

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**



**КОМАНДИРОВ Олександр Вікторович**

**УДК 004.894:624.07**

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

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
**Теренчук Світлана Анатоліївна**, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури МОН України, м. Київ.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор,  
**Бідюк Петро Іванович**, професор, кафедри математичних методів системного аналізу ННК «ІПСА» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», МОН України, м. Київ.

кандидат технічних наук,  
**Саченко Ілля Анатолійович**, начальник відділу замовника ТОВ «Альтіс-Констракшн».

Захист відбудеться «30» квітня 2021 року о 9<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.01 у Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 366.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розіслано «31» березня 2021 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор



М.І. Цюцюра

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*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, спричинити осідання основ будівель і споруд.

Загальнонаціональний вектор розвитку наземного рейкового транспорту в Україні передбачає розвиток сполучення електричною та швидкісним трамваем 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 та ін.

На вирішення питань автоматизації процесів проектування, 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 технологій, що ґрунтуються на знаннях присвячено роботи 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. Терентьєва, С.Д. Штовби. Проте, не зважаючи на таку кількість досліджень, 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 проектування 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 урахувати вібродинамічні навантаження.

6. *Сформуувати* 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:

- спостереження та аналіз процесу виконання будівельно-технічних експертиз;

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

- абстракції моделювання та 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 ураховувати 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 та практичні результати роботи були оприлюднені та одержали схвалення на міжнародних наукових конференціях, міжвідомчих науково-практичних семінарах і 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) та 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, 19 таблиці та 4 додатки. Загальний обсяг дисертації становить 163 сторінки, у тому числі: обсяг основного тексту – 129; анотації та додатки займають 34 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** надано загальну характеристику дисертаційної дослідження; обґрунтовано вибір теми дослідження; визначено об'єкт і предмет дослідження; сформульовано мету роботи та завдання, що потребують вирішення для успішного досягнення мети; показано актуальність теми та зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; сформульовано наукову новизну отриманих результатів; розглянуто практичне значення отриманих в роботі результатів; представлено апробацію матеріалів дисертації і можливість вдосконалення процесу підтримки будівельно-технічних експертиз у галузі будівництва, проектування, реконструювання будівель та відповідності будівельним нормам, правилам і явищам; наведено дані про публікації та особистий внесок здобувача в праці, що опубліковані в співавторстві.

**У першому розділі** «Аналіз процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва» проведено аналіз: нормативно-правового забезпечення процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва; сучасних засобів виявлення локальних дефектів і пошкоджень будівельних конструкцій; методів і засобів моніторингу різних параметрів технічного стану будівель і споруд та проблем автоматизації процесу проведення будівельно-технічних експертиз будівель і споруд, що мають накопичений фізичний знос і експлуатуються в нечітких умовах накладання різних навантажень і впливів (рис. 1).

Згідно з Інструкцією про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень будівельно-технічна експертиза та експертиза з питань безпеки життєдіяльності передбачає оцінку міри впливу різних факторів середовища на технічний стан будівель і споруд.



Схему процесу експертної оцінки технічного стану об'єктів будівництва з експлуатаційними дефектами і пошкодженнями показано на рис. 2.



Рис. 1. Навантаження і впливи, що діють на будівлі і споруди великих міст

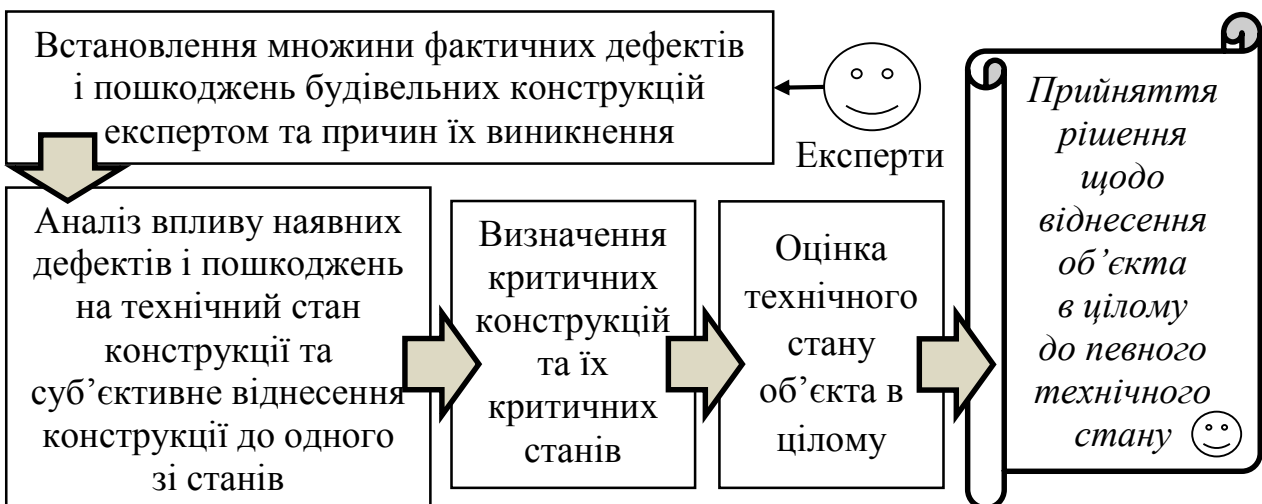


Рис.2. Схема процесу проведення будівельно-технічної експертизи

На основі проведеного в розділі аналізу діючої методики оцінки технічного стану будівельних об'єктів показано, що і оцінка технічного стану конструкцій з накопиченим фізичним зносом і оцінка технічного стану об'єкта в цілому супроводжується ризиками прийняття неадекватних рішень, які можуть бути спричинені:

- суб'єктивним неврахуванням критичного дефекту;
- суб'єктивним урахуванням несуттєвого дефекту;

- похибкою віднесення до певного стану конструкції на межі характеристичних показників наявних дефектів;
- помилкове віднесення до певної категорії конструкції з дефектами;
- неврахування *нелінійного впливу* некритичних дефектів як причини переходу об'єкта в *аварійний стан*.

Автоматизація процесу проведення будівельно-технічних експертиз потребує розробки і впровадження в процес оцінки технічного стану будівель і споруд спеціалізованих інтелектуальних інформаційних систем підтримки рішень, які здатні до розв'язання задачі нечіткої класифікації об'єктів, що експлуатуються в умовах накладання вібродинамічних навантажень і впливів від різних джерел (рис.1, 3).

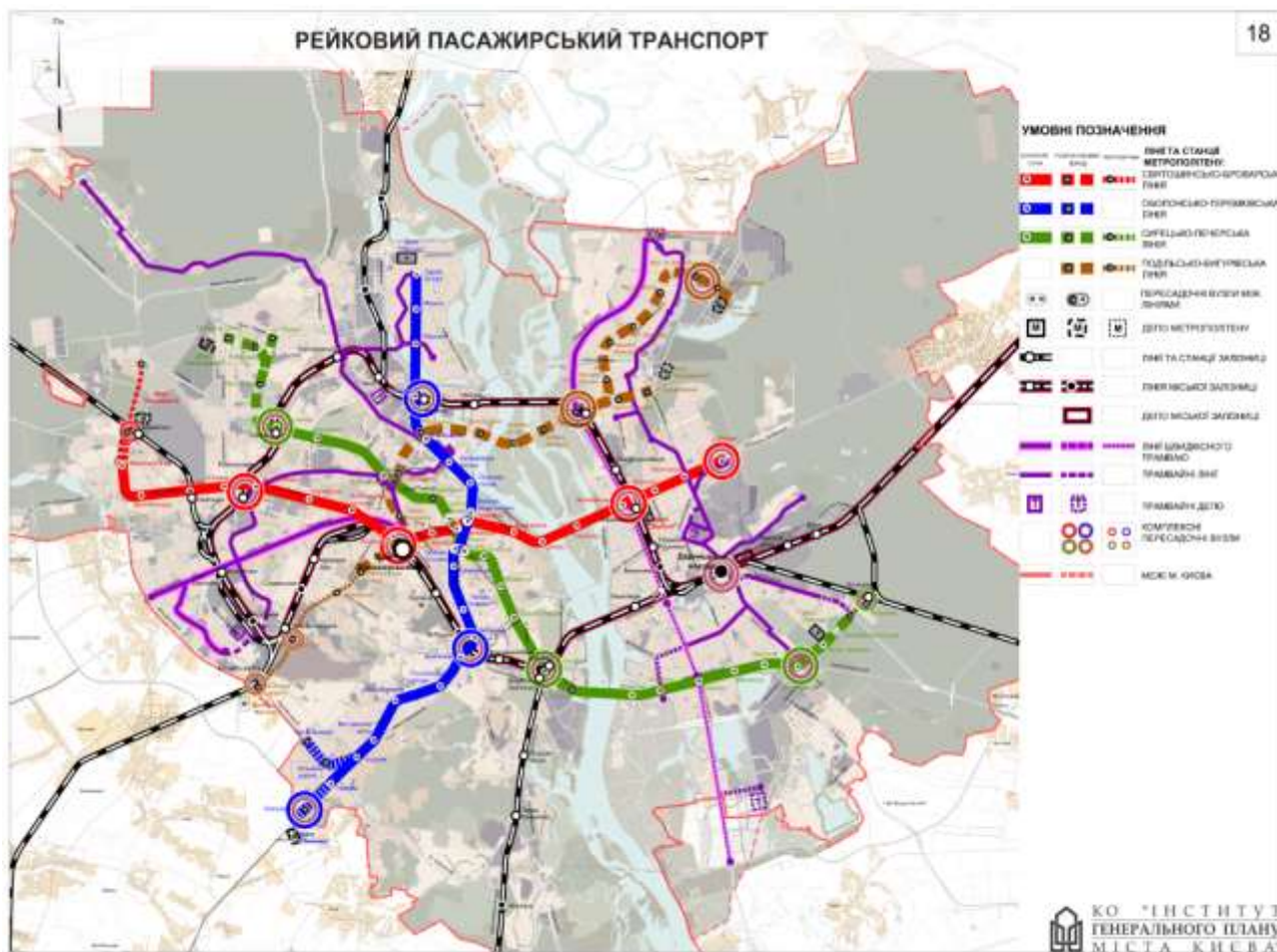


Рис.3. Схема розвитку рейкового пасажирського транспорту Проекту Генерального плану міста Києва до 2025 року

Розробка програмних засобів, які здатні до врахування нелінійного впливу некритичних дефектів як причини переходу об'єкта в аварійний стан передбачає вирішення питань автоматизації процесів:

- класифікації конструкцій, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від зовнішнього впливу перемінних вібродинамічних навантажень;
- класифікації дефектів і пошкоджень різних типів конструкцій;
- оцінки міри впливу різних дефектів і пошкоджень на несучу здатність і довговічність різних типів конструкцій;
- оцінки технічного стану конструкцій;
- оцінки технічного стану об'єкта в цілому.

Саме тому розділ присвячено дослідженню інформаційних систем підтримки експертних рішень, які здатні вирішувати задачу нечіткої класифікації об'єктів будівництва, що опинились чи можуть опинитись в зоні накладання вібродинамічних навантажень різних джерел. При цьому основна увага приділяється аналізу моделей і методів, які можуть бути адаптовані до вирішення питань автоматизації процесів моніторингу та діагностики будівель і споруд, які опинились чи можуть опинитись в зоні впливу вібродинамічних навантажень від рейкового транспорту.

*У другому розділі «Методи та засоби моделювання поведінки будівельних конструкцій в умовах вібродинамічних навантажень»* досліджено існуючі математичні моделі та методи розрахунку динамічних відгуків будівельних конструкцій на вібродинамічні транспортні навантаження, на базі яких розробляються інформаційні моделі будівель і проводяться чисельні експерименти; обґрунтовано доцільність застосування нечітких моделей і методів до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єктів будівництва в цілому при формуванні бази знань системи нечіткого виведенні інтелектуальної системи, що розробляється.

Розрахунки динамічних відгуків конструкцій на вібродинамічні транспортні навантаження та впливи в таких системах ґрунтуються на розв'язках диференціального рівняння руху конструкції (1):

$$[K]\{U\} + [C]\{\dot{U}\} + [M]\{\ddot{U}\} = \{P(t)\}, \quad (1)$$

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:

$$P(t) = P_{i,t} \cos \theta t + P_{i,t} \sin \theta t, \quad (2)$$

де  $P_{i,t}$  – функція, що залежить від типу навантаження;  $t$  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. Таким чином, сумарні по всім формам складові інерційних сил ( $S_i(t)$ ) залежать від співвідношення частот власних коливань конструкції та вібрацій зовнішнього навантаження.

Співвідношення частот вібрацій зовнішнього навантаження ( $\theta$ ) та власних частот коливань конструкції ( $\omega_i$ ) визначається за формулою (3):

$$\alpha_i = \frac{\theta}{\omega_i}. \quad (3)$$

При динамічному розрахунку будівельних конструкцій частоти власних коливань конструкцій об'єктів оточуючої забудови визначаються з системи рівнянь (4):

$$[K]\{\varphi\} - \lambda[M]\{\varphi\} = 0, \quad (4)$$

де  $\lambda$ ,  $\varphi$  – власні числа та власні вектори характеристичного рівняння (4).

Для розв'язання рівняння (2) існує метод ітерації підпросторів:

$$\{U\} = \sum_{i=0}^N y_i(t)\varphi_i, \quad (5)$$

де  $y$  – координати вузла моделі.

При умові ортогональності функції  $\varphi_i$  система (1) еквівалентна системі незалежних рівнянь руху вузлів моделі (6):

$$\frac{d^2}{dt^2} y_i(t) + 2\xi_i\omega_i \frac{d}{dt} y_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = P_i(t), \quad y_i^0 = y_i(0), \dot{y}_i^0 = \dot{y}_i(0), \quad (6)$$

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

Розв'язок рівняння (6) має вигляд:

$$y_i = e^{-\xi_i\omega_i t} \left( \frac{\dot{y}_i^0 + y_i^0 \xi_i \omega_i}{\omega_i} \sin \bar{\omega}_i t + y_i^0 \cos \bar{\omega}_i t \right) + \frac{1}{\bar{\omega}_i} \int_0^t P_i(\tau) e^{-\xi_i\omega_i(t-\tau)} \sin \bar{\omega}_i(t-\tau) d\tau, \quad (7)$$

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

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

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

$$S_i(t) = \omega_i^2 y_i(t) M \varphi_i. \quad (8)$$

В загальному випадку амплітуда інерційних сил знаходиться за (8):

$$S_{i,0} = \max(|\omega_i^2 y_i(t)|). \quad (9)$$

В табл. 1 надано приклади математичних моделей для розрахунку амплітуди інерційних сил різних видів навантаження.

Таблиця 1

Розрахункові моделі амплітуд інерційних сил

Вид навантаження	Математична 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.

До обмежень методу розкладання за ортогональними формами, слід віднести 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. Це означає, що імпульсне та ударне навантаження від будівельної діяльності поблизу магістралей рейкового транспорту може спричинити розвиток негативних процесів, оцінка міри впливу яких на технічний стан 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».

Заміна натурних спостережень чисельним експериментом з моделлю об'єкта дозволяє фахівцям багато разів і в широкому діапазоні змінювати вхідні параметри та умови функціонування складної системи «наземна частина будівлі–основа–грунт–плеті з рухомим поїздом», замінюючи, таким чином, експериментальні дослідження чисельними експериментами з інформаційними моделями.

Методика чисельного моделювання динамічних навантажень на рейку метрополітену у програмному комплексі ЛІРА-САПР передбачає призначення характеристик впливів у вигляді акселерограм віброприскорень (рис.4).

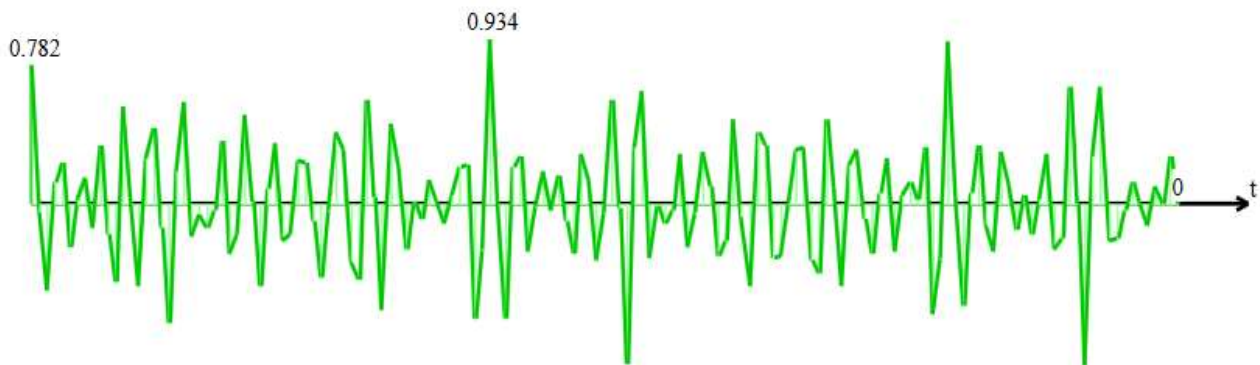


Рис.4. Вібродинамічне навантаження від метрополітену в модулі «Динаміка в часі» у програмному комплексі ЛІРА САПР

При цьому застосування методу прямого інтегрування руху до моделювання вібродинамічних впливів метрополітену здійснюються шляхом переоцінки інтегральних характеристик жорсткості скінченних елементів моделі будівлі на кожному кроці прикладання навантаження. Суттєвою перевагою методу прямого інтегрування руху є можливість урахування характеру руху та зміни напружено-деформованого стану 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.5).

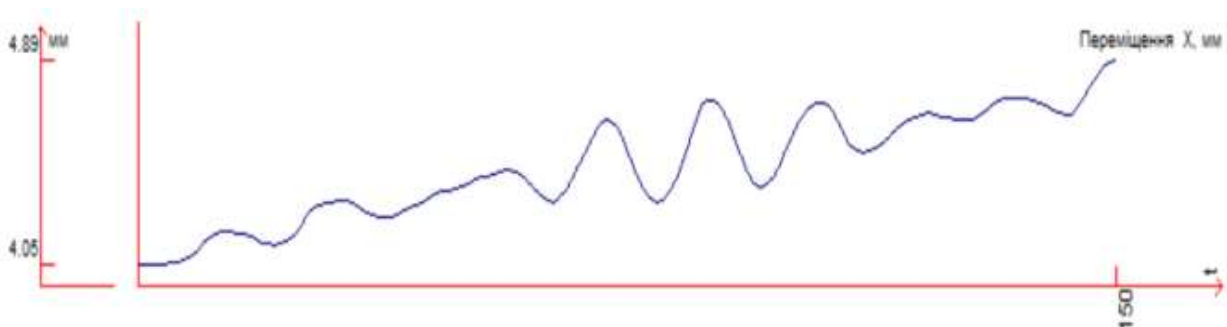


Рис.5. Графік результатів розрахунку переміщення вздовж осі X в контрольній точці конструкції

Експертна оцінка, незважаючи на більш емпіричний характер суджень, дозволяє формувати систему нечітких правил, які відображають причинно-наслідковий зв'язок між негативними змінами технічного стану будівельних конструкцій і подіями, що могли призвести до цих змін. Саме тому, в розділі при формуванні моделі об'єкта будівельно-технічної експертизи, значна увага приділяється дослідженню та систематизації пошкоджень конструктивних елементів, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень, а також характеристик навантажень на основу будівель і споруд, що опинились в зоні впливу шляхів рейкового транспорту (рис.б).

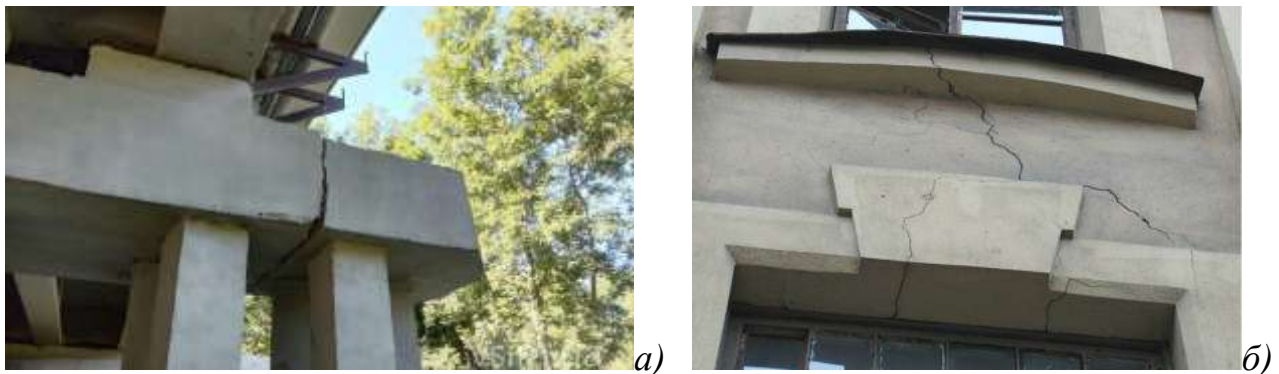


Рис. 6. Приклади характерних дефектів будівельних конструкцій, що найбільш вразливі до резонансу навантажень: а – розтріскування балочної конструкції споруди інженерно-транспортної інфраструктури; б – різнонаправлені тріщини простінку будівлі з тривалим строком експлуатації з виключенням жорсткісних зв'язків перекриття.

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

Технічний стан (фізичний знос) кожного конструктивного елемента визначається експертами на основі аналізу характерних пошкоджень згідно з:

$$y_j = \sum_{i=1}^N w_i x_i, \quad (10)$$

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 технічного стану (фізичного зносу) об'єкта в цілому ( $Z$ ) базується на узагальненні (10):

$$Z = \sum_{j=1}^{N=5} W_j y_j, \quad (11)$$

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 технічний стан об'єкта в цілому;  $y_j$  – величина фізичного зносу, а  $W_j$  – питома вага (відносна вартість)  $j$ -го конструктивного елемента.

Використання формул типу (10), (11) 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 використовується в інтелектуальних системах діагностики технічного стану об'єктів будівництва, до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єкта в цілому.

*У третьому розділі «Модельовання інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва» запропоновано концептуальну модель інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва, в основу роботи якої покладено штучну нечітку нейромережу Такаґи-Сугено-Канґа (TSK); обґрунтовано доцільність застосування цієї мережі в нейро-нечіткій системі виведення; обґрунтовно вибір і описано алгоритм навчання штучної нейромережі; здійснено адаптацію моделі до вирішення задачі оцінки технічного стану об'єкта в цілому.*

Концептуальну модель інтелектуальної системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва (ІСП ПОТС ОБ) показано на рис.7.

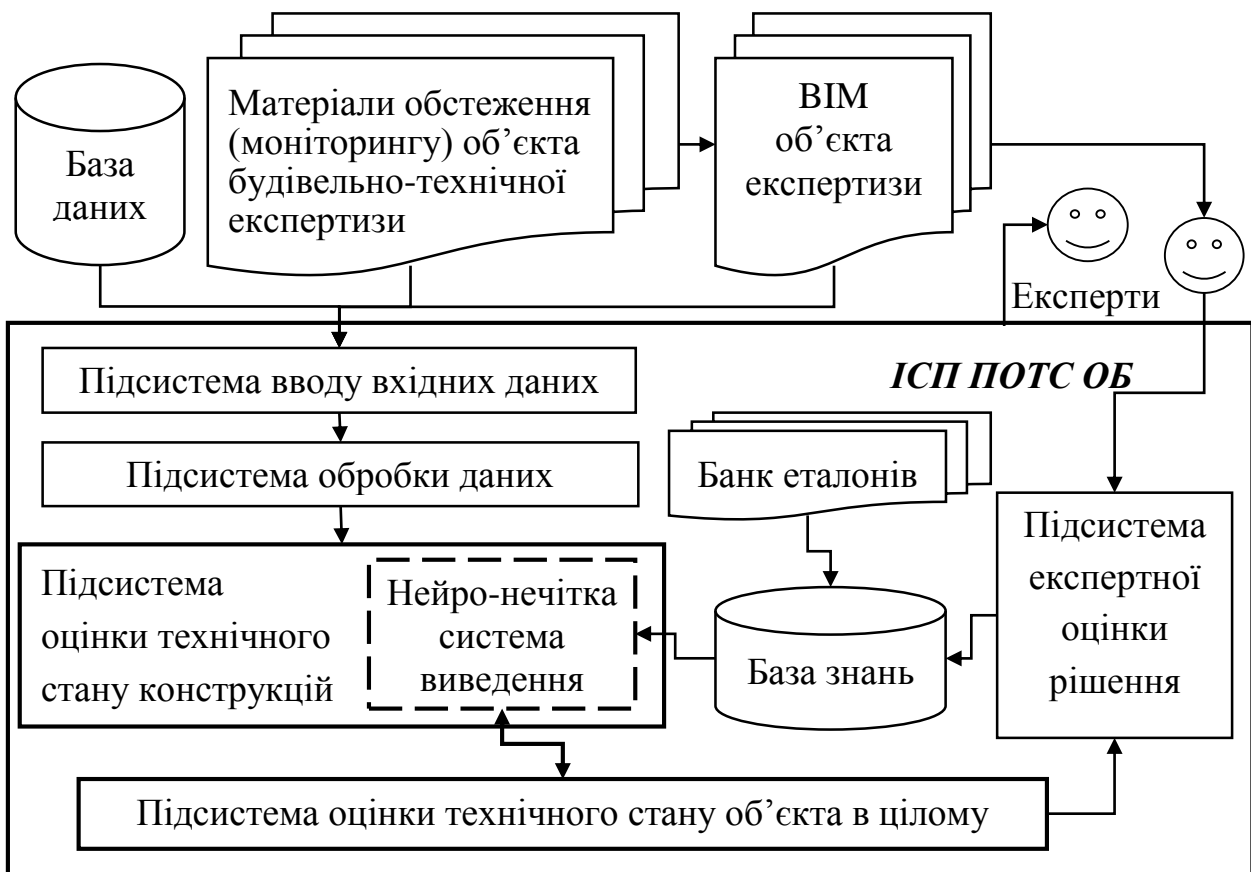


Рис.7. Схема процесу проведення будівельно-технічної експертизи з використанням ІСП ПОТС ОБ

При розробці ІСП ПОТС ОБ враховується перспектива впровадження в процес проведення будівельно-технічних експертиз методик дослідження будівельних об'єктів і відповідної проектної документації, що створені за ВІМ-технологією.

На рис.8 показано структуру нейро-нечіткої системи виведення, що містить в собі п'ять системам нечіткого виведення (СНВ), які інтегруються з

відповідними штучними нейронними мережами Такаґи-Сугено-Канґа. Отримані на виході кожної TSK значення  $y_j^*$  запропоновано подавати на вхід нечіткої системи виведення.

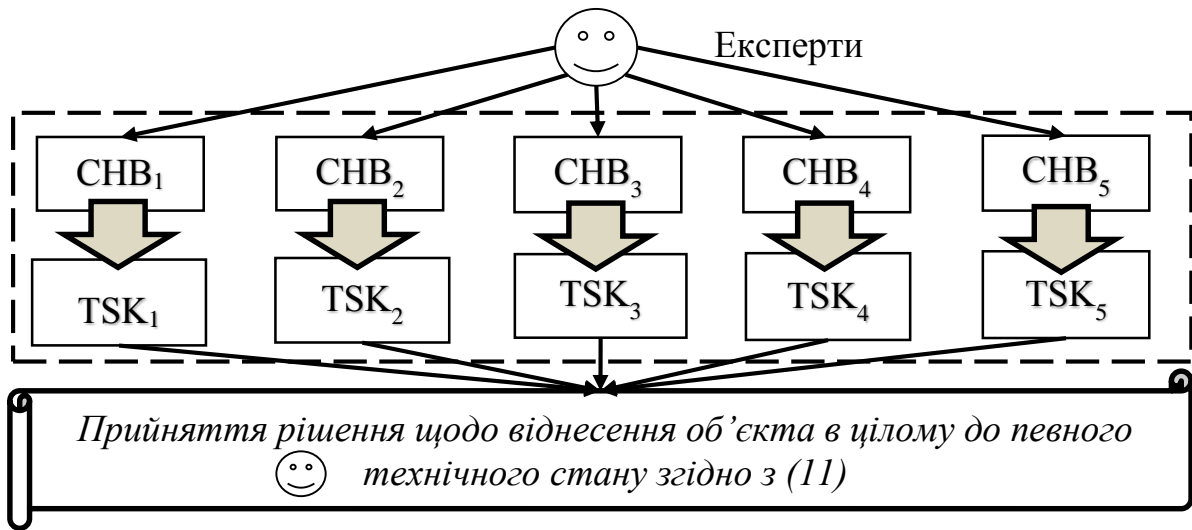


Рис.8. Структура нейро-нечіткої системи виведення ІСП ПОТС ОБ

При цьому розглядається можливість застосування Байєсівського логіко-ймовірнісного підходу до дефазифікації значення вихідної змінної  $z^*$ , що ґрунтується на обчисленні математичного сподівання. Це забезпечує системі перевагу, що полягає в меншій обчислювальній складності при використанні гаусівської функції приналежності термів.

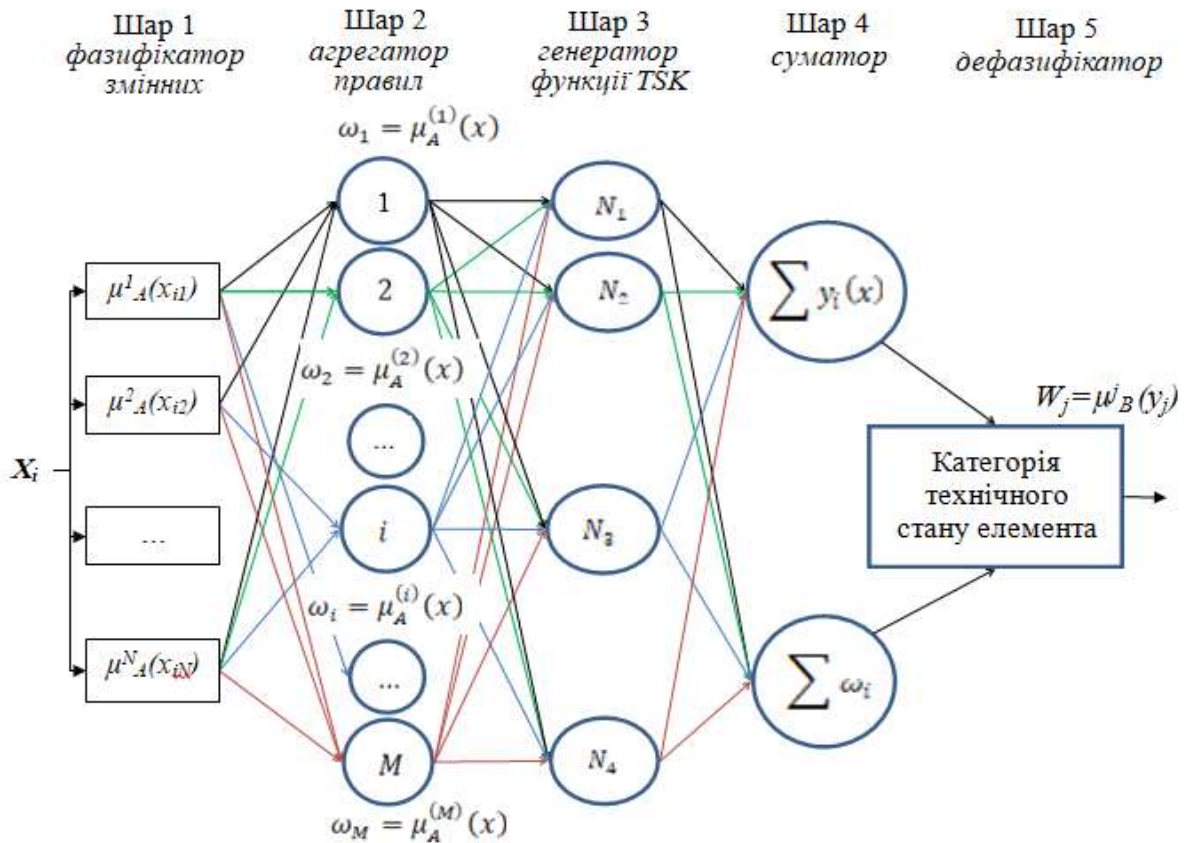


Рис.9. Узагальнена архітектура штучної нечіткої нейронної мережі TSK



В розділі також описано узагальнену архітектуру штучної нечіткої нейронної мережі Такаґи-Сугено-Канґа (рис.9) та здійснено адаптацію кожної TSK (рис.8) до вирішення задачі оцінки технічного стану конструктивних елементів, що найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень (табл.2).

Таблиця 2

Результати адаптації TSK<sub>i</sub> до вирішення задачі оцінки технічного стану конструктивних елементів

Вид елемента	Вектор вхідних даних	Кількість нейронів (N) шару 1	Кількість нейронів (M) шару 2
Фундамент (i=1)	$\vec{X}_1=(x_{11}; \dots; x_{1N})$ ,	N=5	M=5
Конструкції несучі (i=2)	$\vec{X}_2=(x_{21}; \dots; x_{2N})$ ,	N(Б)=5, N(М)=6, N(К)=5, N(Д)=5	M(Б)=6, M(М)=3, M(К)=3, M(Д)=3
Жорсткосна схема (i=3)	$\vec{X}_3=(x_{31}; \dots; x_{3N})$ ,	N(Б)=5, N(М)=6, N(К)=5, N(Д)=5	M(Б)=6, M(М)=3, M(К)=3, M(Д)=3
Конструкції огорожувальні (i=4)	$\vec{X}_4=(x_{41}; \dots; x_{4N})$ ,	N=4	M=2
Вузли (i=5)	$\vec{X}_5=(x_{51}; \dots; x_{5N})$ ,	N(Б)=5, N(М)=6, N(К)=5, N(Д)=5	M(Б)=6, M(М)=3, M(К)=3, M(Д)=3

На вхід штучної нейро-нечіткої мережі TSK (рис.9) подаються параметри характерних пошкоджень елементів, які найбільш вразливі до резонансу власних коливань від впливу зовнішніх вібродинамічних навантажень. Це забезпечує адекватність і працездатність запропонованих моделей та даних для їхнього навчання.

Множина вхідних даних, що характеризують технічний стан конструктивних елементів об'єкта будівництва (табл.2), задається у вигляді вектора  $\vec{X}_1 = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}\}$ , що формується на основі аналізу матеріалів будівельно-технічних експертиз і науково-технічних звітів щодо оцінок технічного стану об'єктів будівництва.

В табл.2 прийняті такі позначення матеріалу, з якого виготовлені конструктивні елементи будівлі: Б – бетон; М – метал; К – камінь; Д – дерево.

Рішення щодо віднесення об'єкта в цілому до певного технічного стану запропоновано формувати згідно з:

$$T(z) = \sum_{m=1}^4 \tilde{z}_m P(T_m), \quad (12)$$

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 значення  $T_m$ .

**У четвертому розділі** «Впровадження інтелектуальної системи оцінки технічного стану об'єктів будівництва в процес проведення будівельно-технічних експертиз» показано схему процесу підтримки рішень щодо оцінки технічного стану об'єктів будівництва в цілому (рис.10); запропоновано форму, яка заповнюється експертами за результатами проведених будівельно-технічних експертиз (табл.3) та методичні рекомендації щодо встановлення відповідності

об'єктів будівництва вимогам нормативно-правових актів з використанням інтелектуальної інформаційної системи, що розробляється.

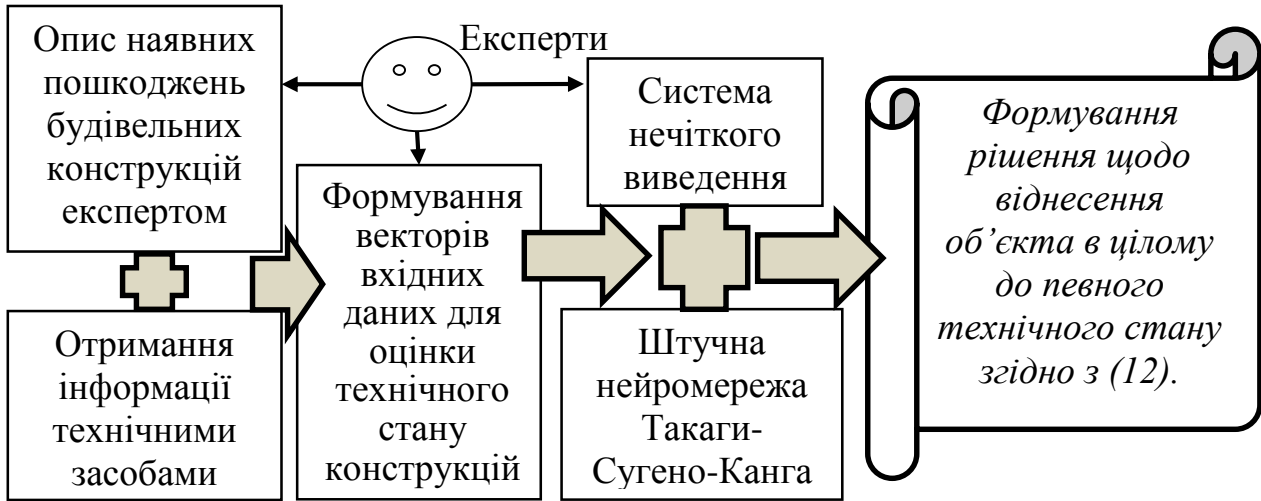


Рис.10. Схема процесу підтримки рішень щодо оцінки технічного стану об'єктів будівництва з використанням ІСП ПОТС ОБ

Таблиця 3

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

Конструктивний елемент – фундамент				
№	Вид дефекту (пошкодження)	Нечіткий опис та інтерпретація координат вектора вхідних даних	Міра впливу пошкодження на технічний стан елемента	Міра впливу пошкодження на технічний стан об'єкта в цілому
1	Тріщини цоколя	відсутні ( $x_{11}=0$ )	$\mu_A^1(x_{11}) \in [0,1]$	$W_i = \mu_V^i(y_i) \in [0,1]$ призначається експертами для кожного об'єкта будівельно-технічної експертизи згідно таблиць збірника «Сборник укрупненних показателей восстановительной стоимости» щодо питомої ваги відповідного елемента у кожній будівлі
		дрібні ( $x_{11}=1$ )		
		глибокі ( $x_{11}=2$ )		
		наскрізні ( $x_{11}=3$ )		
		наскрізні прогресуючі ( $x_{11}=4$ )		
2	Викривлення геометрії	відсутнє ( $x_{12}=0$ )	$\mu_A^2(x_{12}) \in [0,1]$	
		наявне ( $x_{12}=1$ )		
3	Просідання ґрунту та/або основи	місцеві ( $x_{13}=1$ )	$\mu_A^3(x_{13}) \in [0,1]$	
		загальні незначні ( $x_{13}=2$ )		
		значні ( $x_{13}=3$ )		
4	Порушення штукатурного шару цоколя	відсутнє ( $x_{12}=0$ )	$\mu_A(x) \in [0,1]$	
		наявне ( $x_{12}=1$ )		
5	Зсув конструкцій, що розташовані вище	відсутнє ( $x_{12}=0$ )	$\mu_A(x) \in [0,1]$	
		наявне ( $x_{12}=1$ )		

На основі аналізу зібраної інформації будуються вибірки для навчання нейро-нечіткої системи виведення та статистичні вибірки для формування закону розподілу ймовірностей, на основі яких здійснюється дефазифікація висновку про технічний стан об'єкта в цілому. При формуванні моделі об'єкта будівельно-технічної експертизи, основна увага приділялась:

- 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.

**У висновках** сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

**В додатках** надано схему розвитку рейкового пасажирського транспорту Проекту Генерального плану міста Києва до 2025 року, фрагменти будівельно-технічної експертизи і підтвердження апробації та впровадження результатів дисертаційного дослідження.

## 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. *Дослідження* 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 технічного стану об'єктів будівництва, що мають дефекти та пошкодження різного характеру і експлуатуються в складних умовах ущільненої 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'єкта, та основні фактори впливу середовища на технічний стан будівель і споруд, які спричинені вібродинамічними навантаженнями і впливами різного походження.

5. *Запропонована* спеціалізована інтелектуальна системи підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва для вирішення задачі оцінки категорії технічного стану об'єкта в цілому при відповідному

налаштуванні параметрів 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 технічний стан 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 зовнішнього середовища.

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

## 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 налізу та узагальнення факторів недотримання вимог містобудівної документації на місцевому рівні.*

4. 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

*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., Ященко 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.

## **АНОТАЦІЯ**

**Командиров О.В. Інтелектуальні засоби підтримки процесу оцінки технічного стану об'єктів будівництва.** – Рукопис.

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:** база знань, вібродинамічне навантаження, накопичений фізичний знос, нейро-нечітка система виведення, 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 describe. 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.

Підписано до друку 30.03.2021  
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.  
Наклад 100 прим. Ум. друк. арк. 0,9  
Друк ЦП «КОМПРИНТ». Свідоцтво ДК №4131 від 04.08.2011 р.  
м.Київ, вул. Предславинська, 28  
095-941-84-99, 067-209-54-30  
email: komprint@ukr.net