул. Соборності, 31, що розташована на земельній ділянці кадастровий номер № 5310137000:15:006:0342 та проведені на ній будівельні роботи, вимогам нормативно-правових актів у галузі будівництва ? Якщо не відповідають, то в чому полягають невідповідності ?"*
3. *"В якому технічному стані знаходиться будівля – «Колишнє Дворянське зібрання» розташована за адресою: м. Полтава, вул. Соборності, 31 ?"*
4. *"Чи є будівля – «Колишнє Дворянське зібрання» розташована за адресою: м. Полтава, вул. Соборності, 31 пам'яткою національного значення ?"*
5. *"Чи пошкоджено пам'ятку архітектури національного значення (колишнє Дворянське зібрання), будівля якої розташована за адресою: м. Полтава, вул. Соборності, 31 чи її частини ? Якщо так, то детально вкажіть на пошкодження та чинники які слугували їх виникненню ?"*
6. *"Чи виникли пошкодження пам'ятки архітектури національного значення (колишнє Дворянське зібрання) внаслідок проведення будівельних робіт тимчасової споруди за адресою: м. Полтава, вул. Соборності, 31, що розташована на земельній ділянці кадастровий номер № 5310137000:15:006:0342 ?"*
7. *"Якщо так, то чи втратила пам'ятка внаслідок пошкодження та прибудови тимчасових споруд матеріальну автентичність ?"*
8. *"Чи призвело до повного або часткового зникнення об'єкта культурної спадщини «Колишнє Дворянське зібрання» розташована за адресою: м. Полтава, вул. Соборності, 31, характерних властивостей, що становлять історико-культурну цінність цього об'єкту ?"*

**Проведення призначеної судової будівельно-технічної експертизи доручено комісії у складі:**

- голова комісії Командиров Олексій Вікторович – завідувач відділу досліджень проектної документації та вартості будівельних робіт лабораторії інженерно-технічних видів досліджень, судовий експерт другого кваліфікаційного класу, який має вищу освіту другого рівня за ступенем магістра, кваліфікацію судового експерта за спеціальностями 10.6. "Дослідження об'єктів нерухомості, будівельних матеріалів, конструкцій та відповідних документів" (кваліфікаційне свідоцтво № 701-17 від 21.12.2017, видане Київським науково-дослідним інститутом судових експертиз Міністерства юстиції України, дійсне до 21.12.2022), 10.10. "Визначення оціночної вартості будівельних об'єктів і споруд" (кваліфікаційне свідоцтво № 702-17 від 21.12.2017, видане Київським науково-дослідним інститутом судових експертиз Міністерства юстиції України, дійсне до 21.12.2022), стаж експертної роботи з 2015 року;

**3. 5. 6. 10.** Згідно з п. 5.3 ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 "Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану", п. 3.2.3.10, п. 4.2.10 (таблиця 4.1) методичних рекомендацій "Визначення фізичного зносу нежитлових будівель" (Звіт про науково-дослідну роботу IV.3.3-2014/2, номер державної реєстрації № 0114U000706, прийнято Вченою Радою КНДІСЕ, протокол від 17.12.2015 № 9) та п. 5.3 (таблиця 5.1) СОУ ЖКГ 75.11 - 35077234.0015:2009 "Житлові будинки. Правила визначення фізичного зносу житлових будинків" загальний технічний стан конструктивних елементів громадської будівлі "Колишнє Дворянське зібрання" по вул. Соборності, 31 у м. Полтава, станом на момент проведення візуально-інструментального обстеження, можливо охарактеризувати та оцінити, як задовільний – категорія 2, а їх фізичний знос перебуває в межах від 21 - 40 % (Видимих руйнувань або пошкоджень (дефектів), які б призвели до втрати несучої здатності та нормальної функціональності основних конструктивних елементів не встановлено. Елементи досліджуваної будівлі в цілому придатні для експлуатації, але потребують ремонту, який найдоцільніший на цій стадії).

Пошкодження (дефекти), які наявні станом на момент проведення візуально-інструментального обстеження громадської будівлі "Колишнє Дворянське зібрання" по вул. Соборності, 31 у м. Полтава, наведено у дослідницькій частині та зображено на рисунках 14 - 25.

Станом на момент проведення візуально-інструментального обстеження встановлено, що під час проведення будівельних робіт було втручання в конструкції на 1 поверсі громадської будівлі "Колишнє Дворянське зібрання" по вул. Соборності, 31 у м. Полтава, а саме у несучій стіні було демонтовано віконний проріз із подальшим влаштуванням дверного прорізу, який спрямовано у напрямку вул. 1100 річчя для сполучення приміщень прибудови з громадською будівлею, а також наявні штроби в стіні для прокладання інженерних комунікацій. Наявні пошкодження виникли внаслідок проведення робіт по улаштуванню дверного прорізу в стіні будівлі "Колишнє Дворянське зібрання" для забезпечення горизонтального сполучення приміщень будівлі "Колишнє Дворянське зібрання" з приміщенням прибудови, а також для проведення інженерних мереж з будівлі "Колишнє Дворянське зібрання" до приміщення прибудови.

значення.

Експерт



О.В. Командіров

## ВИСНОВОК ЕКСПЕРТІВ за результатами проведення комісійної судової будівельно-технічної експертизи

**На вирішення судової будівельно-технічної експертизи поставлені питання:**

1. «Чи здійснювався відповідачем капітальний та поточний ремонт будівлі «Гостинного двору» відповідно до п. 4.1. договору оренди №149 від 18.03.1994 (з початку його дії по дату звернення з позовом)?»;
2. «Якщо так, то який перелік та об'єми фактично виконаних будівельних робіт здійснено відповідачем з ремонту, реконструкції та консервації «Гостинного двору» в період дії договору оренди №149 від 18.03.1994?»;

2 з 49

3. «Який технічний стан (ступінь фізичного зношення) об'єкту нерухомого майна будівлі «Гостинного двору»?»;
4. «Які зміни в технічному стані будівлі «Гостинного двору» є такими, що викликані виконанням відповідачем розпочатих будівельних робіт з реконструкції будівлі «Гостинного двору» (відповідно до листа Фонду Державного майна України № 30-09/1247 від 07.02.2012)?»;
5. «Яка технічна причина пошкодження та руйнувань об'єкта будівлі «Гостинного двору» (елементів)? Чи могло відбутися погіршення технічного стану через невиконання відповідачем капітального та поточного ремонту будівлі, через утримання в неналежному технічному стані або через нереалізацію поліпшень (відповідно до листа Фонду Державного майна України № 30-09/1247 від 07.02.2012)?»;
6. «Чи могли бути спричинені пошкодження будівлі невиконанням відповідачем будівельних робіт, необхідних, зокрема, для збереження будівлі «Гостинного двору» в період дії договору оренди №149 від 18.03.1994?».

Проведення експертизи доручено комісії експертів у складі:

- завідувача сектору досліджень проектної документації у будівництві лабораторії інженерно-технічних видів досліджень інституту, **Командирова Олексія Вікторовича**, який має вищу будівельно-технічну освіту другого рівня за ступенем магістра з будівництва, має вищу освіту за спеціальністю «Державне управління» другого рівня за ступенем магістра державного управління, другий кваліфікаційний клас судового експерта, експертну кваліфікацію за спеціальностями: 10.6 «Дослідження об'єктів нерухомості, будівельних матеріалів, конструкцій та відповідних документів» (кваліфікаційне свідоцтво №701-17 від 21.12.2017, видане Київським науково-дослідним інститутом судових експертиз Міністерства юстиції України, дійсне до 21.12.2022), 10.10 «Визначення оціночної вартості будівельних об'єктів і споруд» (кваліфікаційне свідоцтво №702-17 від 21.12.2017, видане Київським науково-дослідним інститутом судових експертиз Міністерства юстиції України, дійсне до 21.12.2022), стаж практичної роботи з 2004 року, стаж експертної роботи з 2015 року;

### ВИСНОВКИ

1. Звітна та виконавча документація на виконання ремонтно-будівельних в будівлі Гостинного двору в період з початку дії договору оренди № 149, тобто з 18.03.1994 по теперішній час в наданих на дослідження матеріалах відсутня.

Станом на даний час будівельні роботи виконані в будівлі «Гостинний двір» можливо класифікувати як не завершені. Загальний вигляд та стан будівлі свідчить про те, що роботи не виконуються протягом тривалого часу.

На момент проведення огляду ознак консервації об'єкта не виявлено, в наданих на дослідження матеріалах розпорядчі документи про консервацію об'єкта відсутні.

3. Технічний стан (ступінь фізичного зношення) об'єкту нерухомого майна будівлі «Гостинного двору» загалом відноситься до «3» категорії технічного стану - не придатний до нормальної експлуатації.

4. Внаслідок проведення частини робіт, передбачених проектною документацією, по реконструкції об'єкта дослідження, зокрема таких, що мають втручання в просторово-жорсткостну схему роботи конструкції об'єкта, об'єкт отримав деформації, які, зокрема, мають причинно-наслідковий зв'язок з проведеними роботами, у сукупності з іншими факторами, що вплинули на поточний технічний стан.

5. Технічною причиною пошкоджень та руйнувань об'єкта будівлі «Гостинного двору» (елементів) фактично стали як процеси внутрішнього характеру, які протікають при експлуатації конструкції будівлі й обумовлені взаємними переміщеннями конструкцій відносно одна одної, так й зовнішнього характеру, внаслідок впливу факторів навколишнього середовища та умов експлуатації, зокрема проведення будівельних робіт по реконструкції з втручанням в просторово-жорсткостну схему будівлі не в повному обсязі та через утримання в неналежному технічному стані або через нереалізацію поліпшень (відповідно до листа Фонду Державного майна України № 30-09/1247 від 07.02.2012). Зазначені роботи мають причинно-наслідковий зв'язок з причинами отримання будівлею наявних дефектів, у сукупності з іншими факторами, що вплинули на поточний технічний стан.

6. Виникнення наявних пошкодження та руйнувань (дефектів) об'єктів будівлі «Гостинного двору» (елементів), має причинно-наслідковий зв'язок з невиконанням відповідачем робіт, необхідних для збереження будівлі, оскільки невиконання зазначених умов спричинило вільний вплив факторів навколишнього середовища на конструкції об'єкту, у сукупності з іншими факторами, що вплинули на поточний технічний стан.

Експерт



О.В. Командиров

## ВИСНОВОК

### за результатами проведення будівельно-технічного дослідження

доповненнями), виходячи зі змісту листа від 01.07.2016 №27-04/680-3 та наданих додаткових матеріалів для дослідження, експерт вважає за доцільне викласти питання для дослідження у такій редакції:

1. Який фактичний технічний стан будівель Київської філії НУ ОЮА по вул. Харківське шосе, 210 у м. Києві та чи можлива їх нормальна експлуатація:
  - майстерня № 1;
  - майстерня № 2;
  - бойлерну;
  - сміттєзбірник?

Проведення експертного дослідження доручено судовому експерту Командирову Олексію Вікторовичу, який працює за цивільно-правовою угодою з КНДІСЕ, має вищу будівельно-технічну освіту, освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр з будівництва, експертну кваліфікацію за спеціальностями: 10.6 «Дослідження об'єктів нерухомості, будівельних матеріалів, конструкцій та відповідних документів» (кваліфікаційне свідоцтво №1714 від 23.01.2015, видане рішенням Центральної експертно-кваліфікаційної комісії Міністерства юстиції України №24 від 23.01.2015, дійсне до 23.01.2018), 10.10 «Визначення оціночної вартості будівельних об'єктів і споруд» (кваліфікаційне свідоцтво №1752 від 20.11.2015, видане рішенням Центральної експертно-кваліфікаційної комісії Міністерства юстиції України №9 від 20.11.2015, дійсне до 20.11.2018), стаж експертної роботи з 2015 року.

34

## ВИСНОВОК

Фактичний технічний стан допоміжних будівель (майстерні №1, майстерні №2, бойлерної (центрального теплового пункту), сміттєзбірника (підсобного приміщення)) Київської філії НУ ОЮА по вул. Харківське шосе, 210 у м. Києві на момент обстеження (17.11.2016) визначається як незадовільний (не придатний до нормальної експлуатації), при якому експлуатація елементів будівлі можлива лише при умові проведення їх ремонту, у будівлі (споруді) відсутні несучі та огорожувальні конструкції, які відповідають стану конструкцій IV (аварійний). Подальша експлуатація будівель можлива при проведенні капітального ремонту у випадку збереження функціонального призначення або проведення реконструкції у випадку зміни функціонального призначення.

До висновку додається додаток А на 3-х аркушах.

Судовий експерт

О.В. Командиров

**ВИСНОВОК ЕКСПЕРТА**  
**за результатами проведення судової будівельно-технічної експертизи**



**ВСТУП**

На вирішення експертизи поставлені питання:

*« 1. В якому технічному стані знаходиться об'єкт за адресою по вул. Ярославська, 3/1 у м. Києві?|*

*2. Чи є даний об'єкт нежитловим будинком (нежитловою спорудою, нежитловим приміщенням) відповідно до вимог ДБН, що пред'являються до нежитлових об'єктів?*

*3. Чи має місце знищення (загибель, руйнування) нежитлового будинку за адресою: вул. Ярославська, 3/1 у м. Києві?*

Проведення судової будівельно-технічної експертизи доручено судовому експерту Командирову Олексію Вікторовичу, який працює за цивільно-правовою угодою з КНДІСЕ, має вищу будівельно-технічну освіту, освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр з будівництва, експертну кваліфікацію за спеціальностями: 10.6 «Дослідження об'єктів нерухомості, будівельних матеріалів, конструкцій та відповідних документів» (кваліфікаційне свідоцтво №1714 від 23.01.2015, видане рішенням Центральної експертно-кваліфікаційної комісії Міністерства юстиції України №24 від 23.01.2015, дійсне до 23.01.2018), 10.10 «Визначення оціночної вартості будівельних об'єктів і споруд» (кваліфікаційне свідоцтво №1752 від 20.11.2015, видане рішенням Центральної експертно-кваліфікаційної комісії Міністерства юстиції України №9 від 20.11.2015, дійсне до 20.11.2018), стаж експертної роботи з 2015 року;

**АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Основні положення і практичні результати роботи були оприлюднені і одержали схвалення на міжнародних наукових конференціях, міжвідомчих науково-практичних семінарах та міжнародних круглих столах, а саме:

1. Командиров О.В. «Аналіз положень та змін в ДБН Б.2.2-12:2018 "Планування і забудова територій" у порівнянні з ДБН 360-92\*\*», доповідь на семінарі «Зміни у законодавчих та нормативно-правових актах у сфері будівництва та земельних відносин. Проблемні питання та шляхи вдосконалення» КНДІСЕ, травень 2019 року.

2. Командиров О.В. «Аналіз положень та змін в ДБН Б.2.2-12:2018 "Планування і забудова територій" у порівнянні з ДБН 360-92\*\*», доповідь на семінарі «Зміни у законодавчих та нормативно-правових актах у сфері будівництва та земельних відносин. Проблемні питання та шляхи вдосконалення» ОНДІСЕ, травень 2019 року.

3. Командиров О, Шмерего О. «Особливості дослідження дотримання вимог нормативно-правових актів України в частині пожежної безпеки при аналізі проектної документації та фактично виконаних робіт», доповідь на семінарі КНДІСЕ, листопад 2019 року.

*Особистий внесок здобувача полягає в проведенні налізу та узагальненні факторів недотримання вимог містобудівної документації на місцевому рівні, розміщення об'єктів та аналіз дозволів на відхилення від вимог нормативно-правових актів в галузі будівництва.*

4. Командиров О.В. «Аналіз положень та змін в ДБН Б.2.2-12:2018 "Планування і забудова територій" у порівнянні з ДБН 360-92\*\*», доповідь на конференції ОНДІСЕ, травень 2019 року.

5. Командиров О.В. «Зміни в нормативно-правових актах України в галузі будівництва у 2019-2020 роках», доклад на семінарі КНДІСЕ, квітень 2020.

КИЇВСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ  
МІНІСТЕРСТВА ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ

**В И Т Я Г**

з протоколу засідання Вченої ради № 11 від 27 листопада 2020 року

**С Л У Х А Л И:**

Звіт за результатами виконання етапу НДР за темою: IV.3.1-2018/2 «Розробка методичних рекомендацій щодо відповідності об'єктів будівництва вимогам нормативно-правових актів» (ДніпроНДІСЕ, керівник – Харченко В. В., КНДІСЕ, ОНДІСЕ, ХНДІСЕ, відповідальний виконавець від КНДІСЕ – Командиров О. В.) (копії титульного аркушу і списку авторів звіту додаються).

**П О С Т А Н О В И Л И:**

- інформацію взяти до відома;
- визнати, що етап НДР виконано у відповідності до технічного завдання та календарного плану у встановлені терміни;
- направити звіт за результатами виконання етапу НДР за темою: IV.3.1-2018/2 «Розробка методичних рекомендацій щодо відповідності об'єктів будівництва вимогам нормативно-правових актів» (ДніпроНДІСЕ, керівник – Харченко В. В., КНДІСЕ, ОНДІСЕ, ХНДІСЕ, відповідальний виконавець від КНДІСЕ – Командиров О. В.) до провідної установи (ДніпроНДІСЕ).

*(Рішення приймається одногосно)*

Оригінал підписали:  
Голова Вченої ради  
Учений секретар

Рувін О.Г.  
Колонюк В.П.

**Вірно.**  
Учений секретар



**Віктор Колонюк**



**КИЇВСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ  
МІНІСТЕРСТВА ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ**

**В И Т Я Г**

з протоколу засідання Вченої ради № 12 від 30 грудня 2020 року

**С Л У Х А Л И:**

Остаточний звіт по НДР за темою: IV.4.3-2020/1 «Розробка методичних рекомендацій з визначення ступеню вогнестійкості будівель та споруд при проведенні будівельно-технічної експертизи» (керівник – **Командиров О. В.**) (копії рецензій, витягу з протоколу, титульного аркуша та списку авторів звіту додаються).

Керівник НДР **Командиров О. В.** доповів, що НДР виконана своєчасно у відповідності до технічного завдання та календарного плану в повному обсязі. Рецензії (зовнішня та внутрішня) на остаточний звіт позитивні.

**П О С Т А Н О В И Л И:**

- інформацію взяти до відома;
- визнати, що НДР виконана у відповідності до технічного завдання та календарного плану;
- вважати остаточний звіт по НДР за темою: IV.4.3-2020/1 «Розробка методичних рекомендацій з визначення ступеню вогнестійкості будівель та споруд при проведенні будівельно-технічної експертизи» (керівник – **Командиров О. В.**) прийнятим та подати на затвердження директору інституту;
- рекомендувати розробку за темою: IV.4.3-2020/1 «Розробка методичних рекомендацій з визначення ступеню вогнестійкості будівель та споруд при проведенні будівельно-технічної експертизи» (керівник – **Командиров О. В.**) до розгляду на засіданні відповідної секції НКМР з метою вирішення питання щодо її апробації та застосування в експертній практиці.

*(Рішення приймається одногосно)*

Оригінал підписали:  
Заступник Голови Вченої ради  
Учений секретар

Нестор Н.В.  
Колонюк В.П.

**Вірно.**  
Учений секретар



**Віктор КОЛОНИЮК**

МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ

# СЕРТИФІКАТ

засвідчує те, що

**Олексій Командиров**

*брав участь у міжвідомчому  
науково-практичному семінарі*  
**«ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ СУДОВИХ  
БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ТА ЗЕМЕЛЬНО-  
ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ. ПЕРСПЕКТИВИ  
РОЗВИТКУ ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ»**

Директор Інституту

Олександр Рувін

м. Київ, 25 квітня 2018 року



МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ ІМ. ЗАСЛ. ПРОФ. М.С. БОКАРІУСА



MINISTRY OF JUSTICE OF UKRAINE  
HON. PROF. M.S. BOKARIUS KHARKIV  
RESEARCH INSTITUTE OF FORENSIC EXAMINATIONS



# CERTIFICATE

THIS CERTIFICATE APPROVES THE PARTICIPATION OF  
ЦЕЙ СЕРТИФІКАТ ПІДТВЕРДЖУЄ УЧАСТЬ

**ОЛЕКСІЙ КОМАНДИРОВ ОЛЕКСІЙ КОМАНДЮРОВ**

У МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-  
ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ  
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ  
І КРИМІНАЛІСТИКИ», ПРИСВЯЧЕНОЇ 150-РІЧЧЮ  
З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ  
ЗАСЛ. ПРОФ. М. С. БОКАРІУСА

IN THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
AND PRACTICAL CONFERENCE  
«TOPICAL ISSUES OF FORENSIC SCIENCES  
AND CRIMINALISTICS» DEDICATED TO THE 150TH  
ANNIVERSARY OF THE BIRTH  
OF HONORED PROFESSOR M. S. BOKARIUS

DIRECTOR OF THE INSTITUTE  
DOCTOR OF LAW, PROFESSOR,  
HONORED LAWYER OF UKRAINE



O. M. KLIUIEV

2019, ХАРКІВ, УКРАЇНА



МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ СУДОВИХ  
ЕКСПЕРТИЗ

MINISTRY OF JUSTICE OF UKRAINE  
ODESSA SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF FORENSIC  
EXPERTISE



# CERTIFICATE

THIS CERTIFICATE APPROVES PARTICIPATION OF  
ЦЕЙ СЕРТИФІКАТ ПІДТВЕРДЖУЄ УЧАСТЬ

## Олексій Командиров Oleksiy Komandyrov

У МІЖНАРОДНОМУ КРУГЛОМУ СТОЛІ  
«ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУДОВОЇ  
ЕКСПЕРТИЗИ», ПРИСВЯЧЕНОМУ 145-РІЧЧЮ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ  
ЗАСЛ. ПРОФ. М.П. МАКАРЕНКА

IN THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC ROUND TABLE  
«PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF FORENSIC  
EXPERTISE»,  
DEDICATED TO THE 145TH ANNIVERSARY OF BIRTH  
OF HONORED PROF. M.P. MAKARENKO



DIRECTOR OF THE INSTITUTE  
DOCTOR OF LAW

A. RYPENKO

June 12, 2019  
Odessa, Ukraine



# СЕРТИФІКАТ УЧАСНИКА

Засвідчує, що

## КОМАНДИРОВ ОЛЕКСІЙ

учасник

I-ї Міжнародної науково-практичної конференції  
**«Актуальні питання судової експертології,  
 криміналістики та кримінального процесу»**

Директор  
 Київського науково-дослідного  
 інституту судових експертиз  
 Міністерства юстиції України



*Олександр Рувін*

05 листопада 2019  
 місто Київ