

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра управління проектами

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему: «Розробка проекту системи діагностики технічного стану будівель
засобами штучного інтелекту»

КОНДРАТЮК СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ
(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2025 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Автоматизації і інформаційних технологій
Випускова кафедра: Управління проектами
Освітній рівень: Магістр за освітньо-професійною програмою
Галузь знань: 12 Інформаційні технології
Спеціальність: 126 Інформаційні системи та технології
Освітня програма: Штучний інтелект. Когнітивні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри УП
д.т.н., професор Веренич О.В.

„___” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Кондратюк Сергій Володимирович



Тема роботи: Розробка проекту системи діагностики технічного стану будівель засобами штучного інтелекту

затверджена наказом ректора КНУБА № 181/23.5/25 від «25» 09 2025 р.

2. Керівник роботи: Терентьєв Олександр Олександрович, д.т.н, професор кафедри інформаційних технологій проектування і прикладної математики

3. Строк подання студентом роботи до захисту: грудень 2025 рік

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

P.1. Аналіз інформаційних технологій діагностики технічного стану будівель

P.2. Моделювання інформаційної системи ДТС будівель

P.3. Моделі бази знань і методи інформаційної системи ДТС будівель

P.4. Діагностика технічного стану будівель засобами штучних нейронних мереж.

P.5. Експериментальні дослідження ІС нейронної мережі ДТС будівель

5. Інформаційні слайди:

C.1. Структурна схема ДТС будівель

C.2. Моделі БД та БЗ інформаційної системи ДТС будівель

C.3. Математичне забезпечення системи

C.4. Інформаційне забезпечення системи

C.5. Програмне забезпечення системи. Тестовий приклад програми

6. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Р. 1. Аналіз інформаційних технологій діагностики технічного стану будівель_____	Вересень 2025 р.
Р. 2. Моделювання системи ДТС будівель	Жовтень 2025 р.
Р. 3. Моделі бази знань і методи інформаційної системи ДТС будівель_____	Листопад 2025 р.
Р. 4. Діагностика технічного стану будівель засобами штучних нейронних мереж	Грудень 2025 р.
Р.5. Експериментальні дослідження та реалізація інформаційної системи нейронної мережі ДТС будівель	Грудень 2025 р.
Остаточне оформлення роботи	Грудень 2025 р.
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	Грудень 2025 р.
Попередній захист роботи на кафедрі	Грудень 2025 р.

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Прийом програмного продукту	к.т.н., доц. Шабала Є.Є.		

8. Дата видачі завдання: 22 вересня 2025 року

Керівник

_____ (підпис)

Терентьев О.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Здобувач

_____ (підпис)

Кондратюк С.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ (summary)

Кондратюк Сергій

до кваліфікаційної роботи магістра здобувача:		Володимирович	
ЗВО	Київський національний університет будівництва і архітектури		
Тема	Розробка проекту системи діагностики технічного стану будівель засобами штучного інтелекту		
Освітній ступінь	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
Факультет	Автоматизації і інформаційних технологій		
Кафедра	Управління проектами		
Спеціальність	126 “Інформаційні системи та технології”		
Освітня програма	Штучний інтелект. Когнітивні технології		
Керівник	Терентьев Олександр Олександрович, д.т.н, професор кафедри інформаційних технологій проектування і прикладної математики		
Обсяг роботи:	пояснювальна записка, стор.	розділів	слайдів презентації
	121	5	
Актуальність теми	Для забезпечення безпечних умов експлуатації споруд першорядне значення набуває підтримання на належному рівні технічного стану споруд, у тому числі за рахунок продовження нормативних термінів експлуатації, відновлення та реконструкції. Загальною метою обстежень технічного стану будівельних конструкцій і споруд є виявлення ступеня фізичного зносу, причин, які обумовлюють їх стан, фактичної працездатності конструкцій і розробка заходів щодо забезпечення їх експлуатаційних якостей. В зв'язку з цим актуальним є побудова моделей, методів та інформаційної технології діагностики технічного стану будівельних конструкцій і споруд.		
Вступ	Визначені основні напрямки дослідження, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання системи, показано зв'язок із програмами, планами, темами.		
Розділ 1.	CALS – технології діагностики технічного стану будівель, передумови створення інформаційної технології управління життєвим циклом діагностики технічного стану будівель, методи обстеження та аналіз причин пошкодження будівель.		
Розділ 2.	Загальний підхід до моделювання процесів спостереження та діагностики технічного стану будівель, теоретико – множинна модель будівельних конструкцій на рівні		

	деталізації їх технічних характеристик.
Розділ 3.	Оцінка недосконалостей будівельних конструкцій на основі нечітких множин, побудова системи нечіткого виведення діагностики технічного стану будівель, оцінка ризиків несвоєчасного виявлення пошкоджень діагностики технічного стану будівель.
Розділ 4	Теоретичне обґрунтування вирішення задачі прогнозування пошкоджень дефектів будівель на основі апарату штучних нейронних мереж, методи і алгоритми навчання нейронних мереж системи діагностики технічного стану будівель, побудова алгоритму вирішення задачі прогнозування пошкоджень дефектів будівель на основі нейромережевого апарату.
Розділ 5	Архітектура інформаційної системи тестування нейронної мережі, підсистема підготовки інформації тестування нейронної мережі, модель тестування нейронної мережі, модулі програмного забезпечення тестування нейронної мережі, план проведення експериментального дослідження тестування нейронної мережі, реалізація програмного продукту інформаційної системи діагностики технічного стану будівель в сучасних умовах.
<p>Ключові слова: система діагностики технічного стану, інформаційна технологія методи, моделі, база даних, будівлі, штучний інтелект.</p> <p>Keywords: technical condition diagnosis system, information technology, methods, models, database, buildings, artificial intelligence.</p>	

Студент:

Сергій КОНДРАТЮК

Керівник:

Олександр ТЕРЕНТЬЄВ

« ___ » _____ 20__ р

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
Кафедра Управління проектами

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри УП

д.т.н., професор Веренич О.В.

„___” _____ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему: "Розробка проекту системи діагностики технічного стану будівель
засобами штучного інтелекту"

Виконав: студент 2-го курсу, групи ШІКТ-24

Кондратюк С.В.
(прізвище та ініціали)

Спеціальність: 126 Інформаційні системи та техно-
логії

Освітня програма: Штучний інтелект. Когнітивні
технології.

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Керівник д.т.н., проф. Терентьєв О.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Баліна О.І.
(прізвище та ініціали)

Київ 2025

АНОТАЦІЯ

«Розробка проєкту системи діагностики технічного стану будівель засобами штучного інтелекту».

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю: 126. «Інформаційні системи та технології» – Київський національний університет будівництва та архітектури. – Київ, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена виявленню ступеня фізичного зносу, причин, які обумовлюють їх стан, фактичної працездатності конструкцій і розробка заходів щодо забезпечення їх експлуатаційних якостей. В зв'язку з цим актуальним є побудова моделей, методів та інформаційної технології діагностики технічного стану будівель засобами штучного інтелекту.

Ключові слова: система діагностики технічного стану, інформаційна технологія методи, моделі, база даних, будівлі, штучний інтелект.

SUMMARY

"Development of an information system for diagnosing the technical condition of buildings using artificial intelligence."

Master's attestation master's degree in specialty: 126. "Information systems and technologies". - Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture - Kiev, 2025.

The qualification work is dedicated to identifying the degree of physical wear and tear, the reasons that determine their condition, the actual performance of structures and the development of measures to ensure their operational qualities. In this regard, the construction of models, methods and information technology for diagnosing the technical condition of buildings by means of artificial intelligence is relevant.

Keywords: technical condition diagnosis system, information technology, methods, models, database, buildings, artificial intelligence.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА
АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ ЇХ ПІДТРИМКИ

1.1 CALS – технології діагностики технічного стану будівель

1.2 Передумови створення інформаційної технології управління
життєвим циклом діагностики технічного стану будівель

1.3 Методи обстеження та аналіз причин пошкодження будівель

РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ
ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

2.1 Загальний підхід до моделювання процесів спостереження та
діагностики технічного стану будівель

2.2 Теоретико – множинна модель будівельних конструкцій на рівні
деталізації їх технічних характеристик

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛІ БАЗИ ЗНАТЬ І МЕТОДИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ
СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ НА
ОСНОВІ ЗАСОБІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

3.1 Оцінка недосконалостей будівельних конструкцій на основі
нечітких множин

3.2 Побудова системи нечіткого виведення діагностики технічного
стану будівель

3.3 Оцінка ризиків несвоєчасного виявлення пошкоджень діагностики
технічного стану будівель

РОЗДІЛ 4 ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ
ЗАСОБАМИ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

4.1 Теоретичне обґрунтування вирішення задачі прогнозування
пошкоджень дефектів будівель на основі апарату штучних нейронних
мереж

4.2 Методи і алгоритми навчання нейронних мереж системи
діагностики технічного стану будівель

4.3 Побудова алгоритму вирішення задачі прогнозування пошкоджень
дефектів будівель на основі нейромережевого апарату

РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ

ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

- 5.1 Архітектура інформаційної системи тестування нейронної мережі
- 5.2 Підсистема підготовки інформації тестування нейронної мережі
- 5.3 Модель тестування нейронної мережі
- 5.4 Модулі програмного забезпечення тестування нейронної мережі
- 5.5 План проведення експериментального дослідження тестування нейронної мережі
- 5.6 Реалізація програмного продукту інформаційної системи

діагностики технічного стану будівель в сучасних умовах

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Актуальність теми. Для забезпечення безпечних умов експлуатації споруд першорядне значення набуває підтримання на належному рівні технічного стану споруд, у тому числі за рахунок продовження нормативних термінів експлуатації, відновлення та реконструкції. Загальною метою обстежень технічного стану будівельних конструкцій і споруд є виявлення ступеня фізичного зносу, причин, які обумовлюють їх стан, фактичної працездатності конструкцій і розробка заходів щодо забезпечення їх експлуатаційних якостей. В зв'язку з цим *актуальним* є побудова моделей,

методів та інформаційної технології діагностики технічного стану будівельних конструкцій і споруд.

За результатами вивчення наукових джерел за проблематикою дослідження теоретичних засад щодо побудови інформаційних технологій діагностики складних технічних систем, зокрема будівельних споруд, та аналітичного забезпечення їх функціонування, отриманих відомими вітчизняними та закордонними науковцями, серед яких: Hoch E., Chanas S., Perelmuter A., Rotshteim A., Бідюк П.І., Барабаш М.С., Гайна Г.А., Городецький О.С., Григоровський П.Є., Лантух-Лященко А.І., Ляшенко А.А., Михайленко Слободян Я.О., Терентьев О.О. визначено: відсутність системостворюючого формалізованого опису будівельних конструкцій на рівні деталізації їх фізичних, технологічних та конструктивних чинників і параметрів, що забезпечують їх функціонування та, які дають можливість створення потужної інформаційної бази для розв'язання задач діагностики технічного стану; не розв'язана задача інформаційного та операційного поєднання моделей діагностики технічного стану і моделей проектування будівельних конструкцій. А тому, розв'язання вище зазначених задач є актуальним і дає можливість створення надійної і ефективної системи автоматизованої діагностики технічного стану будівельних конструкцій із можливістю корегування фізичних, технологічних та конструктивних параметрів на етапі їх проектування.

В процесі експлуатації під впливом агресивних факторів зовнішнього середовища, особливостей технологічних процесів відбувається зміна властивостей матеріалів і конструкцій, збільшується ризик порушення їх якості та нанесення шкоди навколишньому середовищу. Несвоєчасно виявлені і усунені дефекти елементів споруд нерідко переростають у серйозні порушення. Їх наслідки крім соціального й екологічного збитку можуть призвести до значних матеріальних витрат, пов'язаних з відновленням експлуатаційних властивостей конструкцій. Тому важливо правильно і своєчасно оцінити стан конструкцій та обладнання споруд, виконати прогноз

про можливості розвитку дефектів і розробити заходи щодо їх стабілізації або усунення.

1 АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА АНАЛІТИЧНИХ ЗАСОБІВ ЇХ ПІДТРИМКИ

1.1 CALS – технології діагностики технічного стану будівель

Концепція управління життєвого циклу базується на уявленні про об'єкт будівництва (будівельні конструкції) як єдиному інформаційному об'єкті, навкруги якого відбуваються різні процеси, кожний з яких використовує і додає ту або іншу інформацію про об'єкт.

Життєвий цикл будівельних конструкцій - перелік етапів, через які проходить об'єкт будівництва за весь період свого існування. Включає етапи: проектування, будівництва, експлуатацію, реконструкцію, ремонт та діагностика технічного стану.

Одним із підходів управління життєвим циклом з використанням сучасних інформаційних технологій є CALS –технології системи діагностики технічного стану будівельних конструкцій.

«CALS технології» - це концепція, яка об'єднує принципи та технології інформаційної підтримки життєвого циклу продукції на всіх його стадіях, заснована на використанні інтегрованого інформаційного середовища (єдиного інформаційного простору), що забезпечує однакові способи управління процесами і взаємодії всіх учасників цього циклу: замовників продукції (включаючи державні установи і відомства), постачальників (виробників) продукції, експлуатаційного і ремонтного персоналу, реалізована у відповідності з вимогами системи міжнародних стандартів, що регламентують правила зазначеного взаємодії переважно за допомогою електронного обміну даними".

В широкому значенні CALS – це методологія створення єдиного інформаційного простору, що забезпечує взаємодію всіх автоматизованих систем. В цьому значенні предметом CALS є методи і засоби як взаємодії різних систем і їх підсистем, так і самих автоматизованих систем з урахуванням всіх видів їх забезпечення. Практично синонімом CALS в цьому значенні стає термін PLM (Product Lifecycle Management), що широко використовується останнім часом провідними виробниками автоматизованих систем.

При реалізації мети і задач CALS необхідно дотримуватися наступними основними принципами:

- інформаційна підтримка всіх етапів життєвого циклу будівельних конструкцій;

- єдність уявлення і інтерпретації даних в процесах інформаційного обміну між системами і їх підсистемами, що обумовлює розробку онтологій додатків і відповідних мов представлення даних;
- доступність інформації для всіх учасників життєвого циклу будівельних конструкцій у будь-який час і в будь-якому місці, що обумовлює застосування сучасних телекомунікаційних технологій;
- уніфікація і стандартизація засобів взаємодії систем і їх підсистем;
- підтримка процедур суміщеного (паралельного) проектування об'єктів (будівельних конструкцій споруд).

Інтегроване інформаційне середовище є сукупністю розподілених баз даних, в якій діють єдині, стандартні правила зберігання, оновлення, пошуку і передачі інформації, через яку здійснюється безпаперова інформаційна взаємодія між всіма учасниками життєвого циклу. При цьому створена інформація зберігається в інтегрованому інформаційному середовищі, не дублюється, не потребує перекодування в процесі обміну, зберігає актуальність і цілісність.

Управління даними в єдиному інформаційному просторі протягом всіх етапів життєвого циклу покладається на систему PLM (Product Lifecycle Management). Під PLM розуміють процес управління інформацією про об'єкт протягом всього його життєвого циклу. Система PLM трактується дwoяко: або як інтегрована сукупність автоматизованих систем CAE/CAD/CAM/PDM та ERP/CRM або як сукупність тільки засобів інформаційної підтримки об'єкту і інтеграції автоматизованих систем, що практично співпадає з визначенням поняття CALS.

Характерна особливість PLM – можливість підтримки взаємодії різних автоматизованих систем, тобто технології PLM є основою, інтегруючою інформаційний простір, в якому функціонують САПР, ERP, PDM CRM та інші автоматизовані системи.

1.2 Передумови створення інформаційної технології управління життєвим циклом діагностики технічного стану будівель

Життєвий цикл будівельних конструкцій – це час від моменту обґрунтування необхідності її зведення до настання економічної недоцільності її подальшої експлуатації. Він поділяється на наступні етапи: підготовчий період, нульовий цикл, зведення наземної частини, експлуатація, період її фізичного і морального зносу. Останній етап може бути закінченням життєвого циклу або початком нового, за умови реконструкції, капітального ремонту або технічного переоснащення, тобто відновлення експлуатаційних властивостей будівельних конструкцій.

Забезпечення довготривалої експлуатації будівельних конструкцій – актуальна техніко-економічна проблема що потребує застосування ефективних рішень на всіх етапах життєвого циклу, тому об'єктом досліджень є саме життєвий цикл у її взаємозв'язку із зовнішніми та внутрішніми чинниками що впливають на його тривалість. Предмет дослідження - це будівельні конструкції з дефектами та пошкодженнями що утворюються на всіх етапах її життєвого циклу, а також методи, моделі і заходи спрямовані на подовження життєвого циклу.

Елементи та конструкції відрізняються різним ступенем складності і невизначеності технічного стану, а також значною кількістю чинників, що призводять до їх деформацій, дефектів та пошкоджень. Інформація про дефекти будівельних конструкцій має бути представлена у вигляді результатів обстеження та діагностики. Визначення зв'язку між дефектами та причинами їх появи, прогнозування наслідків цих дефектів на подальший технічний стан об'єкту є багатофакторним завданням, тому потребує детального вивчення.

На етапі проектування мають бути передбачені такі технічні рішення, що за умови нормативної системи технічного обслуговування забезпечать проектну (нормативну) довговічність з урахуванням зниження характеристик міцності матеріалів та конструкцій під впливом зношення, навколишнього

середовища, зовнішніх і внутрішніх навантажень, тощо. Проте запаси міцності повинні бути економічно виправдані, адже чим вища надійність, тим більша вартість будівництва.

Тривалість етапу експлуатації, тобто довговічність, характеризується часом протягом якого у спорудах з перервами на ремонт експлуатаційні властивості зберігаються на проектному (нормативному) рівні. Розрізняють фізичну та моральну, або технологічну довговічність. В даному розділі розглядається фізична довговічність, що залежить від фізико-технічних характеристик елементів, конструкцій та споруд в цілому: міцності, стійкості, тепло- і звукоізоляції, герметичності та інших параметрів

Розглянемо інтенсивність відмов, тобто виявлення дефектів і пошкоджень елементів та конструкцій, що призводять до зниження експлуатаційних властивостей нижче нормативного рівня на протязі етапу її експлуатації.

На початковому етапі експлуатації будівельних конструкцій (рис. 1.1) число дефектів є відносно високим. Вони викликані помилками при проектуванні і неправильним виконанням будівельних робіт, тощо. Більшість цих дефектів зазвичай усуваються впродовж гарантійного терміну експлуатації. В міру їх усунення число обумовлених ними недоліків систематично знижується ($t_0 - t_1$). Під час експлуатації будівлі відбувається поступове старіння і знос окремих елементів будівлі (більше t_2).

Впродовж початкового періоду експлуатації мають місце негативні явища - дефекти, пошкодження і недоробки, що істотно знижують експлуатаційні характеристики будівельних конструкцій наприклад, промерзання і проникнення атмосферної вологи через зовнішні стіни, проникнення води через віконні і дверні столярні вироби, протікання вологи на останніх поверхах через покрівлю, тріщини в стінах приміщень, низька температура в окремих приміщеннях в зимовий час, часті пшкодження інженерних систем, ліфтів тощо.

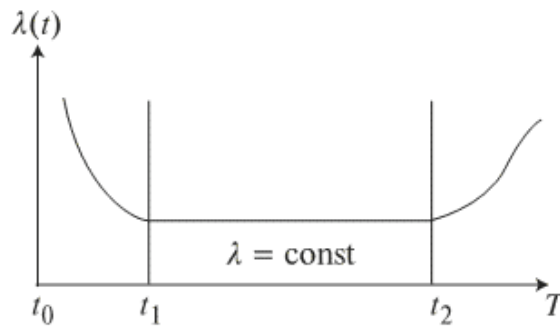


Рисунок 1.1 Типова функція інтенсивності відмов будівельних конструкцій за час її експлуатації: $(t_1 - t_0)$ - період стабілізації осідань; $(t_2 - t_1)$ - період нормальної експлуатації; t_2 - початок інтенсивного старіння

Із загального аналізу залежностей, що приведені на рис. 1.1 слід відмітити, що в інтервалі від t_1 до t_2 дефекти є наслідком недостатньої якості проектів або будівництва. До деякого моменту число дефектів зменшується, а потім, починаючи з моменту часу t_2 знову спостерігається ріст числа дефектів, що викликані природним зносом або старінням матеріалів і елементів будівельних конструкцій. У інтервалі від t_1 до t_2 число дефектів мінімальне.

Побудова предмета дослідження в даному випадку полягає в розробці адекватних математичних моделей, що відображають на основі отриманих даних об'єктивні закономірності розвитку деформацій та забезпечують обґрунтований прогноз і науковий аналіз розвитку процесів

Реалізація цього підходу можлива:

- при застосуванні експертних систем, що дозволяють в режимі реального часу здійснювати аналіз технічного стану будівельних конструкцій, прогнозувати розвиток дефектів, пропонувати рекомендації з вибору профілактичних заходів;

- при застосуванні інструментального контролю за геометричними параметрами будівельних конструкцій, що дозволяє в режимі реального часу здійснювати контроль за осіданням, зсувами, рівнем ґрунтових вод тощо,

прогнозувати їх розвиток, пропонувати рекомендації з прийняття рішень про подальші дії з ліквідації загроз.

Розгляд природи і структури об'єкту дослідження здійснюється з використанням елементів системного підходу на етапі з'ясування завдання з урахуванням того, що системний підхід задає не стільки єдиний шлях рішення, скільки напрям пошуків рішення. В нашому випадку предмет дослідження представляється у вигляді системи "Споруда - середовище" в якій об'єднуються три основні підсистеми: "споруда", "грунтова основа", "зовнішнє середовище".

Розвиток напружено-деформованого стану основи в результаті взаємодії підсистем в системі "Споруда - середовище" відбувається із-за зміни об'єму ґрунту під тиском споруди: в процесі ущільнення ґрунту в часі у зв'язку з рухом води по його порах і із-за опору ґрунту руйнуванню за рахунок міжчасткового зчеплення і внутрішнього тертя. В результаті тривалої дії навантажень виникають процеси повзучості, релаксації і зниження міцності ґрунту.

Результати спостережень за деформацією представляють об'єктивну інформацію про складну взаємодію їх конструкцій з ґрунтовою основою і зовнішнім середовищем. Це є основа для встановлення закономірностей розвитку деформаційних процесів, що контролюються натурними спостереженнями.

На основі виявленої кількісної закономірності розвитку деформаційних процесів є можливість встановити математичні моделі процесу. Це дає змогу здійснювати прогнозування та інтерпретацію одержаних даних. Результати математичного моделювання можуть використовуватися для підвищення надійності, довговічності, безпеки експлуатації будівельних конструкцій на основі прогнозованої інформації про розвиток деформаційних процесів.

На рис. 1.2 представлено структурно-логічну схему досліджень в процесі яких розглянуто життєвий цикл будівельних конструкцій як об'єкт досліджень та методи подовження терміну життя в період експлуатації [19,23,45,69].



Рисунок 1.2 Структурно-логічна схема досліджень життєвого циклу будівельних конструкцій споруд

1.3 Методи обстеження та аналіз причин пошкодження будівель

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

Структура формалізованого опису та засоби контролю фактичних значень параметрів і їх експлуатаційних якостей конструкцій будівельних споруд представлена рис.1.3. З них можна виділити декілька найбільш загальних, які суттєво впливають на експлуатаційну придатність:

- міцність і стійкість будівельних конструкцій;
- теплозахисні властивості;
- герметичність, особливо будівельних конструкцій;
- звукоізоляцію;
- стан повітряного середовища;
- освітленість;
- вологість матеріалів будівельних конструкцій.

Перелік таких параметрів та їх нормативні або розрахункові значення для кожного типу будівельних конструкцій встановлюються проектом. Порівнюючи фактичне значення параметра, встановлене за експертною оцінкою, з нормативним, роблять висновок про експлуатаційної придатності конструкції і споруди в цілому. Потім приймається рішення про заходи з підтримки даного параметра на заданому нормамаи або розрахунковому рівні. В ході проведення технічної діагностики використовують наступні методи обстеження: візуальний, візуально-інструментальний, неруйнівний.

При візуальному обстеженні виявляються видимі дефекти і пошкодження, наводять обміри, схематичні плани фотографії, виявляються місця, які необхідно обстежити більш детально за допомогою інструментів і приладів.

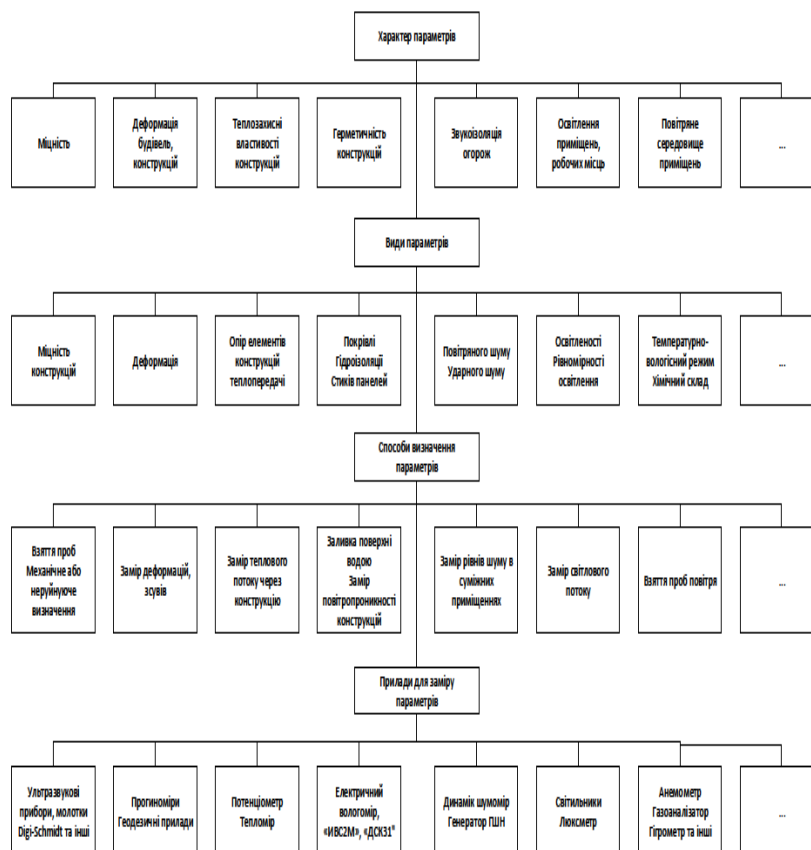


Рисунок 1.3 Структура формалізованого опису та засоби контролю фактичних значень параметрів і їх експлуатаційних якостей конструкцій будівельних споруд

Візуально-інструментальне обстеження є деструктивною, так як у спорудах будівельних конструкцій відбираються зразки матеріалів для випробування в лабораторних умовах. Таке обстеження в умовах експлуатації не завжди є прийнятною, бо може призвести до ослаблення конструкцій.

Неруйнівний метод обстеження полягає в тому, що необхідні виміри проводяться за допомогою різних приладів і пристосувань, без всякого зниження міцності конструкцій і без порушення обробки приміщень. Прилади для діагностики технічного стану використовуються для контролю якості матеріалів і конструкцій.

До методів контролю фізико-технічних параметрів відносяться: спостереження за тріщинами в конструкціях, контроль місцевих і загальних деформацій, а також визначення: міцності конструкцій; товщини трубопроводів при контролі за корозією; вологості деревини та інших матеріалів; товщини лакофарбових покриттів; повітропроникності стиків і конструкцій; теплозахисних якостей конструкцій; звукоізолюючої здатності огорожувальних конструкцій; місць пошкодження прихованої гідроізоляції; контроль герметичності стиків.

Тріщини в будівельних конструкцій служать зовнішнім ознакою їх перевантаження та деформації. Вони можуть бути викликані різними причинами, мати різні наслідки, а тому поділяються на небезпечні (категорії А,Б) і безпечні (категорії В). При виявленні тріщин важливо з'ясувати причину їх виникнення та дати їм правильну характеристику, встановити, триває їх розвиток або припинилося.

В будівельних конструкціях можуть виникати деформації під впливом різних навантажень і в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалів конструкцій, їх геометричних характеристик.

Уявлення про напружений стан конструкції можна отримати шляхом вимірювання та вивчення деформацій.

Деформації можуть носити самий різний характер у вигляді паралельного зсуву перерізів конструкцій, розтягування або стиснення. Вони поділяються на місцеві, коли переміщення або повороти відбуваються у вузлах і конструкціях (подовження або стиснення елементів) і загальні, коли переміщаються і деформуються конструкції або споруди в цілому. Деформації можуть бути залишковими або пружними, зникаючими після зняття навантаження. Тому для оцінки стану конструкцій необхідно знати їх геометричну характеристику до навантаження, під навантаженням і після її зняття.

Неруйнівні методи випробувань і контролю якості матеріалів і конструкцій дозволяють дати оцінку їх фізико-механічних властивостей:

міцності, пружності, щільність, напружено-деформованого стану конструкцій і виявлення дефектів в них.

В ході обстеження будівельних конструкцій аналізуються чинники, що впливають на міцність і стійкість руйнування конструкцій (рис. 1.4, рис.1.5).

Аварії будівельних конструкцій є наслідком сукупності ряду причин:

- низької якості матеріалів;
- дефектів виробництва будівельних робіт;
- відступи від проектів при зведенні конструкцій;
- неправильної експлуатації споруд або їх окремих конструкцій;
- порушення елементарних правил монтажу збірних залізобетонних конструкцій і деталей;
- введення споруд в експлуатацію з великими недоробками.

Дефекти інженерно-геологічних вишукувань призводять до руйнувань в результаті недостатніх досліджень геологічних та гідрогеологічних умов майданчика будівництва, неправильної конструкції фундаментів, недостатнього врахування впливу підземних комунікацій, розташованих поблизу споруд, відсутність у проектах вказівок про заходи щодо забезпечення стійкості конструкцій при будівництві на просадочних ґрунтах.

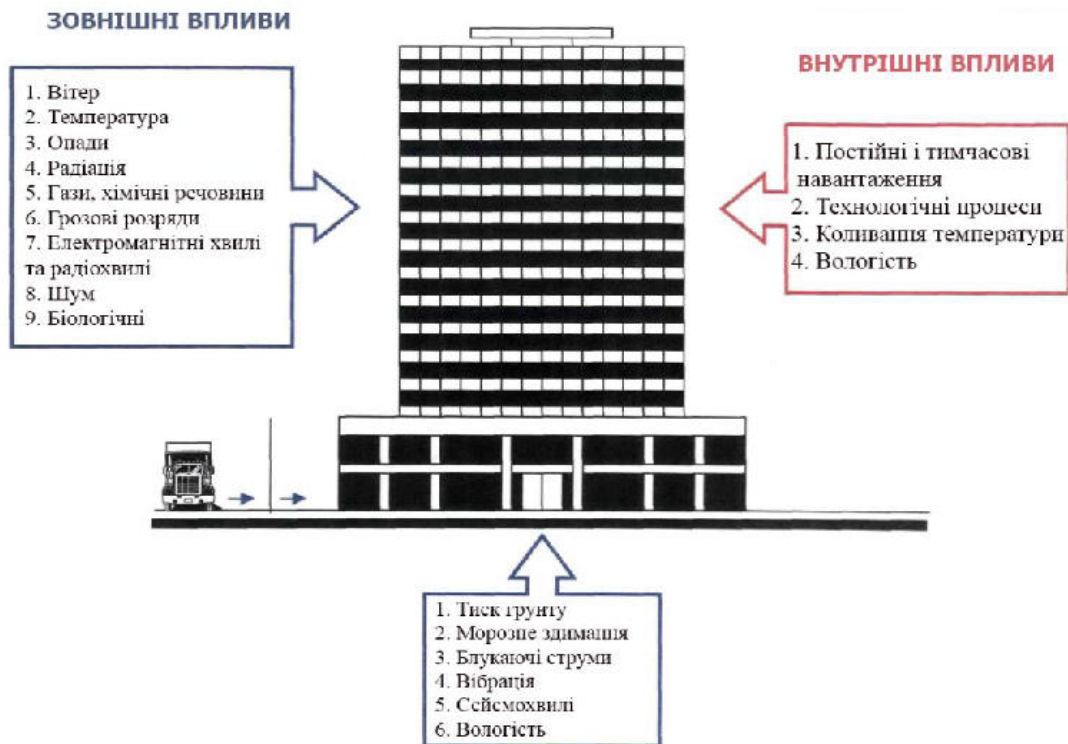


Рисунок 1.4 Чинники впливу на міцність і стійкість будівельних конструкцій

Чинниками руйнування конструкцій можуть бути недоліки проектів та проектних рішень, а саме:

- застосування неповноцінних конструктивних рішень;
- недостатнє забезпечення жорсткості і стійкості збірних конструкцій як у процесі будівництва, так і при експлуатації;
- недостатня деталювання креслень окремих відповідальних вузлів несучих конструкцій і споруд;
- неправильний облік навантажень, що діють на конструкцію або споруда;
- помилки в розрахунках конструкцій.

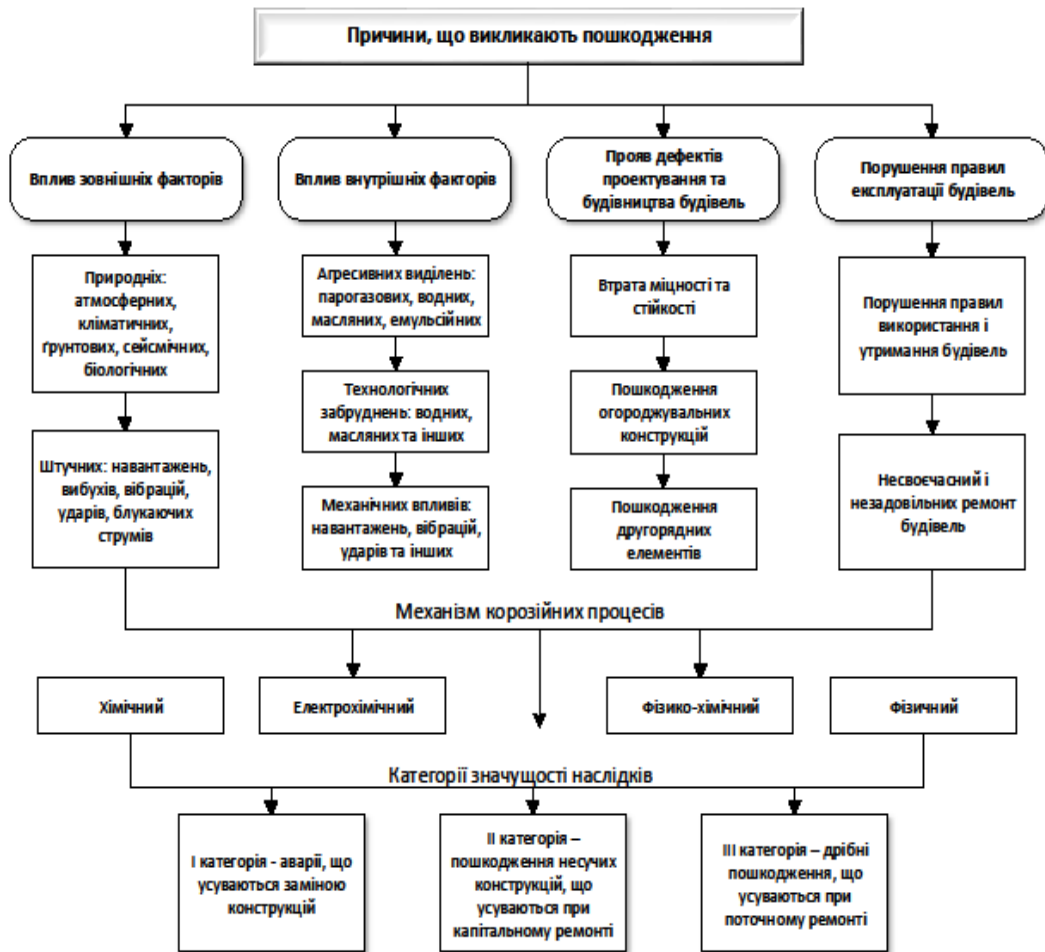


Рисунок 1.5 Чинники виникнення пошкодження будівельних конструкцій і споруд

Низька якість, а також дефекти виробництва робіт є наслідком:

- відсутності на будівництві кваліфікованого технічного персоналу, а також частою його зміни;
- порушення вимог нормативних документів до виробництва робіт;
- відступи від проектів, зокрема, застосування матеріалів недостатньої міцності;
- недотримання послідовності монтажу споруд із збірних конструкцій;
- відсутність контролю за якістю надходять на будівництво будівельних матеріалів і виробів;
- недотримання правил будівництва на просадних ґрунтах;

- незадовільної якості виконання окремих конструкцій або їх елементів;
- неточної розбивки осей несучих конструкцій споруд;
- заміни матеріалів конструкцій або їх частин без санкції проектною організацією.

Руйнування будівельних конструкцій відбуваються через:

- відсутності на заводах конструкцій кваліфікованого нагляду та контролю за виготовленням виробів;
- недбалого їх армування та грубих відступів від проектів, які виражаються у зміщенні робочої арматури до стислій зони, внаслідок чого захисні шари товщають до 40 - 60 мм;
- відсутності арматури в опорних частинах;
- недостатньою анкерування стержнів;
- довільної заміни арматури в порівнянні з проектною;
- неправильного армування, що веде до обвалення плит, балок, перекритті і покриттів, консольних балок, балконів.

Руйнування, викликані неправильною експлуатацією споруд, походять з-за перенапруги конструкцій і їх елементів внаслідок встановлення додаткового обладнання, не передбаченого технологічним проектом; заміни одного обладнання іншим з більшою динамічним навантаженням; додаткової пробивання різного роду отворів в конструкціях. Дефекти також виникають внаслідок значної вібрації обладнання, шкідливо відбивається на конструкціях і спорудах.

Основними причинами обвалення покриттів є грубі відступу від вимог будівельних норм і правил у частині провадження робіт з виготовлення та монтажу конструкцій.

До аварій призводить сукупність таких порушень, як:

- недостатнє врахування особливостей сучасних проектних рішень; перевантаження будівельних конструкцій при їх пристрої;
- довільна заміна перерізів елементів конструкцій;

- зміна розрахункової схеми роботи конструкцій; невдалі проектні рішення конструкцій покриттів; порушення порядку монтажу конструкцій.

Будівлі, що будуються за типовими проектами, виявляються в аварійному стані внаслідок допущення занижених порівняно з діючими нормами коефіцієнтів запасу міцності в несучих конструкціях.

Необхідність посилення будівельних конструкцій в процесі їх експлуатації виникає як при реконструкції і технічному переоснащенні підприємств, так і внаслідок фізичного зносу і різних пошкоджень, викликаних корозією матеріалів, механічними впливами, діями агресивного середовища.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

2.1 Загальний підхід до моделювання процесів спостереження та діагностики технічного стану будівель

На основі проведеного дослідження створюється база правил системи діагностики технічного стану конструкцій споруд (фундамени). Для розв'язання даної задачі фахівці – експерти самостійно дають ймовірнісну оцінку конструкції керуючись власним досвідом.

Для вирішення даної задачі використовують “Метод коефіцієнтів впевненості”. Цей метод був використаний в експертній системі MYCIN, він базується на евристичних поняттях, які були взяті із практичного досвіду роботи експертів. Коли експерт оцінює ступінь достовірності деякого виводу, він використовує такі поняття, як “точно”, “досить можливо”, “можливо”, “нічого не можна сказати”. Розробники цієї системи вирішили відобразити ці поняття на шкалу коефіцієнтів впевненості, що змінюються в діапазоні від -1 до +1. Для цього були введені дві оцінки – MB і MD. Оцінка MB відображає ступінь правдивості деякого факта і приймає значення від 0 до +1. Оцінка MD відповідає ступеню хибності факта і приймає значення в діапазоні від -1 до 0.

В ході логічного виводу над фактами, що складають припущення правил, виконуються логічні операції. В результаті цього створюються складні виводи, коефіцієнти впевненості яких розраховуються за наступними правилами:

1. при логічному зв'язку І між фактами P_1 і P_2 :

$$F(P_1 \wedge P_2) = \text{MIN}(F(P_1), F(P_2)), \quad (2.1)$$

2. при логічному зв'язку АБО між фактами P_1 і P_2 :

$$F(P_1 \vee P_2) = \text{MAX}(F(P_1), F(P_2)). \quad (2.2)$$

В системі MYCIN коефіцієнти впевненості приписуються не тільки фактам, але і правилам. Позначимо коефіцієнт впевненості правила через F_r . Коефіцієнт F_r відповідає ступеню правдивості висновку правила при правдивих припущеннях. Якщо припущення характеризуються коефіцієнтом впевненості $F_{пред} = 1$, то коефіцієнт впевненості висновку $F_{висн}$ розраховують за формулою:

$$F_{висн} = F_{пред} * F_r. \quad (2.3)$$

В основу моделювання конструкції (фундаменти) закладена база правил, що являє собою набір правил. Визначення фізичного стану залежатиме від виконання правилами умов, які закладені в базі правил.

В табл. 2.1 представлено формування бази правил по конструктивному елементу - фундаменти.

В табл. 2.2 представлена кількісна оцінка дефектів і пошкоджень по конструктивному елементу - фундаменти.

Таблиця 2.1 Формування бази правил

Елемент	Формалізований запис	База правил
Фундаменти	Якщо FA і FB то FC	якщо тріщини вимощення (FA) і просідання вимощення (FB) то є наявність пошкодження вимощення (FC);
	Якщо FC і FD то FE	якщо пошкодження вимощення (FC) і протікання основ фундаменту (FD) то просідання фундаменту (FE);
	Якщо FE і FK то FL	якщо просідання фундаменту (FE) і масові тріщини фундаменту (FK) то усадка будівлі (FL);
	Якщо FL то FF	якщо усадка і руйнування фундаменту (FL) то споруда непридатна до експлуатації (FF).

Таблиця 2.2 Кількісна оцінка дефектів та пошкоджень

№	Дефекти конструкції	Позначення	Коеф. впевненості
1	Тріщини вимощення	FA	0.4
2	Відсутність вимощення на окремих ділянках	FB	0.9
3	Пошкодження вимощення	FC	-
4	Сліди зволоження стін підвальних приміщень	FD	0.2
5	Просідання фундаменту	FE	-
6	Наскрізнi тріщини фундаменту	FK	0.55
7	Випирання ґрунту в підвалі	FF	0.85
8	Осідання будівлі	FL	-

Дефекти конструкції розглядаємо як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для фундаментів:

$$F(FA \wedge FB) = \min(0.4; 0.9) = 0.4$$

$$F((FA \wedge FB) \vee FD) = \max(0.4; 0.2) = 0.4$$

$$F(((FA \wedge FB) \vee FD) \vee FK \vee FL) = \max(0.4; 0.55; 0.85) = 0.85 \quad F_{пред}$$

Допускаємо, що коефіцієнт впевненості правила $F_r = 0.7$, тоді:

$$F_{висн} = F_{пред} * F_r = 0.85 * 0.8 = 0.59$$

Відповідність стану конструкції до коефіцієнту впевненості представлено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 Відповідність стану до коефіцієнту впевненості

Згідно проведеного дослідження можемо зробити висновок: Характер пошкоджень конструкції споруди (коефіцієнт впевненості фундаментів-0,59) задовільний, нормальний та непридатним до нормальної експлуатації (відповідно табл. 2.3)

Категорія стану	Коефіцієнт впевненості
I – задовільний	0,0 – 0,25
II – задовільний	0,25 – 0,5
III – непридатний	0,5 – 0,75
IV – аварійний	0,75 – 1,0

Надалі пропонується більш загальний підхід пов'язаний з калібруванням статичних методів та методів дослідження невизначеностей.

У методі часткового коефіцієнта базові перемінні (тобто дії, характеристики опору та геометричні характеристики фундаментів) за рахунок використання часткових коефіцієнтів отримують відповідні розрахункові величини та виконується перевірка, яка має гарантувати, що немає перевищених відповідних граничних станів при обстеженні елементу фундаментів.

Чисельні значення для часткових коефіцієнтів можуть визначатись двома шляхами:

- на основі калібрування, виходячи з довголітніх експериментів та

будівельних конструкцій.

- на основі статистичної оцінки експериментальних даних та польових спостережень. (це повинно виконуватись у рамках імовірнісної теорії надійності).

Схематичний огляд різних наявних методів калібрування розрахункових формул для часткового коефіцієнта (граничні стани при обстеженні технічного стану фундаментів) та відносини між ними представлений на рис. 2.1.

Імовірнісні калібрувальні процедури для часткових коефіцієнтів можуть бути розподіленими на два головних класи:

- повністю імовірнісні методи (рівень III);
- методи надійності першого порядку (FORM) (рівень II).

В обох методах рівня II і рівня III слід ідентифікувати міру надійності з вірогідністю імовірності $P_s = (1 - P_f)$,

де P_s – імовірність життєздатності;

P_f - імовірність руйнування стосовно розглянутої форми руйнування в межах відповідного базового періоду.

Якщо підрахована імовірність руйнування є більшою ніж попередньо задана величина, тоді конструкція конструктивного елементу повинна розглядатися, як непридатна.

Індекс надійності β .

У процедурах рівня II альтернативна міра надійності умовно визначається за допомогою індексу надійності β , який пов'язаний з P_f :

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (2.4),$$

де Φ - кумулятивна функція стандартного нормального розподілення.

Зв'язок між Φ та β наведений у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Зв'язок між β та P_f

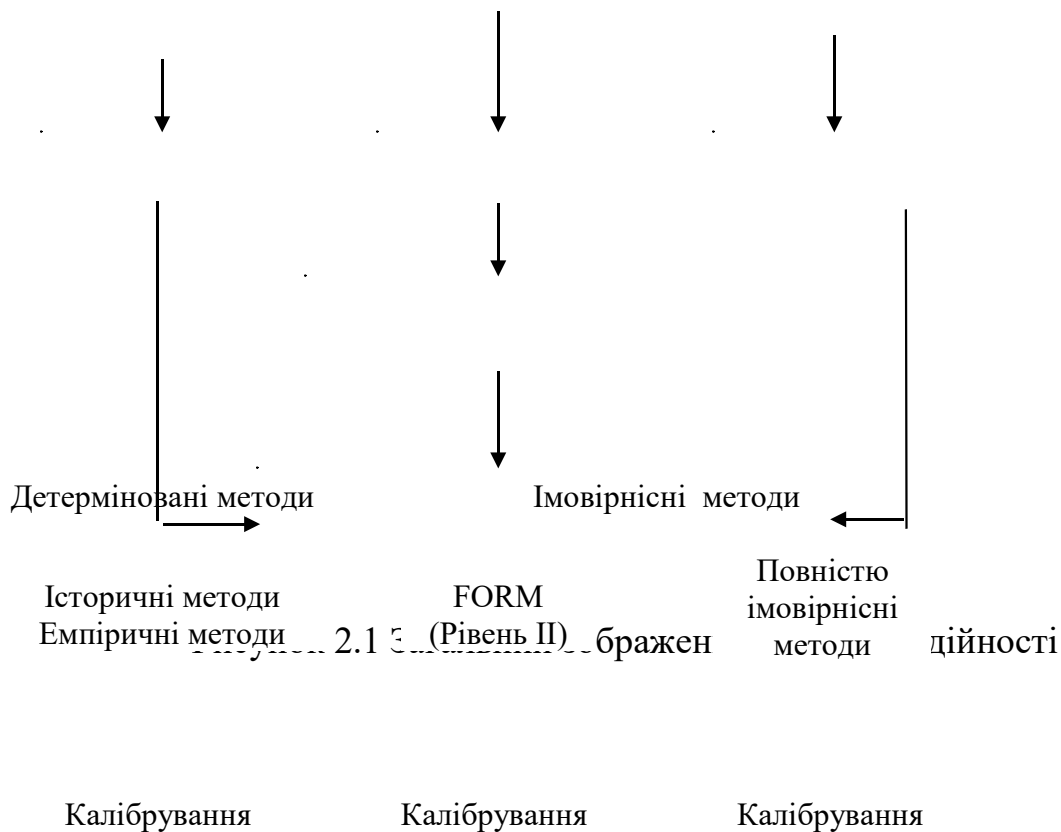
P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,3	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Імовірність руйнування конструкції фундаменту P_f може виражатись через функцію ефективності q так, що вважається, що конструкція витримає навантаження без руйнування, якщо $q > 0$ і буде зруйнована, якщо $q < 0$:

$$P_f = P_{zob}(q \leq 0) \quad (2.5).$$

Якщо R - опір, а E - результат дій, функція ефективності q становить:

$$q = R - E \quad (2.6),$$



з випадковими величинами R , E та q .

Якщо q має норма Напівімовірнісні методи ймається, як:

$$\beta = \mu_q / \sigma_q \quad (2.7),$$

де μ_q - середнє значення;

σ_q - стандарт

так що

Розрахунок за методом часткового коефіцієнта
 $\mu_q - \beta \sigma_q = 0$

$$(2.8),$$

$$P_f = P_{\text{zob}}(q \leq 0) = P_{\text{zob}}(q \leq \mu_q - \beta \sigma_q) \quad (2.9).$$

Для інших розподілів q та β є тільки умовною мірою надійності.

Задані величини індексу надійності β .

Задані величини для індексу надійності конструкції фундаменту β для різних розрахункових ситуацій, а також для базових періодів від 1 року до 50 років наведені в табл. 2.5. Величини β в таблиці 4 відповідають рівням безпеки для конструктивних елементів класів надійності RC2.

Таблиця 2.5 Заданий індекс надійності q для елементів конструкції класу RC

Граничний стан	Заданий індекс надійності	
	1 рік	50 років
Несуча здатність	4,7	3,8
Втома		від 1,5 до 3,8
Експлуатаційна придатність (незворотний)	2,9	1,5
Залежить від ступеня можливості проведення інспекцій, ремонтів та допустимого ушкодження		

Для цих обчислень β :

- для параметрів міцності матеріалів і конструкцій, а також невизначеностей моделей, як правило, використовується логнормальний розподіл або розподіл Вейнбулла;

- для власної ваги конструкції, як правило, використовується нормальний розподіл;

- при розгляді перевірок, які не пов'язані зі втомою, для перемінних дій для спрощення використовується нормальний розподіл. Розподіл екстремальних значень бує би більш прийнятним.

Коли головні невизначеності викликані діями, що мають статистично незалежні щорічні максимальні значення, то для іншого базового періоду величина p може підраховуватись з використанням наступної формули:

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n \quad (2.10),$$

де β_n – індекс надійності за базовий період за n років,

β_1 – індекс надійності за один рік.

Дійсна частота випадків руйнування значним чином залежить від людських помилок (людський фактор), котрі не розглядаються у розрахунку часткового коефіцієнта.

Таким чином, q не обов'язково забезпечує індикацію дійсної частоти руйнування конструкції.

Підхід до калібрування розрахункових величин.

У методі перевірки надійності проектної величини розрахункові величини повинні бути визначеними для всіх базових перемінних. Розрахунок розглядається як достатній, якщо не досягаються граничні стани при розрахункових величинах, які запроваджуються у розрахункових моделях. Використовуючи умовні позначки це можливо виразити, як:

$$Ed < Rd \quad (2.11),$$

де підрядковий індекс 'd' відноситься до розрахункових величин. Це практичний шлях для гарантування, що індекс надійності β дорівнює або більший за задану величину.

Ed та Rd можуть бути відображені у частково символічній формі, як:

$$Ed = E \{Fd1, Fd1, \dots ad1, ad2, \dots \theta d1, \theta d2, \dots\} \quad (2.12),$$

$$Rd = R \{Xd1, Xd1, \dots ad1, ad2, \dots \theta d1, \theta d2, \dots\} \quad (2.13),$$

де: E - результат дії;

R - опір;

F - дія;

X - властивість матеріалу;

a - геометрична властивість; θ - невизначеність моделі.

Для особливих граничних станів може бути необхідною більш загальна формула, щоб виразити граничний стан.

S - межа руйнування $g = R - E = 0$,

P - розрахункова точка.

Розрахункові величини базуватимуться на величинах базових перемінних в розрахунковій точці FORM, котра може бути визначеною як точка руйнування

поверхні ($g=0$), найближча до центра розподілу у просторі нормалізованих перемінних (як схематично визначено на рис. 2.2).

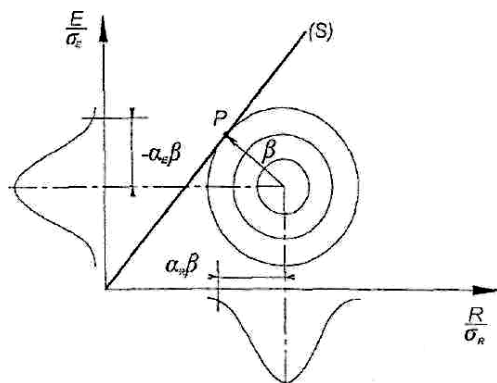


Рисунок 2.2 Розрахункова точка та індекс надійності β відповідно до методу надійності першого порядку (FORM) для нормально розподілених некорельованих перемінних

Розрахункові величини впливів дії Ed та опору Rd потрібно визначати так, щоб вірогідність мати більш несприятливу величину була такою:

$$P(E > Ed) = \Phi(+\alpha_E \beta) \quad (2.14),$$

$$P(R > Rd) = \Phi(-\alpha_R \beta) \quad (2.15),$$

де:

β - індекс заданого рівня надійності,

α_E та α_R з $|a| \leq 1$ - величини коефіцієнтів чутливості FORM.

Величина a є негативною для несприятливих дій та впливів дій, та позитивною для опору.

α_E і α_R можуть бути прийнятими, відповідно 0,7 і 0,8 за умови:

$$0,16 < \sigma_E / \sigma_R < 7,6 \quad (2.16),$$

де σ_E та σ_R - стандартне відхилення результату дій та опору відповідно в формулах (2.14, 2.15) Це дає:

$$P(E > Ed) = \Phi(-0,7\beta) \quad (2.17),$$

$$P(R > Rd) = \Phi(-0,8\beta) \quad (2.18).$$

Якщо умова (2.16) не виконується, слід використати $a = \pm 1,0$ для перемінної з більш широким стандартним відхиленням та $a = \pm 0,4$ для перемінної з меншим стандартним відхиленням.

Коли модель дії містить декілька базових перемінних, формулу (2.17), слід використовувати тільки для провідної перемінної. Для супутніх дій розрахункові величини можуть визначатись за допомогою:

$$P(E > Ed) = \Phi(-0,4x0,7x\beta) = \Phi(-0,28\beta) \quad (2.19).$$

2.2 Теоретико – множинна модель будівельних конструкцій і споруд на рівні деталізації їх технічних характеристик

Метою діагностики технічного стану є встановлення реальної несучої здатності й експлуатаційної придатності будівельних конструкцій та основ для використання цих даних при визначенні їх надійності, необхідності підсилення і розробленні проекту реконструкції. При діагностиці повинен вестися пошук оптимального варіанта конструктивно-планувального рішення, способу можливого підсилення несучих конструкцій з урахуванням його технологічності, забезпечення мінімуму трудовитрат, матеріальних ресурсів та часу на виконання робіт із реконструкції.

Обстеження дають можливість виявити найбільш характерні пошкодження і розробити рекомендації стосовно ремонту і підсилення конструкцій.

Метою натурного огляду конструкцій будівельних споруд є :

- уточнення відповідності та її конструкцій проекту;
- визначення розмірів, схем обпирання конструкцій, фактичних навантажень, якості та міцності матеріалів;
- виявлення, вимірювання та фіксація тріщин, дефектів, інших пошкоджень конструкцій;
- вимірювання деформацій; прогинів, нахилів, перекосів, зсувів, просідань фундаментів.

На рис. 2.3 представлена схема послідовності визначення стану конструкцій, що описуються в табл. 2.6 – 2.10.

В табл. 2.6 представлений формалізований опис моделей елементів конструкцій.

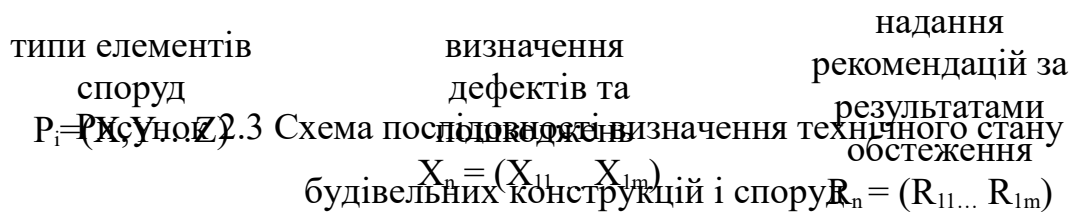
Першим етапом обстеження є попередній огляд, в процесі якого визначається обсяг виконуваних робіт, встановлюються типи елементів, що підлягають обстеженню (табл. 2.7).

В процесі обстеження формуються відомості та карти дефектів, причини виникнення основних дефектів та пошкоджень (табл. 2.8).

Наступним етапом є надання рекомендацій за результатами обстеження технічного стану конструкцій (табл. 2.9).

Передостаннім етапом є визначення категорії технічного стану будівельних конструкцій (табл. 2.10).

Завершальним етапом обстеження є визначення технічного стану конструкцій в цілому, складання висновків, рекомендацій щодо безпечної та надійної експлуатації за результатами обстеження.



Таблиця 2.6 Формалізований опис будівельних конструкцій визначення категорії технічного стану

Конструктивний елемент	Формалізований опис стану $K_i = (K_1 \dots K_m)$	Формалізований опис стану в цілому (Φ)
Фундаменти (F)	P_i (тип елементів) $\rightarrow X_n$ (основні дефекти та пошкодження) $\rightarrow R_n$ (рекомендації по результатам обстеження) $\rightarrow K_i$ (категорія технічного стану)	$P(X, Y, Z) \rightarrow (X_F, Y_F, Z_F) \rightarrow R(R_{X_F}, R_{Y_F}, R_{Z_F}) \rightarrow K(K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4);$ $X_F = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16});$ $Y_F = (Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16});$ $Z_F = (Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16});$ $R_{X_F} = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15});$

$$R_{yF} = (R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{25});$$

$$R_{zF} = (R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34}, R_{35}).$$

На першому етапі визначаємо типи елементів будівельних конструкцій (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 Типи елементів будівельних конструкцій

Конструктивний елемент	Типи елементів
Фундаменти (F)	стрічкові P (X); стовбчасті P (Y); пальові P (Z).

На другому етапі визначаємо дефекти та пошкодження (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 Основні дефекти та пошкодження будівельних конструкцій

Конструктивний елемент	Дефекти та пошкодження
Фундаменти (F)	<p>наявність тріщин, скривлення рядів кладки стін підвальних приміщень $X_F = (X_{11}), Y_F = (Y_{11}), Z_F = (Z_{11});$</p> <p>відхилення стіни від вертикалі $X_F = (X_{12}), Y_F = (Y_{12}), Z_F = (Z_{12});$</p> <p>наявність вогкості, випадіння окремих каменів кладки фундаментів і стін в підвальних приміщеннях $X_F = (X_{13}), Y_F = (Y_{13}), Z_F = (Z_{13});$</p> <p>наявність ґрунтових вод або ознак руйнування або підлоги в підвальних приміщеннях, наявність тріщин між цоколем будівлі і вимощенням $X_F = (X_{14}), Y_F = (Y_{14}), Z_F = (Z_{14});$</p> <p>відшарування штукатурного шару кам'яних стін та руйнування залізобетонних стінових панелей в підвальних приміщеннях $X_F = (X_{15}), Y_F = (Y_{15}), Z_F = (Z_{15});$</p> <p>течі в системі водопроводу, каналізації або теплофікації $X_F = (X_{16}), Y_F = (Y_{16}), Z_F = (Z_{16}).$</p>

Третім етапом є визначення рекомендацій за результатами обстеження (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 Рекомендації по результатам обстеження

Конструктивні елементи	Рекомендації по результатам обстеження
Фундаменти (F)	розшивка тріщин, закладення вибоїн $R_{x_F} = (R_{11})$, $R_{y_F} = (R_{21})$, $R_{z_F} = (R_{31})$; ремонт штукатурки стін в підвалі $R_{x_F} = (R_{12})$, $R_{y_F} = (R_{22})$, $R_{z_F} = (R_{32})$; проведення підсилення фундаментів $R_{x_F} = (R_{13})$, $R_{y_F} = (R_{23})$, $R_{z_F} = (R_{33})$; ремонт горизонтальної та вертикальної гідроізоляції і вимощення $R_{x_F} = (R_{14})$, $R_{y_F} = (R_{24})$, $R_{z_F} = (R_{34})$; ремонт оголовків кроків $R_{x_F} = (R_{15})$, $R_{y_F} = (R_{25})$, $R_{z_F} = (R_{35})$.

Четвертим етапом є визначення категорії технічного стану будівельних конструкцій (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 Категорія визначення технічного стану (K_i)

Конструктивний елемент (P_i)	Категорія (K_i)
Фундаменти (F)	(K2, K2/3, K3, K3/4, K4)

Кінцевим етапом за результатами обстеження є визначення стану будівельних конструкцій в цілому.

Стан визначається за формулою:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n P_i * K_p \quad (2.20),$$

де Φ – стан конструкцій; P_i – типи елементів;

K_p - категорія технічного стану.

3 МОДЕЛІ БАЗИ ЗНАНЬ І МЕТОДИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ ЗАСОБІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

3.1 Оцінка недосконалостей будівельних конструкцій на основі нечітких множин

Основною умовою забезпечення безаварійної роботи споруд з будівельних конструкцій є загальна діагностика технічного стану і, зокрема, наявних дефектів та пошкоджень. В процесі натурного огляду визначають структурні параметри конструкції: фактичні розміри елементів, з'єднань і зварних швів, взаємне розташування елементів, їх відхилення від проектного положення, вигнутості та викривлення конструктивних елементів, наявність тріщин, ступінь корозійного зносу матеріалу конструкцій, стан болтових і заклепкових з'єднань.

При загальному огляді уточнюється конструктивна схема елементів, загальний стан конструкцій, характер пошкоджень та зони з найбільшою кількістю пошкоджень. Перевіряється відповідність конструкцій, їх окремих елементів і вузлів проекту (при наявності останнього).

При обстеженні також перевіряється відповідність матеріалів конструкцій вимогам проектної документації та діючих нормативних документів. Для визначення реальних властивостей застосованих матеріалів експериментально досліджують фізико-механічні характеристики (міцність сталі на розтяг, стиск, зсув, зминання, ударну в'язкість).

Отже, основою для оцінки технічного стану є результати первинної експертної інформації (ПЕІ) щодо якості елементів конструкції, які

задаються у вигляді числових значень дійсних величин геометричних параметрів і розрахунково-механічних характеристики матеріалу.

Виявлені в процесі обстеження недоліки мають різний ступінь впливу на несучу здатність конструктивних елементів. При цьому, враховуючи нелінійну залежність між величиною відхилень та параметрами несучої здатності, постає необхідність у їх відповідному математичному представленні.

На основі даних ПЕІ та чисельного і конструктивного аналізу об'єкта формується множина параметрів, які визначають відповідно до вимог граничних станів, працездатність конструкції і споруди в цілому. Згідно ДСТУ, визначальний параметр – це фізичний параметр (показник якості), що характеризує стан об'єкта, і досягнення яким деякого граничного значення спричиняє відмову (позаграничний стан). Визначальні параметри можуть бути представлені рядом характеристик, які залежать від виду НДС і зовнішніх впливів.

Для можливості проведення математичних операцій з об'єднання результатів їх впливу на несучу здатність елементів конструкції, вони повинні бути представлені у відносній (безрозмірній) формі з визначенням ступеня їх належності проектному чи (для розрахунково-механічних властивостей матеріалів) нормативному значенню. Цей факт зумовлює застосування основних положень теорії нечітких множин, яка дозволяє при відсутності виборки статистичних даних оцінити ступінь належності якого-небудь визначального параметра його проектному (чи нормативному) значенню і оцінити ступінь впливу зміни цього параметра на якість елемента.

Для обґрунтування математичної моделі використовуються наступні основні положення теорії нечітких множин:

- 1) елементи, що складають нечітку множину, для якої задовольняється якась сукупність вимог і обмежень, і які мають загальну

властивість, можуть володіти цією властивістю з різним ступенем. Тобто кожен елемент характеризується функцією належності $\mu_A: U \rightarrow [0;1]$, яка ставить у відповідність кожному елементу U число $\mu_A(U)$ з інтервалу $[0;1]$, яке характеризує ступінь належності елемента U нечіткій множині A . Тоді носієм нечіткої множини A буде множина таких точок в U , для яких величина $\mu_A(U)$ додатня;

2) функція належності елемента нечіткій множині може бути довільною, на відміну від основної ознаки елементів чіткої множини, належність якій описується строго визначеною функцією;

3) оскільки функція належності елемента нечіткої множини визначається безрозмірними відносними значеннями, це дає можливість здійснювати математичні операції з об'єднання функцій належності різних елементів множини в область, де задовольняється сукупність накладених вимог та обмежень

Будівельні конструкції споруд, що знаходяться в експлуатації, як правило, мають різні дефекти і пошкодження, котрі мають саме нечітку характеристику ступеня свого впливу на зменшення несучої спроможності, зумовлену відсутністю статистичної виборки. Крім того, при аналізі застосовуються суб'єктивні уявлення експертів. Введення відповідних математичних оцінок, заснованих на застосуванні теорії нечітких множин, компенсує нестачу об'єктивної інформації та підвищує рівень достовірності описання системи. Далі, розбиття нечіткої за своїм характером інформації на певну кількість інтервалів на відрізку $[0;1]$ значно спрощує роботу експертів по віднесенню рівня пошкоджуваності до одного з таких інтервалів замість жорсткого висновку на зразок «дієздатна» - «недієздатна».

Несуча спроможність елементів конструкції визначається певною множиною параметрів (геометричних, жорсткісних, міцнісних, механічних). Вважаємо, що всі параметри, які змінюють своє значення

під впливом конструктивних недоліків, належать до нечіткої множини змінних величин, які мають лише одну спільну властивість – характеристику несучої здатності конструктивного елемента.

Формування функції належностей визначальних параметрів вимагає відповідного математичного представлення експертної інформації. Формалізація ПЕІ полягає у переведенні даних дослідження у відповідну безрозмірну множину ступенів належності дійсних значень параметрів, що визначають відповідність несучої здатності елементів конструкції проектному чи нормативному значенню, прийнятому за одиницю.

При такому переведенні у визначальні параметри (геометричні, жорсткісні, механічні) ПЕІ повинна в обов'язковому порядку пройти процедуру ранжування відповідно до ступеня впливу обстежених параметрів на несучу здатність елементів конструкції.

Параметри, які визначають несучу здатність, є випадковими величинами, закономірності змін яких цілком описуються диференціальною функцією нормального розподілу. Дослідженнями з теорії нечітких множин встановлено, що для значень нечітких функцій, що є близькими до якогось постійного параметра (наприклад, нормативного або проектного значення), функція належності є близькою до Гауссової кривої, яка описує нормальний розподіл неперервної випадкової величини.

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.1),$$

де x – неперервна випадкова величина;

a – математичне очікування випадкової неперервної величини x ;

σ – середнє квадратичне відхилення (стандарт) величини x .

Залежність (3.1) дозволяє за відсутності строгих статистичних даних визначити ступінь належності кожного досліджуваного визначального параметра до області його допустимих значень. Для того,

щоб перейти до безрозмірного відносного значення диференціальної функції, визначимо її максимальне значення. Якщо $x=a$, $e^0=1$, то

$$F(x)_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (3.2).$$

Якщо область допустимих значень описується інтервалом $[0;1]$, то ступінь належності параметра визначається відношенням:

$$f(x) = F(x)/F(x)_{max} = e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.3).$$

Мірою зниження несучої здатності конструктивного елемента є відносне значення відхилення того чи іншого визначального параметра від проектного або нормативного значення. Тоді ступінь належності кожного визначального параметра області допустимих значень матиме вигляд:

$$f(u) = e^{-\frac{(u_d - u_n)^2}{2(u_{np})^2}} \quad (3.4),$$

де u_d – дійсне значення визначального параметра на момент оцінки ризику;

u_n – значення визначального параметра, що встановлюється відповідно до вимог нормативних (проектних документів);

u_{np} – граничне значення визначального параметра, перевищення якого призводить до відмови.

У виразі (3.4) значення u , як і математичне очікування, являє собою центр розподілу випадкових значень визначального параметра при виникненні конструктивних недосконалостей; значення u_{np} прийнято за середньоквадратичне відхилення.

Тоді аналіз конструктивного ризику для кожного елемента зводиться до порівняння проектного, дійсного і граничного значення визначальних параметрів.

Конструкція або її елементи стають непридатними до експлуатації, коли вони проходять через певний граничний стан, тобто такий стан, за

межами якого не дотримується хоча б один з критеріїв, які визначають їх несучу здатність або придатність до експлуатації.

Для формування граничних значень визначальних параметрів використовують методи, спрямовані на виявлення запасів несучої здатності, закладених при проектуванні. При строгому підході можна скористатися відомим у будівельній механіці методом розрахунку граничної рівноваги. Тоді задача формулюється таким чином: знайти значення визначальних параметрів, при яких навантаження, що діє на будівельну конструкцію, стає граничним, що відповідає досягненню аварійного стану (перехід несучої конструкції у механізм). Однак практично таке завдання є дуже трудомістким. Враховуючи, що відповідно до перерахунків конструкцій виконується по розрахунковим опорам по межі текучості матеріалу (для функціональних граничних станів R_y) і по розрахунковим опорам по тимчасовому опору (для абсолютних граничних станів R_u), а також враховуючи можливість роботи елементів з конструктивними недоліками в зоні за межею текучості матеріалу, при побудові математичної моделі ПЕІ пропонується граничне значення параметра для елементів, що працюють на розтяг, визначати як :

$$u_{np} = N/R_{un} \quad (3.5),$$

і для елементів, що працюють на стиск:

$$u_{np} = N/(j_y * R_{yn}) \quad (3.6),$$

де R_{yn} і R_{un} – відповідно розрахункові опори межі текучості і за тимчасовим опором матеріалів конструкції, відповідно;

j_y – коефіцієнт граничного згину;

u_{np} – граничне значення визначального параметра елемента конструкції.

Такий підхід дає можливість визначити гранично допустиме значення геометричних характеристик елементів з конструктивними недоліками або перевірити, наскільки наявні дефекти наближаються до значень, при яких в елементах виникає напруга, близька до R_{m} .

Очевидно, що не всі конструктивні недоліки є однаково небезпечними і вимагають негайного усунення відразу після виявлення. Отже, необхідно провести їх ранжування відповідно до ступеня впливу на несучу здатність елементів. Небезпека дефекту визначається ступенем відхилення дійсного значення визначального параметра від його граничного значення. Ранжування виконується введенням параметра « r », значення якого визначається на основі поняття точки переходу в теорії нечітких множин.

Точкою переходу нечіткої множини A згідно називається такий елемент U , ступінь належності якого множині A дорівнює $0,5$. Оскільки верхня межа нечіткої множини строго визначена проектним значенням (u_n), ступінь належності якого дорівнює 1 , а нижня межа може задаватися по гранично допустимому значенню несучої здатності конструктивного елемента (u_{np}), то параметр r визначається розрахунковим шляхом з умови $f=0,5$;

$$f = e^{-\frac{(u_d - u_n)^2}{2(r u_{np})^2}} = 0.5 \quad (3.7).$$

Величина $0 \leq r \leq 1$ дозволяє ранжувати дефекти і пошкодження за впливом на несучу здатність. Конструктивний елемент втрачає працездатність при $r \leq 0,5$. При цьому вважається, що дефект повністю виводить з ладу конструктивний елемент. Аналіз величини « r » показує, що вона залежить від відносного запасу несучої здатності. Чим більший запас (значення u_d віддалено від u_{np}), тим менший вплив дефекта на якість елемента.

Тоді математична модель формалізації ПЕІ матиме вигляд:

$$f = e^{-\frac{(u_d - u_n)^2}{2(r u_{np})^2}} \quad (3.8),$$

де r визначається за формулою:

$$r = \sqrt{\frac{(u_{np} - u_n)^2}{1.38(u_{np})^2}} \quad (3.9).$$

Залежність r від ступеня віддалення проектного від граничного значення визначального параметра показана на рис. 3.1.

Підставивши вираз (3.9) в (3.4), одержимо:

$$f(u) = e^{-\frac{0.6921(u_d - u_n)^2}{(u_{np} - u_n)^2}} \quad (3.10).$$

Одержана математична модель дозволяє врахувати ступінь віддалення дійсного значення параметра, що визначає несучу здатність конструктивного елемента, від його проектного значення при оцінці ризику аварії.

При оцінці технічного стану елементів будівельних конструкцій певні труднощі викликає оцінка одночасного впливу ряду недоліків на напружено-деформований стан конструкцій. Через значну різноманітність типів конструкцій, величини і виду прикладеного навантаження, розташування і виду недоліків немає можливості зібрати необхідний статистичний матеріал для дослідження зміни зусиль в елементах конструкції. Очевидно, що додаткові навантаження в елементах, які виникають у результаті накопичення дефектів, не можна врахувати за принципом суперпозиції.



Рисунок 3.1 Зависимость ранга дефекта от Unp/Un

Разом з тим, при оцінці впливу наявних конструктивних недоліків на зниження несучої здатності без статистичної вибірки з позиції теорії нечітких множин, завдання полягає у визначенні приналежності параметрів, які визначають несучу здатність конструктивного елемента, такій множині, де задовольняється вся сукупність вимог і обмежень відповідно до проектних і нормативних документів.

Ступінь належності визначальних параметрів бездефектного елемента множині, де задовольняються всі вимоги нормативних документів, визначається операцією об'єднання відповідних нечітких множин, що характеризують ступінь належності кожного елемента (правило згортання).

В теорії вірогідностей згортанням двох функцій $f(t)$ і $g(t)$ називається інтеграл вигляду:

$$\int_0^t f(t-\tau)g(\tau)d\tau \quad (3.11),$$

де t —малий приріст аргумента. Перетворення Лапласа для згортання має вигляд:

$$\int_0^{\infty} e^{-zt} dt \int_0^t f(t-\tau)g(\tau)d\tau = \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^{\infty} g(\tau) e^{-z\tau} d\tau \int_{\tau}^{\infty} f(t - \tau) e^{-z(t-\tau)} dt = \\
&= \int_0^{\infty} \tilde{f}(z) g(\tau) e^{-z\tau} d\tau = \tilde{f} \tilde{g}
\end{aligned}$$

Отже, якщо дві функції згортаються, то їх перетворення Лапласа перемножуються. Аналогічне правило прийнятне для скільки завгодно великого числа функцій. Крім того, операції над нечіткими множинами не вимагають будь-яких обмежень на сукупність елементарних подій (повнота, незалежність і т.д.), які накладаються в теорії вірогідностей.

Об'єднання нечітких множин « A » і « B » в « X » визначають через алгебраїчну суму їх функцій приналежності:

$$f_{A \cup B}(x) = \left\{ f_A(x) + f_B(x) \right\}_{\text{якщо } x \in X}. \quad (3.13).$$

Перетин нечітких множин « A » і « B » визначають як алгебраїчний добуток їх функцій приналежності:

$$f_{A \cap B}(x) = f_A(x) \cdot f_B(x) \quad \text{якщо } x \in X. \quad (3.14).$$

Для обліку впливу кількох недоліків на несучу здатність конструктивного елемента використовується операція перетину нечітких множин:

$$f_{A \cap B \cap C \dots} = f_A(x) \cdot f_B(x) \cdot f_C(x) \dots = \prod_{i=1}^n f_k(x) \quad (3.15).$$

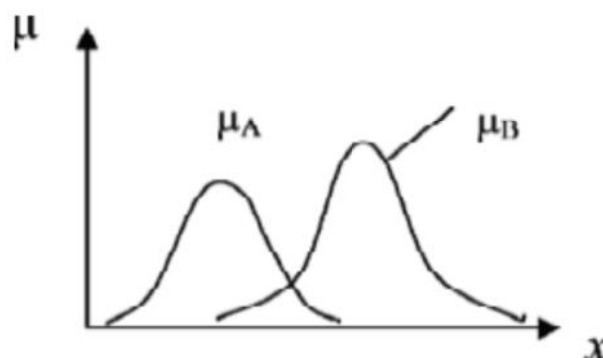


Рисунок 3.2 Графічна інтерпретація операції перетину нечітких множин

При складанні головного правила згортання варто виділити дві групи параметрів, що визначають несучу здатність конструктивних елементів: параметри, які характеризують розрахункові властивості матеріалу (з індексом «*m*») і параметри, які визначають геометрію елемента (з індексом «*s*»). Правило згортання повинно враховувати різний ступінь впливу параметрів груп «*m*» і «*s*» на формування аварійного стану елемента.

Таким чином, для оцінки конструктивного ризику окремого елемента за повної незалежності появи «*n*» недоліків використовуємо залежність:

$$f_s = \prod f_i = \prod f_{is} \prod f_{im} \quad (3.16),$$

$$k = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{\prod f_i} = \frac{1}{\prod f_{is} \prod f_{im}} \quad (3.17),$$

де f_s – значення сумарної функції належності визначальних параметрів конструктивного елемента; k – коефіцієнт, що характеризує загальне зниження проектної несучої здатності елемента від наявних конструктивних недоліків.

Враховуючи ту обставину, що первинна експертна інформація (ПЕІ) є певною мірою суб'єктивною, то відповідно до положень нечіткої логіки, серед кількох наявних експертних даних по кожному виду недоліків використовують мінімальне значення f_i .

$$\begin{aligned} f(u)_m &= \min[f(u)_m] \\ f(u)_s &= \min[f(u)_s] \end{aligned} \quad (3.18).$$

Головне правило згортання для конструктивного елемента, отримане на основі теореми повної вірогідності подій, враховує різний ступінь впливу визначальних параметрів «*m*» і «*s*» на формування аварійного стану елемента:

$$f_s = A[1 - (f_i)_m] \cdot [1 - (f_i)_s] + B[1 - (f_i)_m]f_s + C[1 - (f_i)_s]f_m + f_s \cdot f_m \quad (3.19)$$

де A, B, C – коефіцієнти; $(f_i)_m$ і $(f_i)_s$ – значення функцій приналежності області допустимих значень розрахункових властивостей матеріалу і геометричних параметрів.

Враховуючи те, що значення f_i буде максимальним при $A=B=C=0$ (оскільки $A, B, C < 1$) і що різниця значень f_i $A=B=C=0$ і $A=B=C=1$ становить 6-7%, можна зробити висновок про те, що першими трьома доданками можна знехтувати. Тоді вираз матиме вигляд:

$$\begin{aligned} f_3 &= f_s f_m \\ k_3 &= k_s k_m \end{aligned} \quad (3.20)$$

Отже можна зробити висновок.

1. Важливим методом оцінки показників надійності експлуатованих будівельних конструкцій є дослідження процесу накопичення недоліків у конструкціях на всіх етапах життєвого циклу з використанням статистичного і діагностичного методів.

2. В якості статистичних методів вивчення процесу накопичення недоліків раціональним та ефективним є застосування моделі кумулятивного накопичення пошкоджень і теорії нечітких множин, що дозволяють в узагальненій формі оцінити вплив недоліків на поведінку і показники надійності експлуатованого об'єкта.

3. При застосуванні кумулятивної моделі накопичення недоліків процес розглядається на основі скінченного стаціонарного ланцюга Маркова, при якому майбутнє значення процесу залежить лише від відомого минулого значення і не залежить від усіх попередніх значень. При цьому застосовується апарат умовної вірогідності.

4. Отримані рівняння є основою для обчислення вірогідностей переходу з одного стану процесу накопичення недоліків в інший, отже є

математичною моделлю кумулятивного накопичення недоліків в експлуатованих металевих конструкціях.

5. Застосування апарата теорії нечітких множин дозволяє здійснювати об'єднання впливу недоліків на несучу здатність елементів і конструкцій при представленні цих результатів у відносній (безрозмірній) формі з визначенням ступеня їх належності проектному чи нормативному значенню. При цьому функція належності може бути довільною функцією, яка водночас дозволяє об'єднувати в собі вплив на показники надійності різних видів недоліків.

3.2 Побудова системи нечіткого виведення діагностики технічного стану будівель

При обстеженні споруд фіксуються дефекти будівельних конструкцій, а також параметри стану конструкцій, які можуть виступати як передумови для появи відповідних дефектів. Передбачається, що між фактом появи конкретного дефекту будівельної конструкції і передумовами до нього існує певний взаємозв'язок. Характер зазначеного зв'язку визначають експерти, спираючись на досвід та знання, при цьому свою думку вони висловлюють термінами звичайної мови. Необхідно на основі отриманих висловлювань спеціалістів побудувати математичну модель, яка дозволить визначати причинно-наслідкові зв'язки між дефектами будівельних конструкцій і факторами, що впливають на ці події. Результати цього моделювання повинні бути такими, щоб їх можна було застосовувати для прийняття рішень по управлінню за технічним станом обстежуваних споруд. Модель, що визначає взаємозв'язки між передумовами і причинами появи тих чи інших дефектів, можна представити як схему ідентифікації складного об'єкта (рис. 3.3).

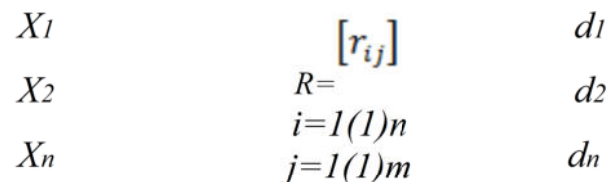


Рисунок 3.3 Структурна схема моделі ідентифікації дефектів конструкції:

$X = \{x_i\}, i=1(1)n$ – множина передумов появи дефектів будівельної конструкції; n – загальне число передумов;

$D = \{d_j\}, j=1(1)m$ – множина висновків по причинах дефектів будівельної конструкції; m – число можливих експертних висновків;

$R = [r_{ij}] (i=1(1)n; j=1(1)m)$ – матриця нечітких відношень між елементами множини X і множини D .

Відношення множин X і D можна в загальному вигляді представити у вигляді співвідношення:

$$D = X * R \quad (3.21),$$

де символом (*) позначається правило композиції нечіткого виведення.

Входи X моделі (3.21) досліджуваного об'єкта та її виходи D розглядатимемо як лінгвістичні змінні (ЛЗ), які оцінюються нечіткими термножинами з відповідними функціями приналежності (ФП). Наприклад, вхідною змінною x в співвідношенні (3.21) може бути ЛЗ вигляду «Тип конструкції споруди». Термами ЛЗ x в цьому випадку є висловлювання: «суцільна стіна», «перегородка». Вихідною змінною d в моделі ідентифікації (3.21) може бути ЛЗ вигляду «Причина виникнення дефекта» з термами, що відповідають класам рішень. Наприклад, до них можуть відноситись такі лінгвістичні побудови, як «Виникнення дефекту через передумову 1», «Виникнення дефекту через передумову 2». Ці терми також повинні мати свої ФП. Елементи матриці R формуються апріорно на основі знань та досвіду експерта. Співвідношення (3.21) можна розглядати у двох аспектах:

- по-перше, з застосуванням «низхідних» висновків, коли напрям висновків є зворотнім по відношенню до висновків для правил; цей підхід може бути застосований для вихідного формування моделі (3.21) і розробки розрахункової процедури визначення чисельної міри кожної з причин виникнення дефектів;

- по-друге, при використанні «висхідних» висновків, коли висуваються гіпотези про значення контрольованих параметрів конструкцій оцінюється можливість появи дефектів, що відповідають цим сукупностям входів; цей підхід доцільний при прогнозуванні зміни стану експлуатованих споруд.

Розглянемо рішення сформульованої задачі.

Формування моделі ідентифікації будівельної конструкції

Система нечіткого висновку за результатами обстеження будівельної конструкції може бути представлена у вигляді схеми, наведеної на рис. 3.4.

Фазифікатор

нечітка БЗ

дефазифікатор

Рисунок 3.4 Структура системи нечіткого висновку за результатами обстеження будівельної конструкції

Блоки системи на рис. 3.4 виконують наступні функції:

- блок «Фазифікатор» перетворює вектор X чітких значень параметрів стану конструкції у вектор \tilde{X} значень ФП ознак передумов дефектів конструкції, при цьому використовуються ФП нечітких термів, що описують X ;
- блок «нечітка база знань» являє собою сукупність експертних процедур імплікації, які приводять до отримання нечіткої множини D вихідних змінних моделі (3.21);
- блок «дефазифікатор» перетворює нечітке представлення вихідних параметрів моделі (3.21) \tilde{D} в чітке значення D .

Отже, спочатку потрібно здійснити перехід від чітких значень X вхідних даних моделі (3.21) до значень \tilde{X} їх лінгвістичних змінних за допомогою операції фазифікації.

Розглянемо алгоритм здійснення операції фазифікації. Нехай \tilde{x} – ЛЗ вхідного параметра моделі (3.21). Для цієї ЛЗ вводяться терми a . Для них будемо використовувати дзвоноподібну функцію приналежності. Ця ФП має два параметри: b – значення аргумента, що відповідає максимальному значенню ФП, і c – коефіцієнт концентрації. Розрахунок ФП кожного терма $a_p(\tilde{x})$ ЛЗ \tilde{x} «Параметр передумови» в даному випадку здійснюється за допомогою співвідношення:

$$\mu_p(a(\tilde{x})) = \frac{1}{1 + \left[\frac{1}{1 + \frac{x-b_a}{c_a}} \right]^2} \quad (3.22),$$

де b_a і c_a – параметри ФП відповідного терма $a_p(\tilde{x})$ ЛЗ \tilde{x} .

Введемо вектор-стовпчик Q_l «індикатор вибору терма», який формує експерт. Його розмірність рівна k_x – числу термів змінної \tilde{x} . Елемент «1» в

цьому векторі відповідає вибраному терму інші елементи даного вектора – нульові. **Значення ФП** Також також дві матриці Q_2 і Q_3 , необхідні для автоматичної реалізації операції фазифікації. Розмірності першої і другої матриць однакові і рівні $[k, 2]$. Матриця Q_2 складається з одиниць. Елементи матриці Q_3 формуються за правилом:

$$Q_3 = Q_1 * Q_2 \quad (3.33).$$

Параметри g^* ФП терма, що відповідає одиничному елементу вектора Q_1 , визначається зі співвідношення:

$$g^* = \sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^2 g_i \cdot q_{3ij} \quad (3.34),$$

де g_i – відповідний параметр ФП i -го терма ($i = 1(1)k$) ЛЗ, що розглядається, вхідного параметра моделі (3.21);

k – кількість термів для ЛЗ вхідного параметра моделі (3.21).

Розрахунок параметрів фазифікації здійснюється для кожного терма $a_p(\tilde{x})$ за допомогою співвідношення (3.22), у яке замість значення x підставляється значення параметра b_a^* , обчислюваного за формулою (3.34). Фізичний зміст описаного алгоритму фазифікації для ЛЗ вхідного параметра, який має три терми, пояснюється графіками на рис. 3.5. Вертикальна червона лінія означає вибір експертом терма 3. Горизонтальна червона стрілка показує спосіб визначення значення ФП для терма 2 ЛЗ, що розглядається – «Параметр стану будівельної конструкції (БК)».

Функції приналежності ЛП "Параметр стану БК"

1,000
0,900
0,800
0,700
0,600
0,500
0,400
0,300
0,200

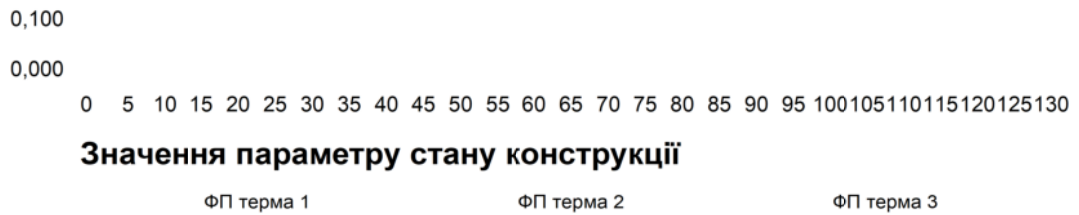


Рисунок 3.5 Спосіб виконання фазифікації параметра будівельної конструкції

Вгорі: функції приналежності ЛЗ «Параметр стану БК»

Зліва: Значення ФП

Внизу: значення параметру стану конструкції

Після фазифікації необхідно здійснити описання залежностей між лінгвістичними змінними \tilde{x} ($\tilde{x} \in \tilde{X}$) і \tilde{d} ($\tilde{d} \in \tilde{D}$). Для цього застосуємо операцію імплікації $\tilde{x} \rightarrow \tilde{d}$ (якщо \tilde{x} , то \tilde{d}). В цій логічній операції умовою (антецедентом) виступає вхідна змінна x моделі (3.21), а заключенням (консеквентом) – вихідна змінна d моделі (3.21). В даному випадку антецедент являє собою твердження на зразок « x є глибоким», де «глибокий» - це терм лінгвістичної змінної x . При цьому консеквентом для моделі (3.21) може розглядатися твердження вигляду: « $D \in \tilde{d}$ », де $\tilde{d} \in \tilde{D}$.

Процедуру застосування нечіткого логічного висновку при використанні вказаних продукційних правил розділимо на два етапи: узагальнення і заключення. На етапі узагальнення логічного висновку слід визначити ступінь приналежності всього антецедента правила. Для цього будемо застосовувати оператор обчислення мінімального значення ступеня приналежності серед усіх вхідних змінних \tilde{x} ($\tilde{x} \in \tilde{X}$), які формують продукційне правило. Це пояснюється тим, що в даному випадку застосовані вхідні змінні моделі (3.21) об'єднуються оператором І. Оскільки стосовно одного і того ж результату – дефекта БК, зумовленого однією і тією ж причиною, - усі продукційні правила об'єднані логічною зв'язкою АБО, то будемо застосовувати оператор обчислення

максимального значення ступеня приналежності серед усіх продукційних правил.

На етапі заключення (логічного висновку) будемо обчислювати значення консеквента. Вихідними даними для цієї процедури є значення ступенів приналежності антецедентів правил, отриманих на попередньому етапі, стосовно кожного з можливих результатів \tilde{d} ($\tilde{d} \in \tilde{D}$). Результат нечіткого висновку при цьому буде також нечітким. Він представляється відповідним термом лінгвістичної змінної \tilde{d} . В даному випадку слід застосовувати правило вибору в якості консеквента \tilde{d}^* з максимальним значенням функції приналежності. Враховуючи зазначені особливості імплікації $\tilde{x} \rightarrow \tilde{d}$ нечітка база знань описується за допомогою операцій \cup (АБО) і \cap (І) в наступній компактній формі:

$$\bigcup_{p=1}^{kj} [\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \text{ с весом } \omega_{os}] \rightarrow \tilde{D} = \tilde{d}_j, j=1(1)m. \quad (3.35).$$

Отже, нечітка база знань у формі співвідношень (3.34) відображає досвід експерта і його розуміння причинно-наслідкових зв'язків між передумовами дефекта і його проявом. Формування нечіткої бази знань може розглядатися як аналог структурної ідентифікації, при якій формується модель обстежуваної будівельної конструкції з параметрами, які підлягають подальшому підлаштуванню при отриманні експериментальних даних про об'єкт. Перехід від нечіткої бази знань до системи нечітких логічних виразів \tilde{D} відповідно до виразу (3.34) будемо здійснювати за допомогою розрахункового співвідношення:

$$\mu^{\tilde{d}_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = V_{p=1}^{kj} (\omega_{pj} \cdot \wedge_{i=1}^n (\mu^{a_i^{jp}}(x_i))), j = 1(1)m \quad (3.36),$$

де $\mu^{a_i^{jp}}(x_i)$ – ФП змінної x_i для нечіткого терма a_i^{jp} ($j = 1(1)m; p = 1(1)k_j; i = 1(1)n$);

$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - ФП вектора ознак передумов дефектів будівельної конструкції (x_1, x_2, \dots, x_n) для рішення $d_j(j=1(1)m)$;

$\mathcal{V}(A)$ – операції максимізації (мінімізації) відповідних множин значень величин, що розглядаються.

Підставляючи в формулу (3.36) вектор $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ значень ознак передумов виникнення дефектів будівельної конструкції, отримуємо наступну нечітку множину вихідної змінної:

$$\tilde{y} = \left[\frac{\mu^{d_1}(X)}{d_1}; \frac{\mu^{d_2}(X)}{d_2}; \dots \frac{\mu^{d_m}(X)}{d_m}; \right]. \quad (3.37).$$

Правило вибору рішення про причини дефекта будівельної конструкції в даному випадку полягає у виконанні співвідношення:

$$y = \arg \max_{\{d_1, d_2, \dots, d_m\}} (\mu^{d_1}(X), \mu^{d_2}(X), \dots, \mu^{d_m}) \quad (3.38).$$

У деяких випадках при обстеженні будівельних конструкцій результат, отриманий за допомогою співвідношення (3.38), виявляється цілком задовільним (наприклад, якщо метою дослідження є лише виявлення передаварійних значень параметрів конструкції). Коли необхідно конкретизувати отриманий результат (перейти до чіткої форми його представлення), застосовується процедура дефазифікації – перетворення нечіткої множини у чітке представлення). Вказана процедура здійснюється за допомогою одного з відомих методів (центра максимуму, центра ваги) на основі аналізу відповідної функції приналежності \tilde{D} .

Для будівельних конструкцій можна виділити сукупність параметрів стану, які впливають на дефекти БК, але слабо змінюються з часом. Друга група

параметрів стану будівельних конструкцій під впливом випадково діючих факторів, може змінюватися з часом. Цю особливість можна використати для прогнозування стану споруд. Прогнозування результатів обстеження з використанням співвідношень (3.35)...(3.38) містить наступні етапи. Спершу розв'язується задача ідентифікації взаємозв'язку передумов дефектів конструкцій і причин їх появи на основі побудови моделі (3.21). При цьому слід використовувати всі розрахункові співвідношення, розглянуті вище. Далі для вхідних параметрів необхідно встановити закономірності їх зміни в часі і отримати прогнозовані значення для відповідних інтервалів часу. На основі отриманих результатів можна сформулювати необхідні управляючі впливи для забезпечення працездатності споруд.

Розглянемо застосування пропонованого підходу на розрахунковому прикладі.

Розрахунковий приклад

Постановка задачі

В якості аналізованого пошкодження будівельної конструкції розглядаються тріщини. Наявність і характер тріщин в конструкції встановлюються при обстеженні споруди. При цьому також вимірюються параметри ознак передумов появи тріщин. Крім цього, є отримані експертним способом правила імплікації параметрів конструкції в причини появи тріщин. Необхідно здійснити прогноз можливості появи дефектів кожного з наявних типів в майбутні інтервали часу.

Вихідні дані для задачі

Стан будівельної конструкції оцінюється сукупністю параметрів, наведених в табл. 3.1. Для описання функцій приналежності нечітких термів параметрів стану будівельних конструкцій і причин їх пошкоджень

застосовується дзвоноподібна форма ФП. Можливі причини появи дефектів (тріщин) і їх терми наведені у табл. 3.2. Матриця знань у формі апріорно встановлених можливостей появи дефектів залежно від значень параметрів стану будівельних конструкцій наведена в табл. 3.2. Усі вагові коефіцієнти відповідних нечітких заключень приймаються рівними одиниці: $w_{ij}=w=1$.

Розв'язання задачі

Змістовний смисл параметрів, що застосовуються, необхідні числові значення і результати розрахунків фазифікації (для періоду обстеження t_1) зведено в табл. 3.1.

База нечітких знань для розрахункового прикладу наведена в табл. 3.2.

Результати розрахунку параметрів моделі (3.21) (для періоду обстеження t_1) відповідно до бази знань (табл. 3.2) наведено в табл. 3.3.

Результати прогнозування появи пошкоджень будівельних конструкцій по кожній з можливих причин наведено у графічній формі (рис. 3.6).

Таблиця 3.1

Назва терма	Позначення терма	Параметри ФП терма		Вектор Q_1	матриця Q_2		матриця Q_3		Результат фазифікації
		b	c						
ЛЗ X_1 – «Місце розташування тріщини»									
Через всю конструкцію	вк	0,000	0,100	0	1	1	0	0	0,322
Між стінами	мс	0,145	0,080	1	1	1	1	1	1,000
В місцях примикання	мп	0,290	0,200	0	1	1	0	0	0,655
Від монолітного включення	мв	0,44	0,30	0	1	1	0	0	0,517
На опорах	оп	0,58	0,08	0	1	1	0	0	0,033
У верхній частині конструкції	вч	0,73	0,10	0	1	1	0	0	0,029
На вільному полі	вв	0,87	0,20	0	1	1	0	0	0,071

На нижній частині конструкції	нч	1,00	0,40	0	1	1	0	0	0,180
ЛЗ Х₂ – «Зовнішній вигляд тріщини»									
Вертикальна	в	0,000	10,00 0	1	1	1	1	1	1,000
Похила	п	45,00 0	15,00 0	0	1	1	0	0	0,100
Горизонтальна	г	90,00 0	12,00 0	0	1	1	0	0	0,017
ЛЗ Х₃ – «Напрямок розкриття тріщини»									
Верхній	вр	0,000	0,100	1	1	1	1	1	1,000
Рівномірний	рр	0,500	0,300	0	1	1	0	0	0,265
Нижній	нр	1,000	0,200	0	1	1	0	0	0,038
ЛЗ Х₄ – «Ширина тріщини»									
Волосна	вол	0,000	0,100	0	1	1	0	0	0,002
Дрібна	др	2,000	2,000	1	1	1	1	1	1,000
Розвинута	роз	5,500	2,000	0	1	1	0	0	0,246
Велика	вел	12,00 0	4,000	0	1	1	0	0	0,138
Крупна	кр	35,00 0	10,00 0	0	1	1	0	0	0,084

Таблиця 3.2

№ п/п	Терм ЛЗ Х ₁	Терм ЛЗ Х ₂	Терм ЛЗ Х ₃	Терм ЛЗ Х ₄	Проміжні значення ФП термів ЛЗ «Причина пошкодження конструкції»	Терми ЛЗ «Причина пошкодження конструкції»
1	оп	в	вр	вол	d1	Статичні перевантаження конструкції
2	чв	к	вр	вол	d1	
3	оп	в	вр	др	d1	
4	вч	к	вр	др	d1	
5	вп	в	вр	др	d1	
6	мп	в	вр	вол	d1	
7	вч	в	вр	вол	d1	
8	оп	в	вр	вол	d1	
9	мп	в	вр	вол	d2	Динамічні перевантаження конструкції
10	чв	к	рр	вол	d2	
11	сп	в	вр	др	d2	
12	вч	к	вр	др	d2	
13	оп	в	вр	роз	d2	
14	мс	в	вр	роз	d2	Температурні
15	вч	в	вр	кр	d5	

16	сп	к	рр	вол	d5	деформації конструкції
17	вч	к	вр	др	d5	
18	сп	в	рр	вел	d5	
19	сп	в	рр	кр	d5	

Таблиця 3.3

№ п/п	Терм ЛЗ X ₁	Терм ЛЗ X ₂	Терм ЛЗ X ₃	Терм ЛЗ X ₄	Проміжні значення ФП термів ЛЗ «Причина пошкодження конструкції»	Терми ЛЗ «Причина пошкодження конструкції»	ФП термів ЛЗ «Причина пошкодження конструкції»
1	0,033	1,000	1,000	0,002	0,002	Утворення тріщини в конструкції через статичні перевантаження	0,071
2	0,322	0,100	1,000	0,002	0,002		
3	0,033	1,000	1,000	1,000	0,033		
4	0,029	0,100	1,000	1,000	0,029		
5	0,071	1,000	0,265	1,000	0,071		
6	0,655	1,000	1,000	0,002	0,002		
7	0,029	1,000	1,000	0,002	0,002		
8	0,033	1,000	1,000	0,002	0,002		
9	0,655	1,000	1,000	0,002	0,002		
10	0,322	0,100	0,265	0,002	0,002	Утворення тріщини через динамічні перевантаження	0,246
11	0,071	1,000	1,000	1,000	0,071		
12	0,029	0,100	1,000	1,000	0,029		
13	0,033	1,000	1,000	0,246	0,033		
14	1,000	1,000	1,000	0,246	0,246		
40	0,029	1,000	1,000	0,084	0,029	Утворення тріщини в конструкції через температурні деформації	0,071
41	0,071	0,100	0,265	1,000	0,071		
42	0,029	0,100	1,000	1,000	0,029		
43	0,071	1,000	0,265	0,138	0,071		
44	0,071	1,000	0,265	1,000	0,071		

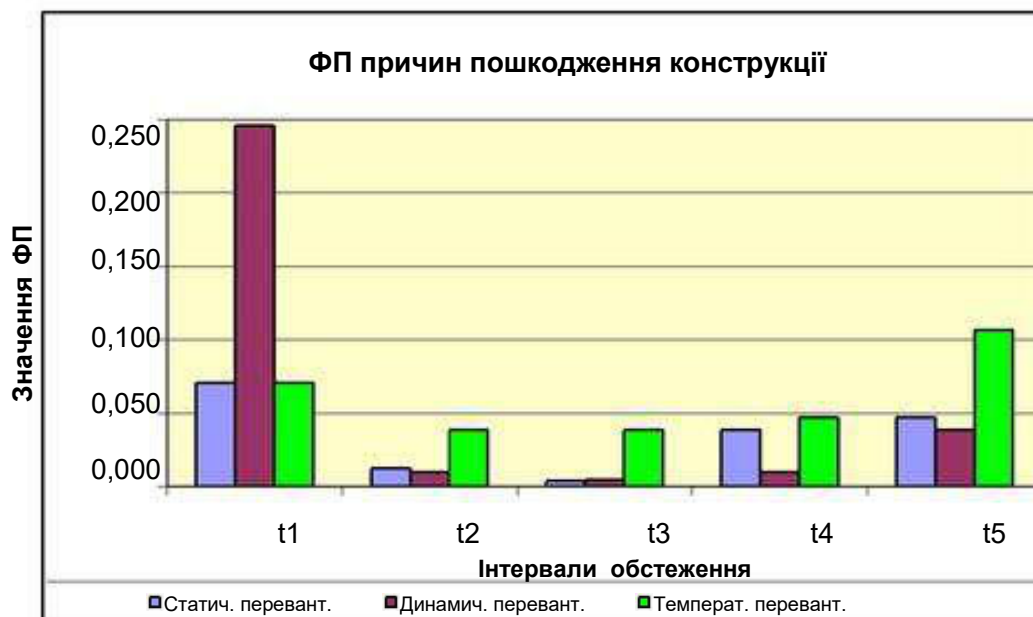


Рисунок 3.6 Значення ФП термів ЛЗ «Причина пошкодження конструкції»

Зверху: ФП причин пошкодження конструкції

Зліва: Значення ФП

Внизу: Інтервали між обстеженнями; статичне перевантаження; динамічне перевантаження; температурні деформації.

З графіків, наведених на рис. 3.6, випливає, що найбільш очікуваною причиною пошкодження конструкції в період t_1 є динамічні перевантаження, а в періоди t_2 , t_3 , t_4 і t_5 – температурні деформації конструкції, причому зі збільшенням часових інтервалів можливість цієї причини зростає.

Надалі пропонується розглянути систему побудови пропозицій отриманих на основі діагностичних висновків щодо корегування фізичних, технологічних та конструктивних параметрів будівельних конструкцій і чинників на етапі проектування (див. табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Конструктивно-технологічні параметри	Фізичні параметри, %	Загальні пропозиції, що отриманні на основі діагностичних висновків
Фундаменти		
Пошкодження існуючого вимощення по периметру будівлі; заростання травою	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт існуючого вимощення навколо будівлі
Тріщини штукатурного шару цоколю	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини штукатурки цоколю зашпарувати цементним розчином
Відпадиння штукатурного шару	0 – 25	Відновлення штукатурного шару

шару цоколю	26 – 50 51 – 75 76 – 100	цоколю в місцях пошкодження
Тріщини між вимощенням і стінами	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини між вимощенням і стінами зашпарувати цементним розчином
Відсутність вимощення по периметру будівлі	-	Відновлення вимощення по периметру будівлі
Просідання фундаменту внаслідок протікання їх основ	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	У випадку подальшого розвитку деформаційних процесів (просідання фундаментів) доцільно провести додаткове обстеження з інженерно – геологічних та інженерно – геофізичних вишукувань та виконати роботи з підсилення фундаментів по спеціально розробленому проекту

Стіни зовнішні

Тріщини захисного штукатурного шару зовнішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини штукатурки зовнішніх стін зашпарувати цементним розчином
Відпадиння захисного штукатурного шару зовнішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Відновлення штукатурного шару зовнішніх стін в місцях пошкодження
Пошкодження штукатурки зовнішніх стін (руйнування)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт штукатурного шару зовнішніх стін в місцях пошкодження
Наскрізні вертикальні, горизонтальні, ухильні тріщини зовнішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини зовнішніх стін зашпарувати цементним розчином. На тріщини стін встановити маяки і провести спостереження за динамікою їх розвитку. У випадку подальшого розвитку деформаційних процесів доцільно провести додаткове обстеження та виконати роботи з підсилення несучих конструкцій по спеціально розробленому проекту.
Тріщини зовнішніх стін по	0 – 25	Тріщини зовнішніх стін по фасадам

всім фасадам будівлі (головний, дворовий, лівий боковий, правий боковий фасади)	26 – 50 51 – 75 76 – 100	будівлі зашпарувати цементним розчином. На тріщини стін встановити маяки і провести спостереження за динамікою їх розвитку. У випадку подальшого розвитку деформаційних процесів доцільно провести додаткове обстеження та виконати роботи з підсилення несучих конструкцій по спеціально розробленому проекту
Сліди замокання зовнішніх стін, пошкодження побілки стін (лущення, утертість), пошкодження фарбувального шару стін (лущення, утертість)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Ліквідувати сліди замокання зовнішніх стін; виконати необхідний ремонт оздоблення стін в місцях пошкодження
Вивітрювання розчину із швів кладки зовнішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Відновлення цементного розчину в швах кладки зовнішніх стін
Тріщини бетонних зовнішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини бетонних зовнішніх стін зашпарувати цементним розчином
Відпадиння облицьовування керамічної плитки зовнішніх стін (тріщини плитки стін)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати відновлення обличкування плитки зовнішніх стін в місцях пошкодження
Пошкодження обшивки пластиковою вагонкою зовнішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт з частковою або повною заміною пластиковою вагонкою зовнішніх стін

Стіни внутрішні

Тріщини захисного штукатурного шару внутрішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини штукатурки внутрішніх стін зашпарувати цементним розчином
Відпадиння захисного штукатурного шару внутрішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Відновлення штукатурного шару внутрішніх стін в місцях пошкодження
Пошкодження штукатурки	0 – 25	Виконати ремонт штукатурного

внутрішніх стін (руйнування)	26 – 50 51 – 75 76 – 100	шару внутрішніх стін в місцях пошкодження
Наскрізні вертикальні, горизонтальні, ухильні тріщини внутрішніх стін. Тріщини внутрішніх стін. Тріщини в місцях стику внутрішніх стін, тріщини в місцях примикання стін та стелі	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини внутрішніх стін зашпарувати цементним розчином. На тріщини стін встановити маяки і провести спостереження за динамікою їх розвитку. У випадку подальшого розвитку деформаційних процесів доцільно провести додаткове обстеження та виконати роботи з підсилення несучих конструкцій по спеціально розробленому проекту
Сліди замокання внутрішніх стін, пошкодження побілки стін (луцення, утертість), пошкодження фарбувального шару стін (луцення, утертість)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Ліквідувати сліди замокання внутрішніх стін; ремонт оздоблення стін
Відпадання облицьовування керамічної плитки внутрішніх стін (тріщини плитки стін)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати відновлення облицьовування плитки внутрішніх стін в місцях пошкодження
Пошкодження обшивки пластиковою вагонкою внутрішніх стін	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт з частковою або повною заміною пластиковою вагонкою внутрішніх стін

Перекриття

Тріщини по стиках плит перекриття	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини по стиках плит перекриття зашпарувати цементним розчином
Вивітрювання розчину із стиків плит перекриття	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Відновлення цементного розчину в швах між плитами перекриття
Сліди замокання стелі (масові)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Ліквідувати сліди замокання стелі

Пошкодження побілки стелі (лущення, утертість, осипання)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт оздоблення стелі
Пошкодження фарбувального шару стелі (лущення, утертість)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт оздоблення стелі
Тріщини побілки стелі	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт оздоблення стелі
Пошкодження обшивки вагонкою стелі	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт з частковою або повною заміною пластиковою вагонкою стелі
В окремих місцях пошкодження обшивки стелі ДВП	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт обшивки ДВП стелі з частковою або повною заміною
Прогинання та пошкодження дерев'яних балок перекриття; розтріскування та розсихання балок перекриття	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати необхідний позачерговий ремонт дерев'яних балок перекриття; встановити тимчасове кріплення
Відпадання штукатурного шару стелі	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт захисного штукатурного шару стелі; відновлення штукатурки стелі в місцях пошкодження
Тріщини штукатурного шару стелі (волосяні)	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Тріщини штукатурки стелі зашпарувати цементним розчином
Пошкодження металоконструкцій, ржавчина	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт елементів металоконструкцій з частковою або повною заміною; відновлення пофарбування

Дах

Відсутність парапету даху	3	Виконати відновлення парапету даху
Тріщини дерев'яних фронтонів даху, розсихання	0 – 25 26 – 50 51 – 75	Провести ремонт дерев'яних фронтонів даху

	76 – 100	
Відсутність конькового елемента даху	2/3	Виконати відновлення конькового елемента даху
Відсутність зовнішнього водовідведення даху	2/3	Провести відновлення зовнішнього водовідведення даху

Покрівля

Загальне руйнування листів покрівельних матеріалів	51 – 75 76 – 100	Виконати повну заміну листів покрівельних матеріалів
Пошкодження рулонної руберойдної покрівлі	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт рулонної руберойдної покрівлі з частковою або повною заміною покрівлі
Старіння, протікання покрівлі	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт покрівлі
Старіння, пошкодження листів покрівельних матеріалів	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати необхідний ремонт листів покрівельних матеріалів з частковою або повною заміною листів покрівлі

Підлоги

Тріщини, вибоїни, сколи бетонної підлоги; нерівність підлоги	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт бетонної підлоги, відновлення горизонтальності підлоги
Тріщини та відпадання керамічної плитки підлоги, нерівність підлоги	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт плитки підлоги з частковою або повною заміною покриття, відновлення горизонтальності підлоги
Розриви лінолеумового покриття (масові) в місцях стику листів, утертість фарбувального шару підлоги в ходових місцях	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Виконати ремонт лінолеумового покриття підлоги з частковою або повною заміною
Пошкодження дерев'яної дощатої підлоги, щілини між дошками, пошкодження фарбувального шару підлоги	0 – 25 26 – 50 51 – 75 76 – 100	Провести ремонт дерев'яної дощатої підлоги з частковою або повною заміною підлоги, відновлення пофарбування
Відсутність в окремих місцях чистої підлоги	0 – 25 26 – 50	Відновлення чистої підлоги покриття

	51 – 75 76 – 100	
--	---------------------	--

На основі наведеного матеріалу можна зробити наступні висновки. Застосування апарату нечіткої логіки дає можливість створити модель ідентифікації причин виникнення дефектів будівельних конструкцій різного типу. Одним з основних елементів моделі є база нечітких знань для певних типів дефектів конструкцій будівель і споруд, при формуванні якої використовуються знання і досвід експертів. Дана модель дозволяє здійснити прогнозування появи пошкоджень споруд з тих чи інших причин.

Отримані прогнози дозволяють скоротити витрати на обстеження будівельних об'єктів і подальші експлуатаційні впливи на них.

Аналіз відомих робіт, присвячених обстеженням споруд, показав, що в розглянутих методах і моделях не повною мірою враховується невизначеність отримуваних фактичних даних про будівельні конструкції, зумовлена їх високою складністю і значною кількістю факторів, що спричиняють пошкодження. Виходом з такого положення є застосування знань і досвіду експертів сумісно з результатами інструментального та візуального контролю.

В розділі обґрунтовано актуальність розробки моделей ідентифікації та прогнозування стосовно причин виникнення пошкоджень будівельних конструкцій. Запропонований підхід дозволяє знизити рівень невизначеності при плануванні експлуатаційних впливів на споруди, а також створюються передумови автоматизації складної логічної обробки експериментальних і експертних даних. Критерієм відбору заходу і відповідних ресурсів, необхідних для конкретного обстеження, є кінцеве заключення (консеквент) логічного висновку щодо прогнозованих причин появи дефектів контрольованих споруд.

3.3 Оцінка ризиків несвоєчасного виявлення пошкоджень діагностики технічного стану будівель

Планові обстеження технічного стану будівельного об'єкта встановлює поточний рівень його експлуатаційної придатності і надає вихідні дані для здійснення ефективного догляду за об'єктом.

У перший раз технічне обстеження будівельних конструкцій споруд звичайно проводять не пізніше, ніж через два роки після їх введення в експлуатацію, а потім не менше одного разу на п'ять років, а при несприятливих умовах експлуатації - не менше одного разу на три роки.

Причинами для проведення технічного обстеження можуть служити: закінчення терміну експлуатації конструкцій споруди, виявлення різного роду дефектів і пошкоджень в ході технічного обслуговування, чи за результатами стихійних лих, аварій і пожеж.

При відсутності проявів зовнішніх пошкоджень своєчасне виявлення порушень технічного стану можливе тільки при проведенні відповідних вимірювальних робіт. Найбільш можливими причинами раптових пошкоджень є прояви геологічних небезпек: підтоплення території, розвиток карстових, карстово-суфозійних і суфозійних процесів, зсуви, ерозія ярів тощо.

Ідентифікація геологічних небезпек полягає у встановленні характерних особливостей, показників, умов, чинників і закономірностей розвитку усіх наявних проявів цих небезпек на території будівництва, включаючи визначення площ їх поширення, об'ємів охоплення геологічного середовища, генезису, віку, стадійності, інтенсивності, періодичності активізації і тривалості дії, розривних порушень, геологічних структур, геоморфологічних елементів і будівельних об'єктів.

Оскільки зовнішні прояви геологічних порушень не завжди можна виявити, то необхідно оцінити економічні ризики таких пропусків.

Ризик економічних втрат в результаті підтоплення конструкцій споруд R_n можна встановити з урахуванням часу негативної дії цієї небезпеки на оцінюваний об'єкт за формулою

$$R_n = P_n \cdot V_n \cdot B_o, \quad (3.39),$$

де $P_n = \frac{T_{nid}}{T_c}$ - вірогідність підтоплення за період строку служби; $T_{nid} = T_n$

- час можливого підтоплення (термін наступного обстеження); T_c - строк служби об'єкту (рік); V_n - економічна вразливість об'єкта до підтоплення, що визначається з табл. 3.4; B_o - вартість об'єкта до початку процесу.

Таблиця 3.5 Економічна вразливість споруд для підтоплення підземними водами за 1 рік

Фундаменти споруд	Потужність зони підтоплення в межах фундаменту/глибина залягання (товщина) фундаменту					
	<0,1	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 0,7	0,7 – 0,9	>0,9
Стовбчастий або пальовий	0,0035 - 0,0045	0,0065 - 0,0075	0,007 - 0,008	0,0075 - 0,0086	0,008 - 0,009	0,0085 - 0,0094
Стрічковий	0,003 - 0,0035	0,006 - 0,007	0,0065 - 0,0075	0,007 - 0,008	0,0076 - 0,0085	0,008 - 0,009
Плитний	0,002 - 0,0025	0,003 - 0,005	0,006 - 0,007	0,0065 - 0,0074	0,007 - 0,008	0,0075 - 0,0085

Примітка: В таблиці наведені середні та середньо максимальні значення економічної вразливості. При середній агресивності підземних вод (ДСТУ Б В.2.6-145:2010) до будівельних конструкцій вразливість зменшується на 20%, а при слабій агресивності на 30%.

Ризик від повільних осідань та підняття земної поверхні, пов'язаний з ущільненням, набряканням, здуттям і усадкою ґрунтів в основі споруд, можна визначати за формулою

$$R_o = P_o \cdot V_o \cdot B_o \cdot T_c, \quad (3.40),$$

де P_o - вірогідність деформації певної амплітуди в кінці строку служби споруди; V_o - економічна вразливість об'єкта до деформації, що визначається з табл. 3.5; T_c - строк служби об'єкту (рік); B_o - вартість об'єкта до початку процесу.

Таблиця 3.6 Економічна вразливість споруд для осідання ґрунту, що визначено ущільненням ґрунтів, розвитком карстових, карстово-суфозійних процесів

Споруди	Осідання, см	Площа осідання/Загальна площа фундаментів під несучими конструкціями					
		< 1	0,1 - 0,3	0,3 - 0,5	0,5 - 0,7	0,7 - 0,9	> 0,9
1	2	3	4	5	6	7	8
Каркасні	8 - 20	0,002 - 0,02	0,01 - 0,04	0,03 - 0,07	0,06 - 0,09	0,08 - 0,093	0,09 - 0,1
	20 - 50	0,01 - 0,07	0,05 - 0,17	0,15 - 0,34	0,30 - 0,42	0,36 - 0,45	0,40 - 0,50
	> 50	0,02 - 0,15	0,10 - 0,35	0,32 - 0,68	0,61 - 0,89	0,80 - 0,95	0,90 - 1,0
Безкаркасні армовані	10 - 20	0,02 - 0,015	0,01 - 0,035	0,03 - 0,065	0,06 - 0,085	0,08 - 0,09	0,092 - 0,1
	20 - 50	0,04 - 0,06	0,05 - 0,16	0,14 - 0,32	0,31 - 0,44	0,35 - 0,04	0,46 - 0,5
	> 50	0,02 - 0,15	0,10 - 0,35	0,30 - 0,65	0,62 - 0,85	0,82 - 0,94	0,92 - 1,0
Безкаркасні армовані	15 - 30	0,0004 - 0,003	0,002 - 0,007	0,065 - 0,012	0,01 - 0,015	0,015 - 0,03	0,02 - 0,05
	30 - 50	0,002 - 0,015	0,01 - 0,035	0,02 - 0,07	0,05 - 0,08	0,08 - 0,09	0,07 - 0,1
	> 50	0,004 - 0,03	0,02 - 0,07	0,05 - 0,13	0,12 - 0,16	0,16 - 0,18	0,15 - 0,2
Монолітні	30 - 50	0,0002 - 0,0015	0,001 - 0,004	0,002 - 0,006	0,005 - 0,008	0,007 - 0,009	0,001 - 0,01
	50 - 100	0,001 - 0,007	0,005 - 0,02	0,01 - 0,003	0,02 - 0,04	0,03 - 0,05	0,005 - 0,05
	> 100	0,002 - 0,015	0,01 - 0,04	0,02 - 0,06	0,05 - 0,08	0,07 - 0,09	0,01 - 0,1

Примітка: В таблиці наведені середні та середньо максимальні значення економічної вразливості.

Ризик від зменшення міцності конструкцій, пов'язаний з замоканням, вібраціями тощо, можна визначати по формулі

$$R_m = P_m \cdot V_m \cdot B_m \cdot T_c, \quad (3.41)$$

де P_m - вірогідність зменшення міцності конструкцій в кінці строку служби будівлі; V_o - економічна вразливість об'єкта до зменшення міцності; T_c - строк служби об'єкту (рік); B_o - вартість об'єкта до початку процесу.

4 ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ЗАСОБАМИ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

4.1 Теоретичне обґрунтування вирішення задачі прогнозування пошкоджень дефектів будівель на основі апарату штучних нейронних мереж

Однією із задач діагностики технічного стану будівель є побудова штучних нейронних мереж на рівні інформаційних технологій.

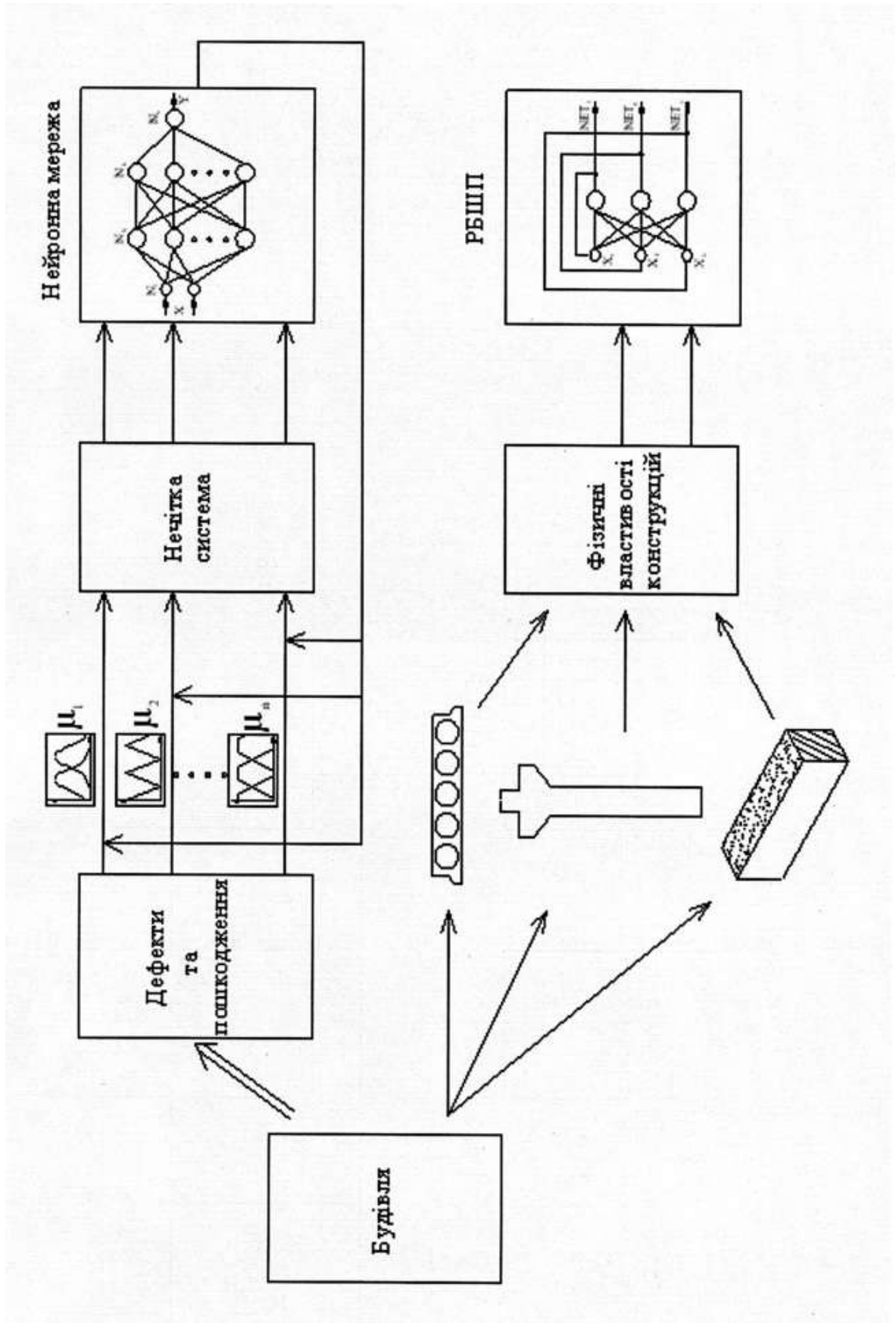
Нейронним мережам притаманні такі властивості, як: самоорганізація, здатність до навчання, узагальнення, імітування процесів та явищ, формування складних залежностей у просторі діагностичних ознак і в просторі класів, ефективність роботи з ознаками великої розмірності, що є непритаманним для традиційних методів розпізнання. Всі названі вище властивості та можливості нейронної мережі свідчать про доцільність їх застосування в задачі діагностування технічного стану будівель.

Тому, для побудови системи діагностики технічного стану будівель засобами штучних нейронних мереж необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз нейронних мереж системи діагностики технічного стану будівель.
2. Провести розробку системи діагностики технічного стану будівель засобами штучних нейронних мереж, що дозволить створити систему оцінки технічного стану будівель.

3. Провести аналіз та розробку задачі розпізнавання образів системи діагностики технічного стану будівель.

На рис 4.1 представлена схема використання інформаційних технологій при діагностиці технічного стану будівель на рівні нейронних мереж.



Задача прогнозування пошкоджень будівель відноситься до класу важко формалізованих задач. Для вирішення подібних завдань можна використовувати штучні нейронні мережі (ШНМ). Сучасна теорія ШНМ спирається на теорему Хехт-Нільсена, запропоновану в 1987 році, яка доводить розв'язок задачі представлення функції довільного виду на ШНМ і вказує для кожної задачі мінімальне число штучних нейронів [206].

Задача прогнозування пошкоджень будівель може бути сформульована як задача апроксимації функції багатьох змінних. Необхідно побудувати деяке відображення $H \rightarrow Y$ таке, щоб на кожен можливий вхідний образ, представлений вектором вхідних даних (H) формувалася правильний вихідний вектор прогнозу (Y).

Використання нейронних мереж (НМ) в якості апарату для встановлення залежності між вхідними даними і результатами прогнозу обумовлене здібностями мережі до паралельної і розподіленої обробки інформації, що дозволяє значно збільшити швидкість роботи алгоритму і підвищити ефективність прогнозування пошкоджень будівель.

Крім цього, застосування НМ забезпечує наступні корисні властивості:

1. Здатність до узагальнення. Під терміном узагальнення розуміється здатність НМ здійснювати прогноз на основі даних, які не зустрічаються в процесі навчання.

2. Нелінійність. НМ, що побудована із з'єднань нелінійних нейронів, є нелінійною. Нелінійність є надзвичайно важливою властивістю, оскільки вхідний сигнал, що подається в НМ, в разі встановлення прогнозних значень є нелінійним.

3. Відображення вхідної інформації у вихідну. Найбільш часто використовується для навчання НМ парадигма навчання з вчителем. Налаштування синаптичних ваг мережі відбувається на основі набору навчальних прикладів. Кожен приклад складається з параметрів вхідного сигналу і відповідного йому бажаного відгуку. З цієї множини випадковим

чином вибирається приклад, а НМ модифікує синаптичні ваги для мінімізації розбіжностей бажаного вихідного сигналу і формованого мережею відповідно до обраного статистичному критерію. Навчання проводиться доти, поки зміни синаптичних ваг не стануть незначними.

4. Адаптивність. НМ мають здатність адаптувати свої синаптичні ваги до змін вхідних сигналів. Зокрема, нейронні мережі, що навчені діяти з певними сигналами, можуть бути легко перевивчені для роботи в умовах незначних коливань параметрів.

5. Експлуатація навченої нейронної мережі не вимагає додаткової підготовки користувачів та їх високої кваліфікації.

Крім цього, нейромережовий метод моделювання не вимагає апріорного завдання виду досліджуваної залежності.

Процес створення ШНМ для вирішення задачі прогнозування пошкоджень будівель за даними вхідних вимірювань схематично показаний на рис. 4.2, який проходить в два основних етапи: визначення архітектури та навчання ШНМ. Вибрати тип ШНМ, задати її конкретну архітектуру - це визначити модель окремого елемента (нейрона), мережа зв'язків (топологію і ваги), число шарів в ШНМ та керуючу структуру (включаючи алгоритм навчання). Вибір структури ШНМ здійснюється відповідно до особливостей і складності завдання.

При синтезі нової конфігурації слід враховувати, що можливості ШНМ зростають із збільшенням числа нейронів, щільністю зв'язків між ними та числом шарів. Крім того, введення зворотніх зв'язків збільшує можливості ШНМ, проте впливає на її динамічну стійкість, а складність алгоритмів функціонування ШНМ і введення декількох типів синапсів сприяють посиленню її потужності.

Основними проблемами використання ШНМ є: великий час, що витрачається на вибір оптимальної ШНМ, результат навчання якої дає прийнятну помилку навчання, а результат функціонування - прийнятну

помилку узагальнення (прогнозу); можливість перенавчання ШНМ. Перенавчання - це надмірно точна підгонка, яка має місце при занадто тривалій роботі алгоритму навчання зі складною (для даної задачі або для наявного обсягу даних) структурою ШНМ. При цьому ШНМ з великим числом ваг моделюють більш складні функції, тому й схильні до перенавчання. Однак ШНМ з невеликим числом можуть виявитися недостатньо гнучкими, щоб змодельовати шукані залежності, що відображають необхідні для оцінки і прогнозування причинно-наслідкові зв'язки.

Вирішення проблеми перенавчання в основному і проковує виникнення проблеми витрат великої кількості часу на створення адекватної моделі досліджуваного процесу у вигляді ШНМ. При практичній роботі необхідно експериментувати з великим числом ШНМ різної архітектури, варіюючи числом шарів і нейронів в них, а також використовувати декілька методів навчання, проводячи сам процес навчання по декілька разів та порівнюючи отримані результати. При однаковій якості навчання та узагальнення вибирається ШНМ з простішою архітектурою. В даний час існують різні варіанти алгоритмів навчання для найкращого подолання зазначених проблем.

Зарубіжні та вітчизняні дослідження показали перспективність використання ШНМ для побудови інформаційних моделей при вирішенні багатьох прикладних задач. На рис. 4.3 представлені можливості та завдання, які вирішуються за допомогою ШНМ.

Таким чином, для вирішення завдання прогнозування пошкоджень дефектів будівель перспективним є метод нейронних мереж, хоча нейронні мережі знайшли широке застосування в різних завданнях і показали велику точність і ефективність порівняно з іншими застосовуваними методами. Залишається ще багато завдань, що вимагають пильної уваги, таких як створення і підбір нейронної мережі, навчання нейронної мережі, створення навчальної вибірки, при цьому використання однієї методики в одній з областей прогнозування може дати зовсім інші результати в іншій. Тому при

вирішенні нашого завдання необхідно вивчити і випробувати різні підходи, що стосуються роботи з нейронними мережами.

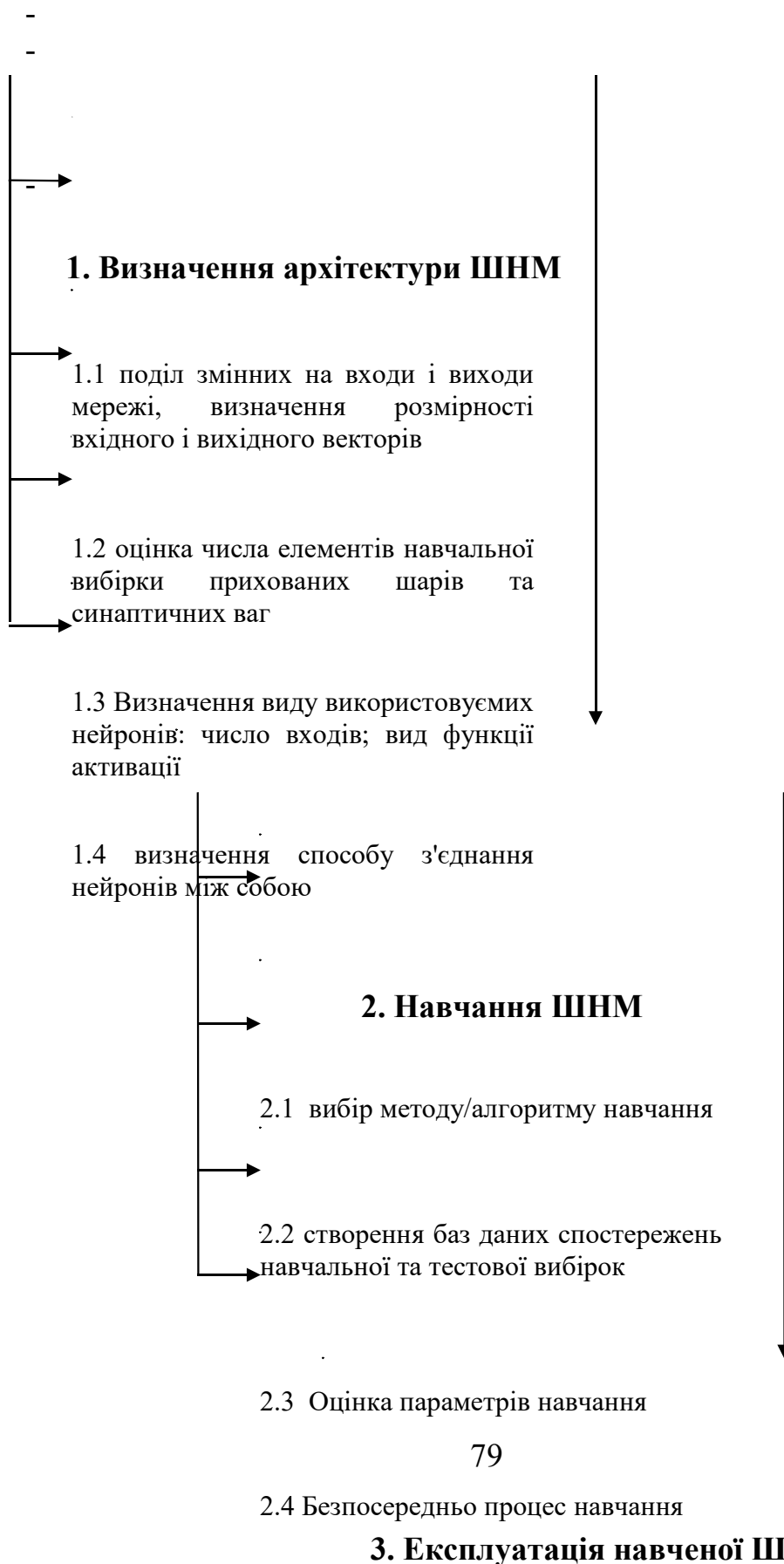


Рисунок 4.2 Схема реалізації основних етапів побудови ШНМ



Рисунок 4.3 Завдання, які вирішуються за допомогою ШНМ

Сучасні обчислювальні технології пропонують математичний апарат для моделювання проблем. Цей апарат включає методи ідентифікації об'єктів в умовах невизначеності, які засновані на теорії штучних нейронних мереж.

Граф функцій системи дослідження об'єктів представлений на рис. 4.4.

Систему легко уявити, якщо її функціональність представити у моделі «чорної скриньки», яка представлена на рис. 4.5 [25,38,67,70,81,128,138].

Оцінка технічного стану будівель

Рисунок 4.4 Граф функцій системи дослідження об'єктів

Порівняння об'єктів оцінки з об'єктами аналогами

Дані для оцінки технічного

Рисунок 4.5 Схеми «чорної скриньки» системи оцінки технічного стану

будівель на основі штучної нейронної мережі

Підбір об'єктів аналогів в БД
Дані про об'єкти дослідження об'єктів

Визначення характеристик об'єктів

Оцінка технічного стану будівель

4.2 Методи і алгоритми навчання нейронних мереж системи діагностики технічного стану будівель

Характерні особливості елементів будівель: фундаментів, плит перекриття, покрівлі, залізобетонні балки, несучі колона та колони

Введення даних про об'єкти, які були

Завдання вирішення задачі навчання нейронної мережі

Виведення результатів навчання

Технічний стан будівель

Нейронні мережі та мережі з вчителем

Навчання з вчителем припускає, що для кожного вхідного вектора існує цільовий вихід, який є необхідним вихід. Разом вони називаються навчальною парою. Зазвичай мережа навчається на деякій множині таких пар. Пред'являється вхідний вектор, обчислюється вихід мережі і порівнюється з відповідним цільовим вектором, різницю (помилка) за допомогою зворотнього зв'язку подається в мережу і ваги змінюються відповідно до алгоритму, що прагнуть мінімізувати помилку. Вектори навчальної множини пред'являються послідовно, обчислюються помилки і ваги підлаштовуються для кожного вектора доти, поки помилка по всьому навчальному масиву не досягне прийнятного низького рівня. Навчання без

вчителя не потребує цільового вектору для виходів і не вимагає порівняння з зумовленими ідеальними відповідями. Навчальна множина складається лише з вхідних векторів. Повчальний алгоритм підлаштовує ваги мережі так, щоб виходили узгоджені вихідні вектора, тобто, щоб пред'явлення досить близьких вхідних векторів давало однакові виходи. Процес навчання виділяє статистичні властивості навчальної множини і групує подібні вектора в класи. Але до навчання неможливо передбачити який вихід буде вироблятися даним класом вхідних векторів. Таким чином, мережі з навчанням без вчителя зручно використовувати для задач класифікації [206].

Існують різні методи для навчання нейронної мережі. Детермінований метод навчання крок за кроком здійснює процедуру корекції ваг мережі, засновану на використанні їх поточних значень, а також величин входів, фактичних виходів і бажаних виходів. Стохастичний метод навчання, що виконує псевдовипадкові зміни величин ваг, зберігаючи ті зміни, які ведуть до поліпшення результатів роботи мережі. Евристичні алгоритми навчання, до яких відноситься генетичний алгоритм пошуку, що моделює процеси природної еволюції і що дозволяє з безлічі рішень (популяцій) вибрати найкраще рішення. До детермінірованих методів відноситься алгоритм зворотнього поширення помилки, до стохастичних методів відноситься машина Больцмана і машина Коші.

Здатність до навчання є фундаментальною властивістю НМ, необхідним для побудови адаптивних активних засобів, засобів захисту телекомунікаційних систем. Процес навчання НМ може розглядатися як корекція зважених міжнейронних зв'язків мережі, що утворюють розподілене інформаційне поле НМ, відповідно до необхідної функціональної залежності вихідного вектора від значень вхідного вектора НМ. Корекції підлягають ваги зважених зв'язків.

Налаштування синаптичних ваг в тришаровій мережі здійснюється на основі безлічі навчальних прикладів. В якості надійного алгоритму навчання мережі визначимо алгоритм зворотнього поширення помилки. Навчання мережі

являє собою оптимізаційну задачу настройки синаптичних ваг таким чином, щоб мінімізувати квадрат помилки між виходом мережі y і необхідним значенням d .

До неградієнтним методам навчання відноситься метод Нелдера-Мілда, заснований на побудові симплексів. Даний метод істотно збільшує час навчання через необхідність розрахунку симплекса в просторі невідомих, що сягають за кількістю сотень тисяч для нашого випадку.

Метод випадкового пошуку, заснований на тому, що випадковий вектор замість градієнта робить крок з певною вагою h в напрямку даного вектора, якщо поточна помилка зменшилася, то вага збільшується і робиться новий крок. Якщо помилка збільшилася, то на основі попередніх двох помилок, поточної і значень кроків, будується парабола, наступний крок робиться в напрямку вершини параболи, також при збільшенні помилки може змінюватися значення вектора на малу випадкову величину. Значна частина часу обчислень витрачається на розрахунок помилки навчання.

Для навчання ШНМ виду багатошаровий персептрон найбільш придатними є градієнтні алгоритми навчання, побудовані на основі локальної оптимізації цільової функції помилки з обчисленням приватних похідних (першого і другого порядку). Класичним алгоритмом навчання багатошарової ШНМ є алгоритм зворотнього поширення помилки (його модифікації), в якому поширення сигналів помилки походить від виходів нейронної мережі до її входів (в напрямку, зворотньому прямому поширенню сигналів у звичайному режимі роботи). Даний алгоритм має солідне математичне обґрунтування.

Класичний алгоритм зворотнього поширення - це ітераційний градієнтний алгоритм навчання, який використовується з метою мінімізації середньоквадратичного відхилення поточних від необхідних виходів багатошарових ШНМ з послідовними зв'язками. Алгоритм зворотнього поширення помилки визначає стратегію підбору ваг багатошарової мережі із застосуванням градієнтних методів оптимізації. Його основу складає цільова

функція, що формулюється у вигляді квадратичної суми різниць між фактичними і очікуваними значеннями вихідних сигналів. У разі одиничної навчальної вибірки (x, d) цільова функція визначається у вигляді:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (y_k - d_k)^2. \quad (4.3)$$

При більшій кількості навчальних вибірок j ($j=1, 2, \dots, z$) цільова функція перетворюється в суму по всіх вибірках: . (4.4)

Уточнення ваг може проводитися після пред'явлення кожної навчальної вибірки, або одноразово після пред'явлення всіх навчальних вибірок, що складає цикл навчання. В подальшому використовується цільова функція виду (4.3), яка відповідає актуалізації ваг після пред'явлення кожної вибірки.

Для спрощення можна вважати, що мета навчання полягає в такому визначенні значень ваг нейронів кожного шару мережі, щоб при заданому вхідному векторі отримати на виході значення сигналів, що збігаються із необхідною точністю з очікуваними значеннями d_i при $i = 1, 2, \dots, M$. Навчання мережі з використанням алгоритму зворотнього поширення помилки проводиться в кілька етапів. На першому з них пред'являється навчальна вибірка x : і розраховуються значення сигналів відповідних нейронів мережі.

При заданому векторі x визначаються спочатку значення вихідних сигналів u_i прихованого шару, а потім значення y_i , нейронів вихідного шару. Після отримання значень вихідних сигналів y_i стає можливим розрахувати фактичне значення цільової функції $E(w)$, заданої виразом (4.3). На другому етапі мінімізується значення цієї функції. Спрощена структура алгоритму зворотнього поширення помилки представлена на рис. 4.6.

Якщо прийняти, що цільова функція безперервна, то найбільш ефективними способами навчання виявляються градієнтні методи оптимізації, згідно з якими уточнення вектора ваг (навчання) проводиться за формулою:

$$w(k + 1) = w(k) + \Delta w, \quad (4.5)$$

$$\text{де} \quad \Delta w = \eta * p(w), \quad (4.6)$$

η -коефіцієнт навчання;

$p(w)$ – напрям в багатовимірному просторі w .

Навчання багат шарової мережі із застосуванням градієнтних методів вимагає визначення вектора градієнта щодо ваг всіх верств мережі, що необхідно для правильного вибору напрямку $p(w)$. Ця задача має очевидне рішення тільки для ваг вихідного шару. Для інших верств створена спеціальна стратегія, яка в теорії штучних нейронних мереж називається алгоритмом зворотнього поширення помилки, які ототожнюються із процедурою навчання мережі. Відповідно до цього алгоритма в кожному циклі навчання виділяються наступні етапи:

1. Аналіз нейронної мережі в прямому напрямку передачі інформації при генерації вхідних сигналів, складових черговий вектор x .

В результаті такого аналізу розраховуються значення вихідних сигналів нейронів прихованих шарів та вихідного шару, а також відповідні похідні $\frac{dF(u^{(1)})}{du^{(1)}}, \frac{dF(u^{(2)})}{du^{(2)}}, \dots, \frac{dF(u^{(m)})}{du^{(m)}}$, функції активації кожного шару (m - кількість шарів мережі).



Рисунок 4.6 Спрощена структура алгоритму зворотнього поширення помилки підкорегувати послідовно ваги мережі спочатку між вихідним та прихованих шарів, потім між прихованим і вхідним

2. Створення мережі зворотнього поширення помилок шляхом зміни напрямків передачі сигналів, заміна функцій активації їх похідними і подача на колишній вихід мережі збудження у вигляді різниці між фактичним і очікуваним значенням. Для визначеної мережі необхідно розрахувати значення необхідних зворотніх різниць.

3. Уточнення ваг (навчання мережі) проводиться за запропонованими вище формулами на основі результатів, отриманих в кроках 1 і 2, для оригінальної мережі і для мережі зворотнього поширення помилки.

4. Описаний на кроці 1, 2 і 3 процеси слід повторити для всіх навчальних вибірок, продовжуючи його аж до виконання умови зупинки алгоритму. Дія алгоритму завершується в момент, коли норма градієнта впаде нижче заданого значення (помилки навчання), який характеризує точність процесу навчання.

Кількість вхідних вузлів позначимо літерою N , кількість нейронів в прихованому шарі K , а кількість нейронів у вихідному шарі M . Будемо використовувати сигмоїдальну функцію активації цих нейронів. Основу алгоритму становить розрахунок значення цільової функції як квадратичної суми різниць між фактичними і очікуваними значеннями вихідних сигналів мережі. У разі одиничної навчальної вибірки (x, d) цільова функція задається формулою (4.3), а для безлічі навчальних вибірок j ($j = 1, 2, \dots, z$) – формулою (4.4). Будемо використовувати цільову функцію виду (4.3), яка дозволяє уточнювати ваги після пред'явлення кожної навчальної вибірки. З урахуванням позначень функція визначається виразом:

$$\frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \left(F \left(\sum_{i=0}^K w_{ki}^{(2)} u_i \right) - d_k \right)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \left(F \left(\sum_{i=0}^K w_{ki}^{(2)} F \left(\sum_{j=0}^N w_{ij}^{(1)} x_j \right) \right) - d_k \right)^2. \quad (4.7)$$

Конкретні компоненти градієнта розраховуються шляхом диференціюванням залежності (4.7). В першу чергу підбираються ваги нейронів вихідного шару. Для вихідних ваг маємо:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(2)}} (y_i - d_i) \frac{dF(v_i^{(2)})}{dv_i^{(2)}} u_j, \quad (4.8)$$

де $v_i^{(2)} = \sum_{j=0}^k w_{ij}^{(2)} u_j$.

Введемо позначення $\delta_i^{(2)} = (y_i - d_i) \frac{dF(v_i^{(2)})}{dv_i^{(2)}}$, то відповідний компонент градієнта щодо ваг ФН вихідного шару можна представити у вигляді:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(2)}} = \delta_i^{(2)} u_j. \quad (4.9)$$

Компоненти градієнта щодо нейронів прихованого шару визначаються за тим же принципом, однак вони описуються іншою складнішою залежністю, наступною з існування функції, заданої у вигляді:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(1)}} = \sum_{k=1}^M (y_k - d_k) \frac{dy_k}{du_i} \frac{du_i}{dw_{ij}^{(1)}}. \quad (4.10)$$

Після конкретизації окремих складових цього виразу отримуємо:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(1)}} = \sum_{k=1}^M (y_k - d_k) \frac{dF(v_k^{(2)})}{dv_k^{(2)}} w_{ki}^{(2)} \frac{dF(v_k^{(1)})}{dv_k^{(1)}} x_j. \quad (4.11)$$

Введемо позначення

$$\delta_i^{(1)} = \sum_{k=1}^M (y_k - d_k) \frac{dF(v_k^{(2)})}{dv_k^{(2)}} w_{ki}^{(2)} \frac{dF(v_k^{(1)})}{dv_k^{(1)}}, \quad (4.12)$$

тоді отримаємо вираз, що визначає компоненти градієнта щодо ваг нейронів прихованого шару у вигляді:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(1)}} = \delta_i^{(1)} x_j. \quad (4.13)$$

В обох випадках (формули 4.9-4.13) опис градієнта має аналогічну структуру і представляється позначенням двох сигналів: перший відповідає початковому вузлу даного зваженого зв'язку, а другий - величині похибки, перенесеної на вузол, з яким цей зв'язок встановлено. Визначення вектора

градієнта дуже важливо для подальшого процесу уточнення ваг. У класичному алгоритмі зворотнього поширення помилки фактор $p(w)$, що враховується в вираженні (4.5), задає напрям негативного градієнта, тому:

$$\Delta w = -\eta \cdot p(w) . \quad (4.14)$$

Таким чином, алгоритм навчання складається з наступних кроків:

1. Вибрати черговий вектор з навчальної множини і подати його на вхід мережі.
2. Обчислити вихід мережі u .
3. Обчислити різницю між виходом мережі і необхідним значенням для поданої навчальної множини.
4. Якщо була допущена помилка при обробці обраного вектора, то підкоригувати послідовно ваги мережі спочатку між вихідним і прихованим шарами, потім між прихованим і вхідним.
5. Повторювати кроки з 1 по 4 для кожного вектора навчальної множини доти, поки помилка на всій безлічі не досягне прийняттого рівня.

4.3 Побудова алгоритму вирішення задачі прогнозування пошкоджень дефектів будівель на основі нейромережевого апарату

На рис. 4.7 представлений алгоритм побудови математичної моделі у вигляді навченої і перевіреної ШНМ, необхідної для функціонування в програмному комплексі підсистеми рішення задачі прогнозування. Цей алгоритм відображає запропонований метод розв'язання задачі прогнозування пошкоджень дефектів будівель, шляхом побудови функціональної залежності між даними вимірів та прогнозними значеннями на основі *нейромережевого підходу* [206].

На кроці 1 в представленому алгоритмі проводиться вибір параметрів (вхідних і вихідних) математичної моделі, планування експериментів та збір необхідної інформації.

В результаті створюється спеціалізована база даних спостережень, на основі якої на кроці 2 здійснюється нормування вхідних даних і передпідготовки їх для подальшого використання.

На кроці 3 формуються навчальна і тестова вибірки з $N_{об}$ та $N_{тест}$ числом прикладів і необхідних відповідей. Вони використовуються для подальшого навчання ШНМ з оцінкою помилки її навчання $E_{об}$ і для оцінки можливостей побудованої та навченої ШНМ по помилці узагальнення $E_{пр}$.

Попередньо визначається топологія ШНМ з прямою передачею сигналу і зворотнім поширенням помилки великою кількістю (граничним згідно з розрахунками) проміжних нейронів і реалізується наступний цикл з n кроків ($n = 1, \dots, N$):

- послідовно вибирається $(N-1)$ параметрів із N , включених в математичну модель, які вважаються відомими (з навчальної вибірки), а залишився параметр вважається невідомим;

- для кожного n -ого прикладу проводиться навчання ШНМ і визначається $E_{об.n}$ як відсоток середнього квадрата помилки.

Якщо зазначена помилка мала (до 10%) на всій області значень параметрів, тобто для всіх N тестованих прикладів, тоді мається збіжність нейромережевої апроксимації і діагностується коректність отриманого рішення. В цьому випадку слід перейти до реалізації кроків 6.1 - 6.3 (рис. 4.15) для побудови адекватної нейромережевої моделі. При цьому на кроці 6.1 визначається архітектура ШНМ: число прихованих шарів та синаптичних вагів, тобто нейронів; вид використовуваних нейронів (число входів і функція активації); спосіб з'єднання нейронів між собою.

5. Формування навчальної та тестової вибірок

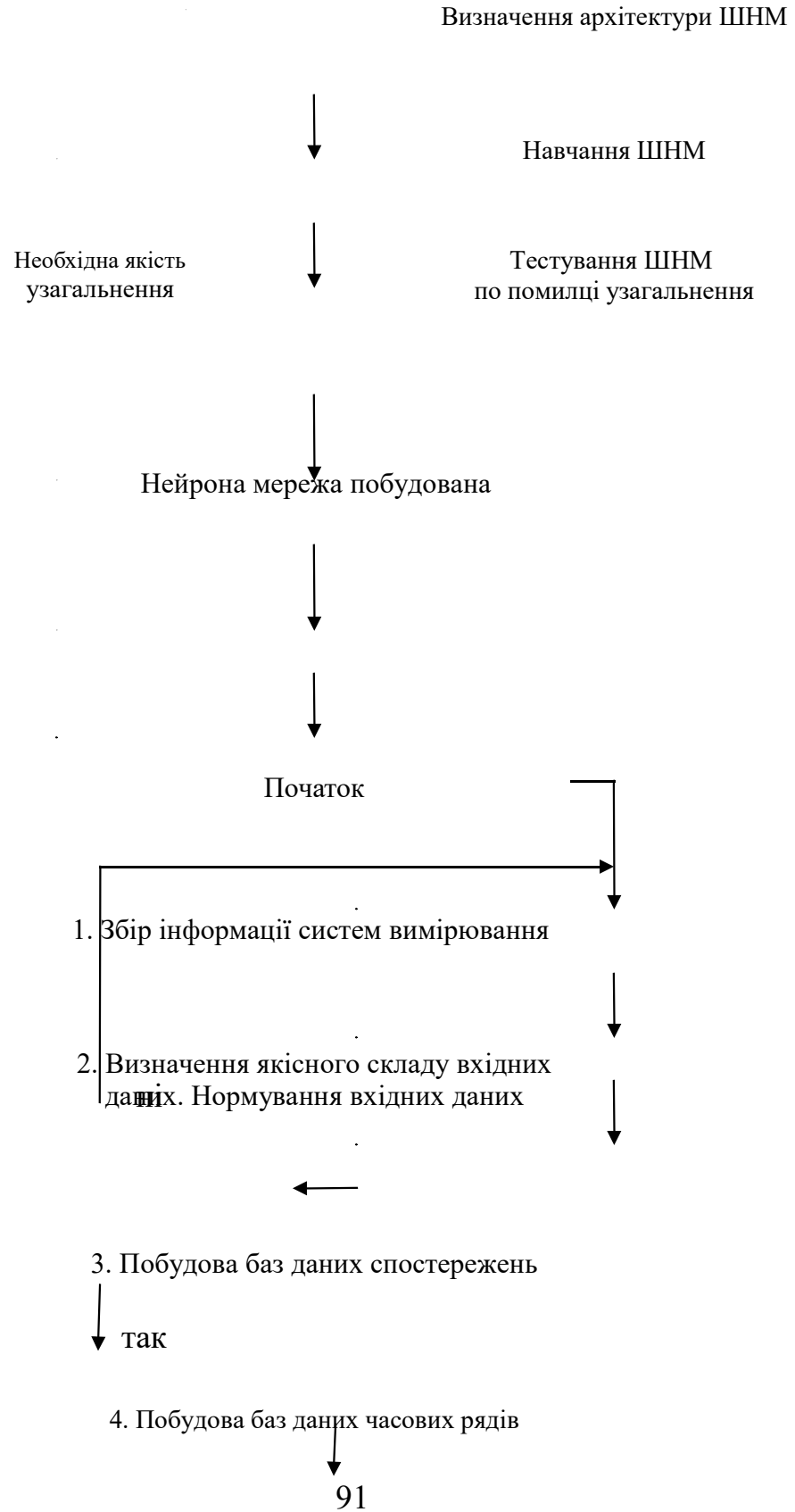


Рисунок 4.7 Блок-схема алгоритму розв'язання задачі автоматизованого визначення кількісного складу на основі нейромережевого підходу

На кроці 6.2 вибирається метод навчання ШНМ і проводиться безпосередньо процес навчання.

На кроці 6.3 відбувається вивчення помилки узагальнення $E_{пр}$ побудованої і навченої ШНМ, виходячи з апріорних теоретичних міркувань про її складності або на основі прямих обчислень з використанням спеціально відібраної на кроці 2 групи даних (тестової вибірки).

При недостатній якості узагальнення необхідно повернутися до кроку 6.1. Тут можна спробувати зменшити число нейронів в прихованих шарах ШНМ і застосувати алгоритми видалення найменш незначущих зв'язків, а також принципово змінити архітектуру ШНМ або вибрати інший алгоритм її навчання.

Кінець

При отриманні на кроці 6.3 неприйнятно великої помилки навчання (більше 10%) діагностується недостатня точність рішення задачі.

Якщо задана дослідником ступінь точності буде досягнута, то для отримання адекватної математичної моделі у вигляді навченої ШНМ з хорошими здібностями в області вирішення задачі також реалізуються кроки 6.1-6.3.

У тому випадку, якщо не вдалося досягти заданої ступеня точності, слід розглянути можливість отримання додаткових даних, зміни кількісного та/або якісного складу параметрів математичної моделі. В результаті відбудеться зміна та/або доповнення бази даних спостережень і навчальної та тестової вибірок. Таким чином, будуть повторно реалізовані кроки 1-5.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

5.1 Архітектура інформаційної системи тестування нейронної мережі

Для автоматизації процесів оціночної діяльності від збору інформації до прийняття рішення необхідна складна система збереження, підготовки, обробки даних. Архітектури інформаційної системи тестування нейронної мережі представлена на рис. 5.1.

Рисунок 5.1 Архітектура інформаційної нейроно-мережевої системи тестування

Система передбачає наявність підсистеми збору статистичної інформації, обробки і розподілення даних для штучної нейронної мережі, ядро нейромережевого апроксиматора та додатки експертів-оцінювачів для управління. СУБД інформаційної системи має клієнт-серверну архітектуру для забезпечення роботи декількох експертів одночасно, представлено на рис. 5.2.

Рисунок 5.2 Клієнт-серверна архітектура підсистеми збору інформації

Клієнтські додатки експертів

Підсистема підготовки даних для тестування штучної нейронної мережі

5.2 Підсистема підготовки інформації тестування нейронної мережі

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

Запити до
Експертів
навченої мережі

Підсистема навчання та управління штучною нейронною мережею та управління запитами

База даних

Вся схема роботи підсистеми підготовки інформації щодо тестування нейронної мережі зображена на рис. 5.3.

Рисунок 5.3 Підсистема підготовки інформації щодо тестування нейронної мережі

Після отримання результатів запити дані надходять до модулю, що визначає типи атрибутів та їх варіанти даних. Потім дані, що мають числовий тип відокремлюються від даних, що мають текстовий тип. Оскільки мережа не може сприймати дані як текстовий тип, пропонується деталізувати таблицю нечислових даних, тобто кожен варіант представити як атрибут, що має значення тільки «0» або «1».

Дані що є числово вираженими теж потребують обробки. Так як на вхід сигмоноїдального нейрона подаються сигнали тільки в межах від 0 до 1, то значення таких параметрів як площа, ціна необхідно перемаштабувати.

Приклад зведення значень таких факторів зображений на рис. 5.4.

Перед обробкою

	S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPV	F_TP	F_CT	P_PV	P_PSH	P_PFP
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	0.05	1	0.05	0.05	0.05	1	0.05	0.05	0.05
0.1	0.1	1.5	0.1	0.1	0.1	1.5	0.1	0.1	0.1
0.125	0.125	1.9	0.125	0.125	0.125	1.9	0.125	0.125	0.125
0.135	0.135	2	0.135	0.135	0.135	2	0.135	0.135	0.135

Після обробки

	S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPV	F_TP	F_CT	P_PV	P_PSH	P_PFP
0	0	0	0	0	0	0	0	0.016349152542...	0
0.001666666666...	0.01	0.01001123470...	0.0005	0.0005	0.001666666666...	0.01001123470...	0	0.000025	0.000025
0.000033333333...	0.02	0.016666305704...	0.001	0.001	0.000033333333...	0.016666305704...	0.016349152542...	0.00125	0.00125
0.004166666666...	0.025	0.020022246941...	0.00125	0.00125	0.004166666666...	0.020022246941...	0.020423728813...	0.001525	0.001525
0.008333333333...	0.033333333333...	0.021134001001...	0.0015	0.0015	0.008333333333...	0.021134001001...	0.020423728813...	0.00175	0.00175

-

Рисунок 5.4 Приклад зведення числових значень в діапазон від 0 до 1

5.3 Модель тестування нейронної мережі

Задача апроксимації функцій штучною нейронною мережею складність яких завідома невідома, потребує прикладного програмного забезпечення з широкими можливостями конфігурації. Для цього була розроблена об'єктно-орієнтована модель мережі, що дозволяє легко управляти її параметрами (кількістю прошарків, нейронів в прошарках). Модель дозволяє слідкувати за кожним нейроном окремо і в разі необхідності змінювати його конфігурацію (тип функції активації, швидкість навчання, вхідні сигнали та зв'язки з іншими нейронами). Модель мережі зображено на рис. 5.5.

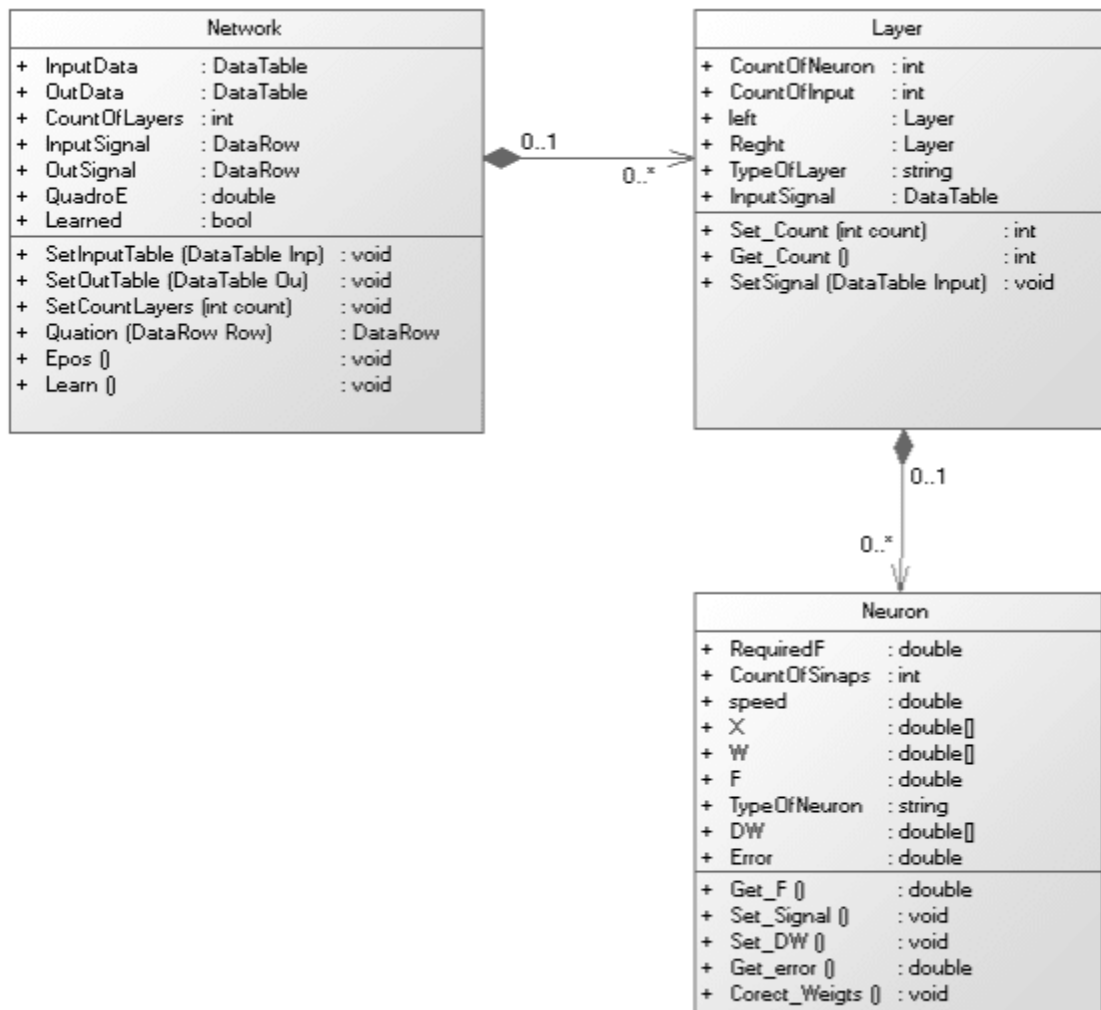


Рисунок 5.5 Діаграма класів реалізації нейронної мережі

Модель складається з трьох класів: нейрон, прошарок, мережа. Розглянемо детально кожен клас, його атрибути і методи.

Клас Neuron – моделює стан та поведінку штучного нейрона.

Властивості класу Neuron:

`public double requiredF` – має значення потрібного вихідного сигналу на виході нейрона;

`public int countOfSinaps` – кількість синапсів (вхідних сигналів). Якщо це прихований шар, кількість вхідних сигналів дорівнює кількості нейронів попереднього шару;

`public double speed` – швидкість навчання. Параметр визначає величину зміни приросту при корекції вагових коефіцієнтів;

`public double[] x` – вектор вхідного сигналу;

`public double[] w` – вектор вагових коефіцієнтів;

`public double f` – значення дійсного виходу;

`public string typeOfNeuron` – параметр визначає тип нейрона в залежності від його позиції в мережі (вхідний сигмоїдальний, прихований, вхідний «1 з N», вихідний);

`public double[] dw` – вектор приросту для наступної ітерації навчання;

`public double error` – величина похибки.

Методи класу `Neuron`:

`public double GetF()` – функція, що повертає значення виходу нейрона при поточному значенні вхідного сигналу;

`public void SetSignal()` – процедура активації синапсів (визначення вхідного сигналу);

`public void SetDw()` – процедура підрахунку вектора `dw`;

`public double GetError()` – функція визначення похибки;

`public void CorectWeigts()` – процедура налаштування вагових коефіцієнтів нейрона при поточній помилці.

Клас `Layer` – моделює стан та поведінку прошарку нейронів. Має в собі 1 або більше об'єктів класу `Neuron`.

Властивості класу `Layer`:

`public int countOfNeuron` – зберігає в собі інформацію про кількість нейронів у шарі.

`public int countOfInput` – кількість вхідних сигналів, що приймає прошарок. Це значення дорівнює кількості нейронів попереднього шару або кількості сенсорів, якщо це перший прошарок.

`public Layer left` – вказівник на попередній (лівий) прошарок, якщо поточний об’єкт це перший прошарок то вказівник вказує на пустий об’єкт.

`public Layer right` – вказівник на наступний (правий) прошарок, якщо поточний об’єкт – вихідний прошарок то вказівник вказує на пустий об’єкт.

`public string typeOfLayer` – тип прошарку, може приймати значення трьох типів: «input», «output», «hidden», вхідний, вихідний і прихований, відповідно.

`public DataTable inputSignal` – таблиця вхідних сигналів. Тільки для вхідного прошарку.

Методи класу `Layer`:

`public int SetCount(int count)` – встановлює кількість нейронів в шарі.

`public int GetCount()` – повертає кількість нейронів в поточному шарі.

`public void SetSignal(DataTable input)` – ініціалізує вхідний сигнал.

Для кожного синапса встановлює значення відповідне до поточного рядку таблиці сигналів.

Клас `Network`– моделює стан та поведінку прошарку нейронів.

Включає в себе 1 або більше об’єктів класу `Layer`.

Властивості класу `Network`:

`public DataTable inputData` – основна таблиця вхідних сигналів в мережу.

Вміщує в собі дані про с конвертовані значення факторів.

`public DataTable outData` – основна таблиця потрібних вихідних сигналів.

Кількість така ж як і в таблиці `inputData`.

`public int countOfLayers` – несе в собі інформацію про кількість шарів, включаючи приховані, вхідний та вихідний прошарки.

`public DataRow inputSignal` – поточний сигнал для навчання мережі. Дорівнює рядку таблиці `inputData`, що має номер, який відповідає поточному значенню ітерації в епосі навчання.

`public DataRow outSignal` - поточний вихідний сигнал для навчання мережі. Дорівнює рядку таблиці `outData`, що має номер, який відповідає поточному значенню ітерації в епосі навчання.

`public double quadroE` – загальна квадратична похибка минулої епохи навчання.

`public bool learned` – має істинне значення, якщо середня квадратична похибка в межах допустимої.

Методи класу `Network`:

`public void SetInputTable(DataTable inp)` – завантажує таблицю вхідних сигналів. Та конвертує її в матрицю вхідних сигналів.

`public void SetOutTable(DataTable ou)` - завантажує таблицю вихідних сигналів. Та конвертує її в матрицю вихідних сигналів.

`public void SetCountLayers(int count)` – встановлює кількість прошарків мережі, включаючи прихований, вихідний та вхідний.

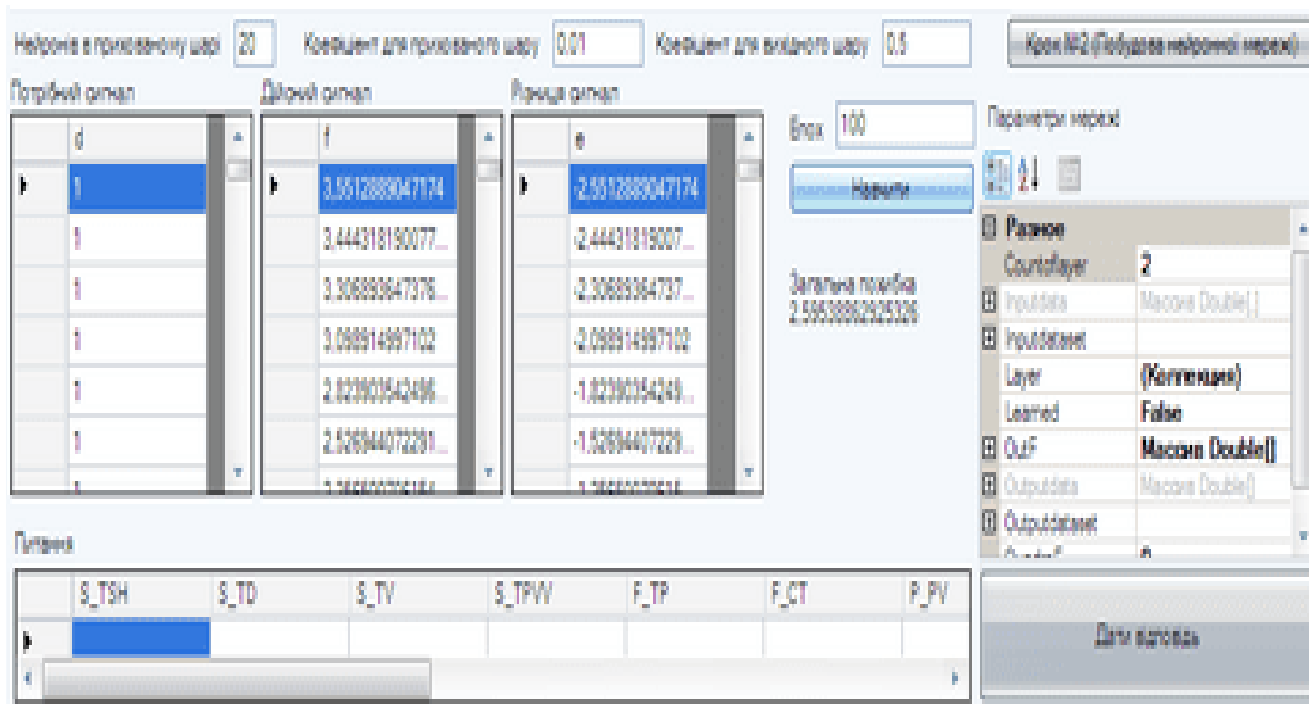
`public DataRow Quation(DataRow row)` – основний метод реалізуючи запитання до навченої мережі. Повертає рядок зі значеннями вихідного сигналу при вхідному сигналі, що є вхідним параметром `row`.

`public void Epos()` – навчає мережу періодом в одну епоху.

`public void Learn()` – навчає мережу доки значення загальної квадратичної похибки не лежатиме в межах допустимої.

Застосування об'єктно-орієнтованого підходу в проектуванні системи оцінки дозволило реалізувати прикладне застосування з широкими можливостями управління штучною нейронною мережею в реальному часі.

Інтерфейс управління і конфігурування штучною нейронною мережею. Користувач (експерт-оцінювач, дослідник) повинен мати можливість підбору аналогів з бази даних та інтерфейс, через який можна налаштовувати нейронну мережу для навчання. Інтерфейс включає в себе можливість управління запитаними до нейронної мережі в будь який період навчання. На рис. 5.6 зображено основне вікно спостереження за мережею та її управління.



Дані якості навчання

Вікно управління

Рисунок 5.6 Інтерфейс управління і спостереження
за штучною нейронною мережею

Інструментами управління і налаштуванням мережі є діалогові вікна для управління прошарками над нейронами в прошарках, а також відкритими для редагування властивостями. Вікно редагування властивостей прошарку зображено на рис. 5.7. Аналогічним є інструмент редагування властивостей штучних нейронів зображено на рис. 5.8.

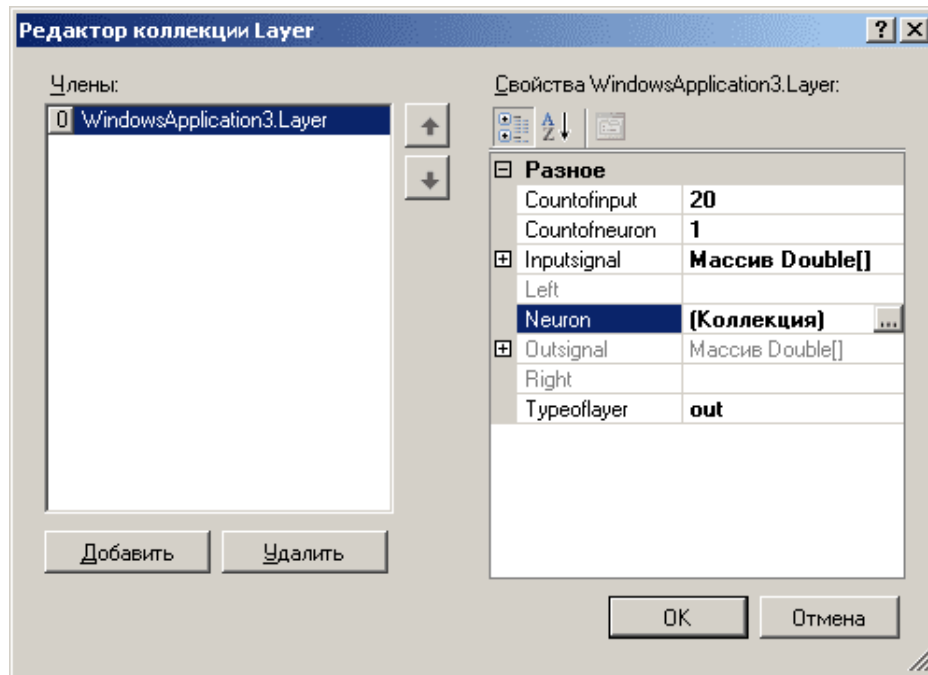


Рис. 5.7 Редактор прошарків

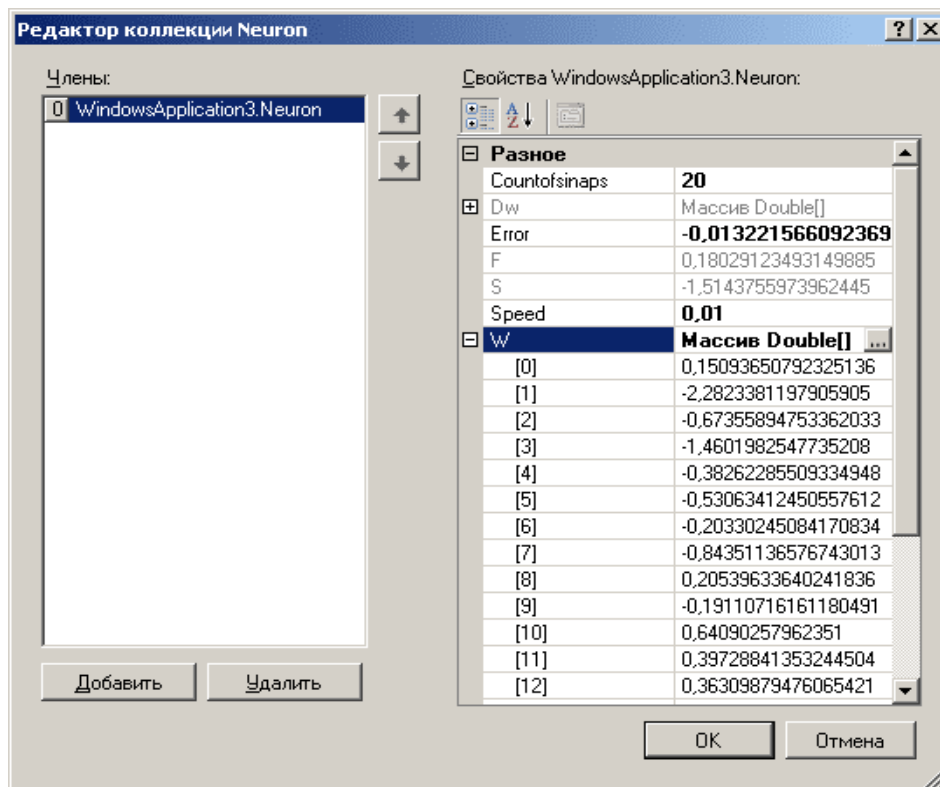


Рисунок 5.8 Редактор штучних нейронов

5.4 Модулі програмного забезпечення тестування нейронної мережі

Програмне забезпечення передбачає модульну структуру для підтримки можливості інтеграції окремих частин з іншими додатками. Також модульна структура полегшує подальше вдосконалення окремих частин без залежностей від інших. Схема модулів програмного забезпечення зображена на рис. 5.9.

Рисунок 5.9 Модулі програмного забезпечення нейронної мережі
 NeuralNetwork – модуль реалізації штучної мережі. Містить в собі опис метаданих класу Network.

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

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

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

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

Рисунок 5.10 Даталогічна модель бази даних інформаційної системи

5.5 План проведення експериментального дослідження тестування нейронної мережі

На рис. 5.11 представлений план проведення експериментального дослідження щодо тестування нейронної мережі.

Генерування робочої
вибірки

Нормування
вибірки

Визначення коефіцієнтів
нейронної мережі

Рисунок 5.11 План експериментального дослідження щодо тестування мережі

Для тестування мережі використовувались свіжі статистичні дані, що зібрані з доступних інтернет-ресурсів. Для навчання штучної нейронної мережі вибірка становила 220 прикладів, з яких 20 було використано для тестування мережі, а 200 – для навчання. Вибірка для тестування мережі не входила в набір даних, що корегують синапатичні коефіцієнти. Тому саме вона і була основним показником ефективності. Вибірка для навчання формувалася за допомогою критеріїв які описані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 Вхідні дані нейромережі

Назва елемента будівлі	Назва пошкодженнь	Стани			
		нормальний	задовільний	непридатний	аварійний
Стіна	St_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,125	0,125...0,25	0,25...1	1...3
	St_t^d – довжина тріщин	0...0,2	0,2...0,3	0,3...1	1...5
	St_t^v – вид тріщин	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90
	St_{pvv} – перевищення допустимого відхилення від вертикалі	похибка 0...1,5	1,5...3	Оцінка результатів 3...10	10...100
Фундамент	F_{tp} – тріщини в плитній частині	0...0,5	0,5...1	1...5	5...100
	F_c^t – тріщини цокольної частини	0...0,25	0,25...0,5	0,5...5	5...30
	Pp_t^v – вид	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90

Плити перекриття	тріщин				
	Pp_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,15	0,15...0,3	0,3...1	1...3
	Pp_{pp} – прогин плит	0...2,5	2,5...0,5	5...30	30...80
Залізобетонні колони	K_t^v – вид тріщин	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90
	K_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,15	0,15...0,3	0,3...1	1...3
	K_v – викривлення колони	0...2,5	2,5...0,5	5...10	10...50
Залізобетонні балки	B_t^v – вид тріщин	0...7,5	7,5...15	15...75	75...90
	B_t^{sh} – ширина розкриття тріщин	0...0,15	0,15...0,3	0,3...1	1...3
	B_{pb} – прогин балки	0...2,5	2,5...0,5	5...10	10...40

В додатку №1 представлені дані для навчання нейронної мережі.

Так як на вхід сигмоїдального нейрона подаються сигнали тільки в межах від 0 до 1, то система перетворює занесені дані. Перетворені дані представлені на рис. 5.12 .

Дані після обробки (нормовані дані для навчання)

	S_{TSH}	S_{TO}	S_{TV}	S_{TPV}	F_{TP}	F_{CT}	P_{PV}	P_{PSH}	P_{PPP}
0	0	0	0	0	0	0	0	0,016648152542...	0
0,001666666666...	0,01	0,010011123470...	0,0005	0,0005	0,001666666666...	0,010011123470...	0	0,000625	
0,003333333333...	0,02	0,016665205704...	0,001	0,001	0,003333333333...	0,016665205704...	0,016648152542...	0,00125	
0,004999999999...	0,025	0,020022246941...	0,0015	0,0015	0,004999999999...	0,020022246941...	0,026423728813...	0,0019525	

Рисунок 5.12 Нормовані дані

Після нормування даних проводиться корегування нейронної мережі, а саме кількість нейронів в прихованому шарі обирається 20. Далі

встановлюються коефіцієнти вагів для внутрішнього-0,1 і 0,5-зовнішнього шарів нейронної мережі, а також кількість епох (ітерацій) 100 представлено на рис. 5.13.

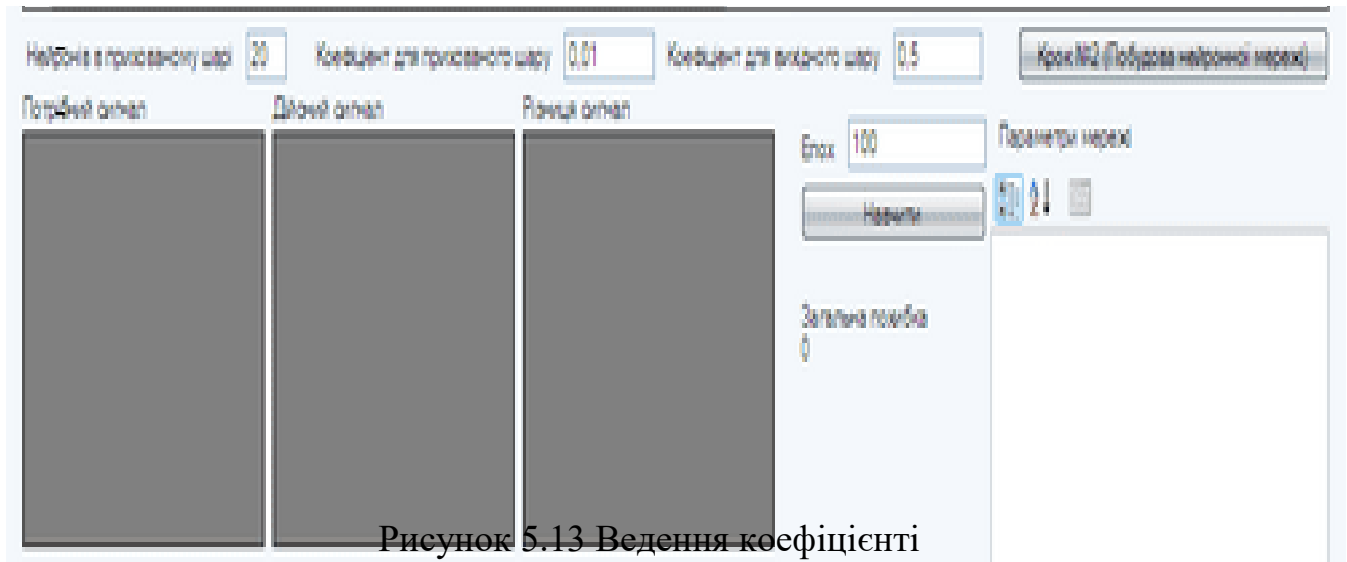


Рисунок 5.13 Ведення коефіцієнти

- Після внесення коефіцієнтів починається навчання нейронної мережі. І чим більше кількість епох тим довше навчається система, що представлено на рис. 5.14.

-

Після навчання визначається загальна похибка ідентифікації. Перевіряється нейрона мережа контрольною вибіркою і отримується результат представлено на рис. 5.15.

The screenshot displays the configuration and results of a neural network. At the top, training parameters are set: 'Нейрони в прихованому шарі' (20), 'Коефіцієнт для прихованого шару' (0.01), and 'Коефіцієнт для вихідного шару' (0.5). Below these are three columns of weights: 'Потрійні зв'язки', 'Двійні зв'язки', and 'Рівня зв'язки'. A 'Епохи' field is set to 1000, and a 'Загальна похибка' is shown as 2.67044401989517. A 'Параметри мережі' dialog box is open, showing a 'Value' of 3.08453256313369 and an 'OK' button. At the bottom, a 'Параметри' table shows the following values:

	K _{TV}	K _{TSH}	K _V	Q _{TV}	Q _{TSH}	Q _{V0}
1	2	0.7	4	0.8	0.2	0.5

Рисунок 5.15 Виведення результатів нейронної мережі

5.5.1 Результати дослідження тестування нейронної мережі

На рисунку 5.16 представлений результат тестування нейронної мережі.

Навчання штучної нейронної мережі зайняло 10 хвилини 68000 епох. Графік залежності загальної середньої квадратичної похибки від номеру епохи навчання показано на рис. 5.17.

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

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

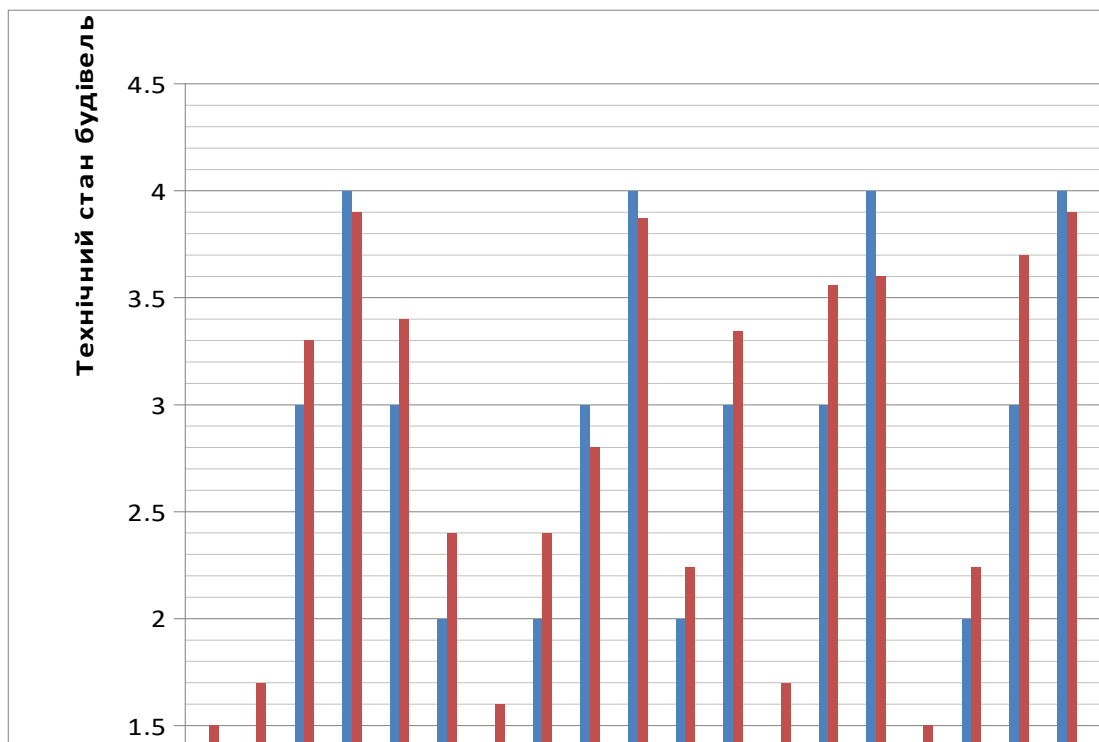


Рисунок 5.16 Гістограма тесту на реальних даних

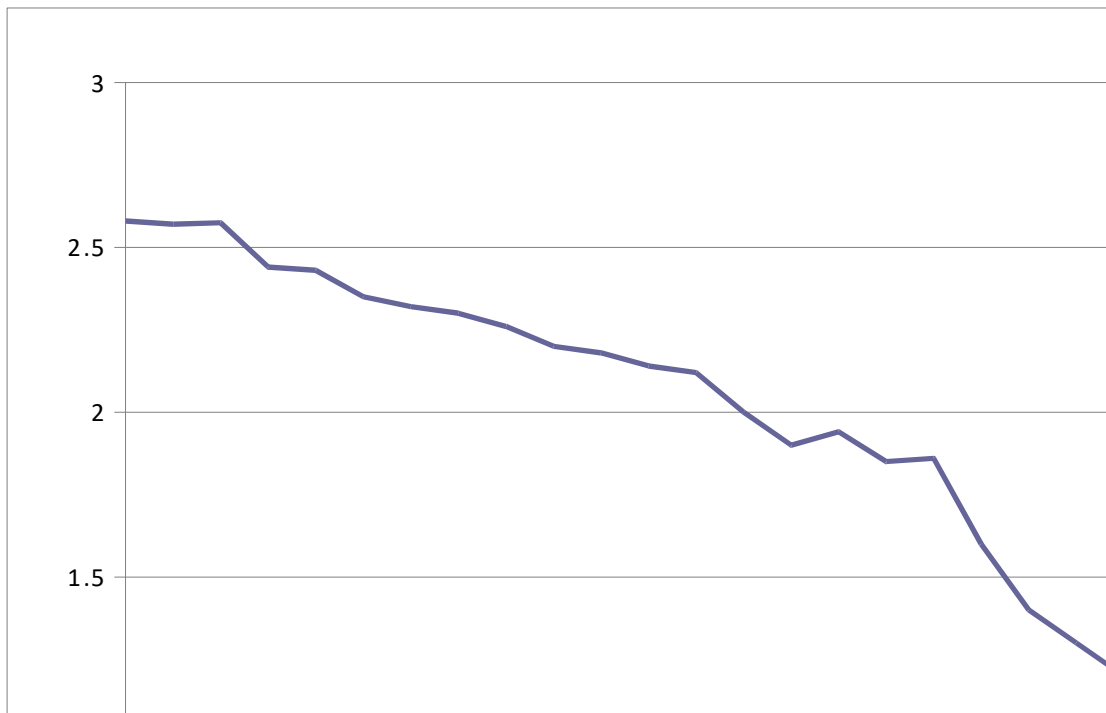


Рисунок 5.17 Зменшення значення похибки при навчанні

5.5.2 Тестовий приклад нейронної мережі

Спочатку будується і навчається нейронна мережа, що зображена на рис. 5.18 і 5.19.

Після навчання нейронної мережі вноситься данні про будівлі і натискається кнопка “Дати відповідь” і система видає результат, представлений на рис. 5.20.

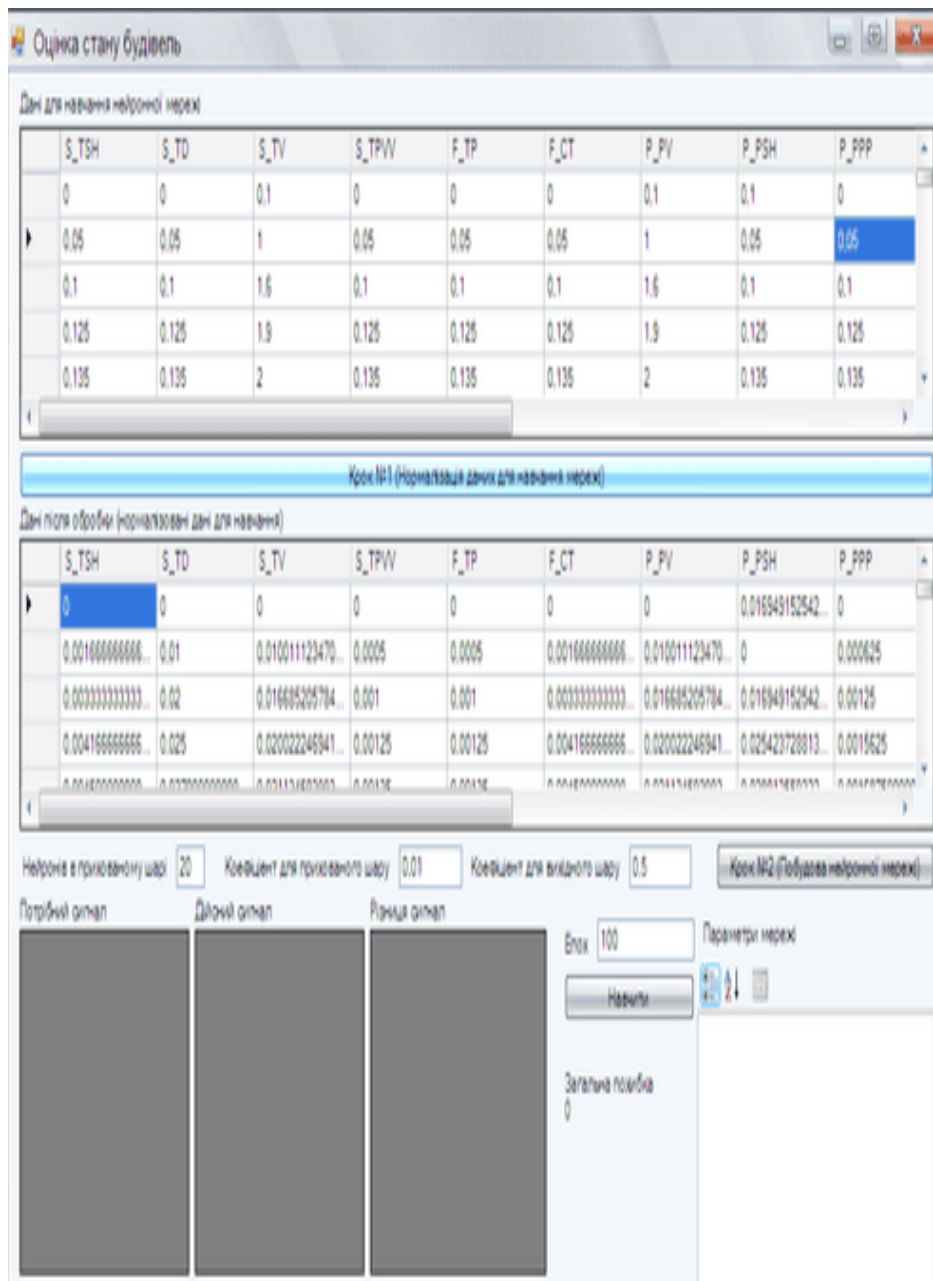


Рисунок 5.18 Побудова нейронної мережі

Оцінка стану будівель

Дані для навчання нейронної мережі

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

Крок №1 (Нормалізація даних для навчання мережі)

Дані після обробки (нормалізовані дані для навчання)

	S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPVV	F_TP	F_CT	P_PV	P_PSH	P_PPP
▶	0	0	0	0	0	0	0	0,016949152542...	0
	0,001666666666...	0,01	0,010211123470...	0,0005	0,0005	0,001666666666...	0,010011123470...	0	0,000625
	0,003333333333...	0,02	0,016685305794...	0,001	0,001	0,003333333333...	0,016685305794...	0,016949152542...	0,00125
	0,004166666666...	0,025	0,020022246941...	0,00125	0,00125	0,004166666666...	0,020022246941...	0,025423728813...	0,0015625
	0,004666666666...	0,0275	0,021148000000...	0,00135	0,00135	0,004666666666...	0,021148000000...	0,0275423728813...	0,00165625

Нейрони в прихованому шарі Коefіцієнт для прихованого шару Коefіцієнт для вихідного шару Крок №2 (Глобуальна нейронна мережа)

Потрібний сигнал Діючий сигнал Різниця сигналів

Епохи Параметри мережі

Навчати

Залишена помилка 1,69719938712795

Countoflayer 2

Inputdata Массив Double[]

Inputdataint

Layer (Комплікс)

Learned False

OutF Массив Double[]

Outputdata Массив Double[]

Outputdataint

Дані виводу

Питання

	S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPVV	F_TP	F_CT	P_PV
▶							

Рисунок 5.19 Навчання нейронної мережі

Оцінка стану будівель

Дані для навчання нейронної мережі

	P_PSH	P_PPP	K_TV	K_TSH	K_V	В_TV	В_TSH	В_PB	STAN
	0.72	34	80.8	0.7	8.3	80.8	0.7	8.3	4
	0.73	35	81	0.71	8.4	81	0.71	8.4	4
	0.74	36	81.1	0.72	8.5	81.1	0.72	8.5	4
	0.75	37	81.3	0.73	8.6	81.3	0.73	8.5	4
	0.76	38	81.4	0.74	8.7	81.4	0.74	8.5	4

Крок №1 (Нормалізація даних для навчання мережі)

Дані після обробки (нормалізовані дані для навчання)

	S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPVV	F_TP	F_CT	P_PV	P_PSH	P_PPP
	0.004166666666...	0.025	0.020022246941...	0.00125	0.00125	0.004166666666...	0.020022246941...	0.025423728813...	0.0015625
	0.004500000000...	0.027000000000...	0.021134593993...	0.00135	0.00135	0.004500000000...	0.021134593993...	0.026913559322...	0.001687500000...
	0.004666666666...	0.028000000000...	0.020696328254...	0.001400000000...	0.001400000000...	0.004666666666...	0.020696328254...	0.026508474576...	0.001750000000...
	0.004666666666...	0.028000000000...	0.027808676307...	0.0015	0.0015	0.004666666666...	0.027808676307...	0.026508474576...	0.001750000000...

Нейрони в прихованому шарі 40 Коефіцієнт для прихованого шару 0.01

Потрібний знімок Діагностичний знімок Різниця знімок

Значення пошкодження: 1.68719938712756

Параметри мережі: Countoflayer 2, Layer (Континент), Leaned False, OutputF Maxout Double[]

Питання

	В_TV	В_TSH	В_PB	S_TSH	S_TD	S_TV	S_TPVV
	81.3	0.73	8.5	0.73	0.5		

3,95444784178226

OK

Крок №2 (Побудова нейронної мережі)

Далі відповісти

Рисунок 5.20 Результат нейронної мережі

Висновок: Проведене дослідження доводить потенційну ефективність використання нейронних мереж для інформаційної системи діагностики технічного стану будівель.

5.6 Реалізація програмного продукту інформаційної системи діагностики технічного стану будівель в сучасних умовах

Програмне забезпечення системи діагностики технічного стану будівель, яка була розроблена має складну структуру.

Для зручного користування програмою передбачено головне меню, яке складається: із інформацією про зареєстровані в програмі будівлі, конструктивних елементів будівлі, що входять в базу обстеження, нормативних документів та звітів по результатам обстеження, що дозволяє працювати з даними, не виходячі з головного меню програми.

Наведемо структуру **Головне меню** програми автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель (рис. 5.21).

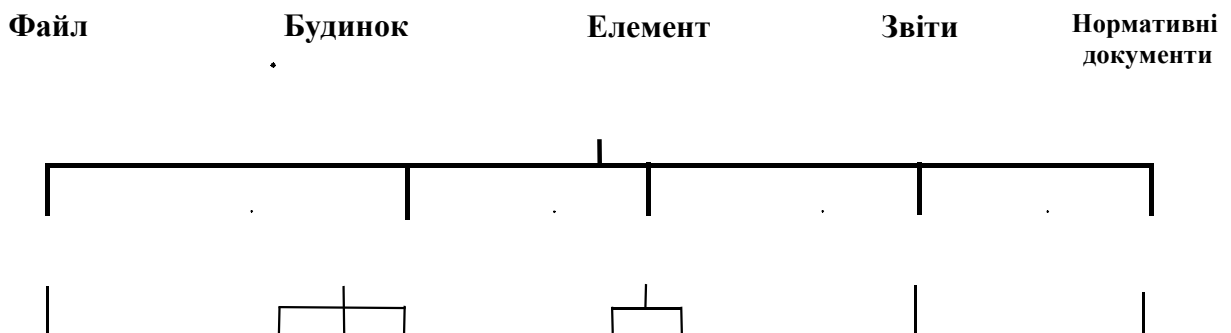


Рисунок 5.21 Структура головного меню програми автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель

Для розробки системи було обране середовище програмування *Borland Delphi* виробництва фірми *Borland International® USA*. *Delphi* являє собою середовище, що підтримує візуальне проектування додатків для *Windows*.

Представимо автоматизовану систему діагностики технічного стану будівель у вигляді діаграми класів (рис. 5.22).

Основним будемо вважати клас “представлення розрахунків”, адже саме він є основною складовою системи обстеження технічного стану будівель. В даному класі описані всі необхідні входні параметри конструктивних елементів, а також функції за допомогою яких реалізовані розрахунки, завдяки чому визначається категорія технічного стану будівлі в цілому. Виділимо наступні класи, що представлені в нашій системі. Такими класами є клас “ind”.

На діаграмі слід показати ці класи, з’єднані між собою зв’язками, та описані, так як вони не існують самі по собі. Будь-який клас функціонує сумісно з іншими, реалізуючи семантику, що виходить за межі кожного окремого елементу.

Отже, розглядаючи представлену діаграму, можна сказати, що клас “представлення розрахунків” включає в себе клас “ind”, який слугує для відображення необхідної будівлі або її конструктивного елементу в залежності від істинного чи хибного значення його атрибуту. В кожному з цих класів описано всі атрибути, які в ньому представлені та методи за допомогою яких вони представлені.

На рис. 5.23 – 5.26 представлені загальні вигляди меню програми автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель .

Під час проведення обстеження спочатку збираються загальні відомості про будівлю (рис. 5.23), наступним етапом є визначення типів конструктивних елементів (рис. 5.24), надалі формуються списки пошкоджень та фізична оцінка стану елементів паралельно з нормативними документами (рис. 5.25 і рис. 5.26). Кінцевим етапом є визначення стану будівлі та формуються звіти з обстеження технічного стану будівлі.

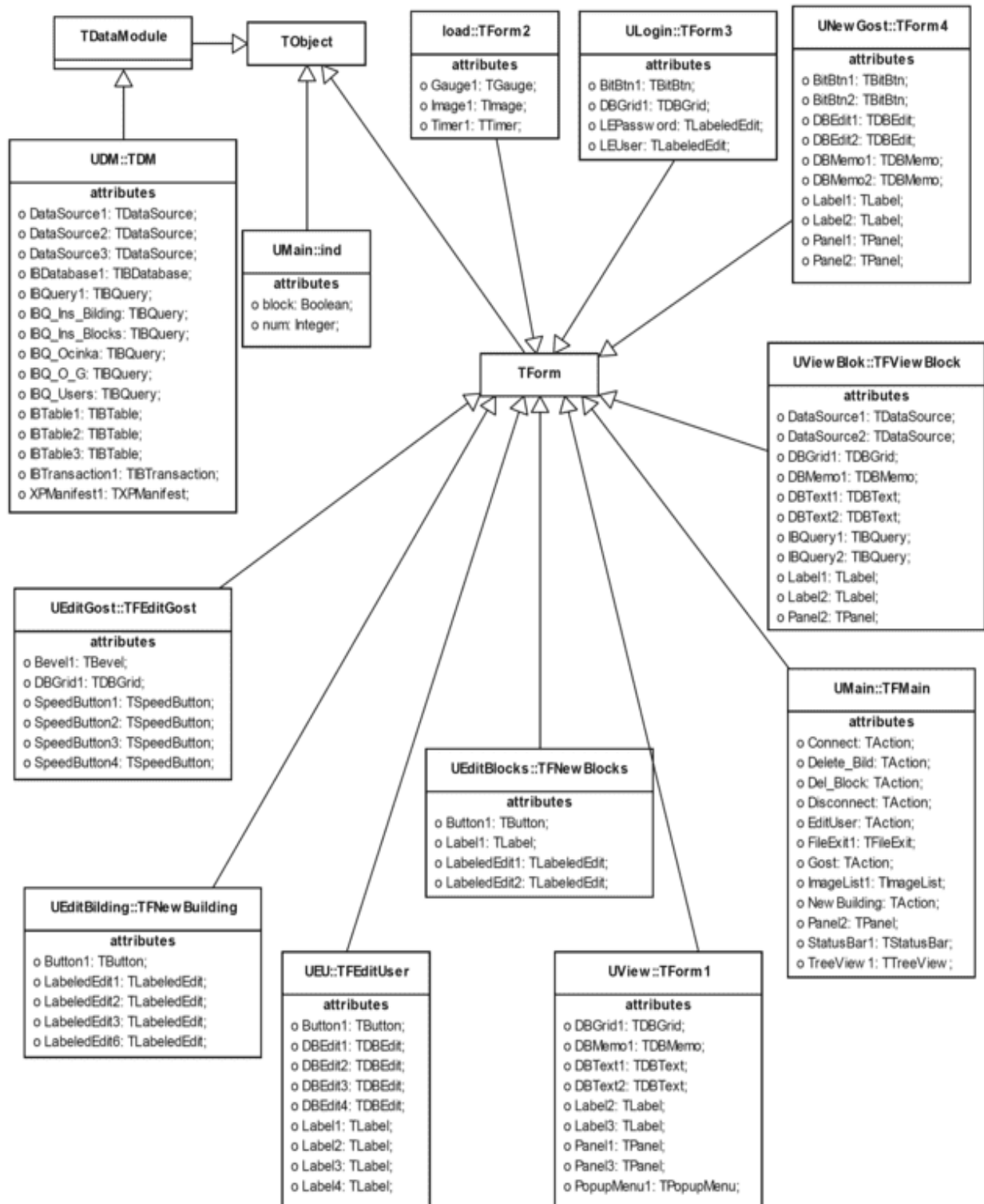


Рисунок 5.22 Діаграма класів автоматизованої системи
діагностики технічного стану будівель

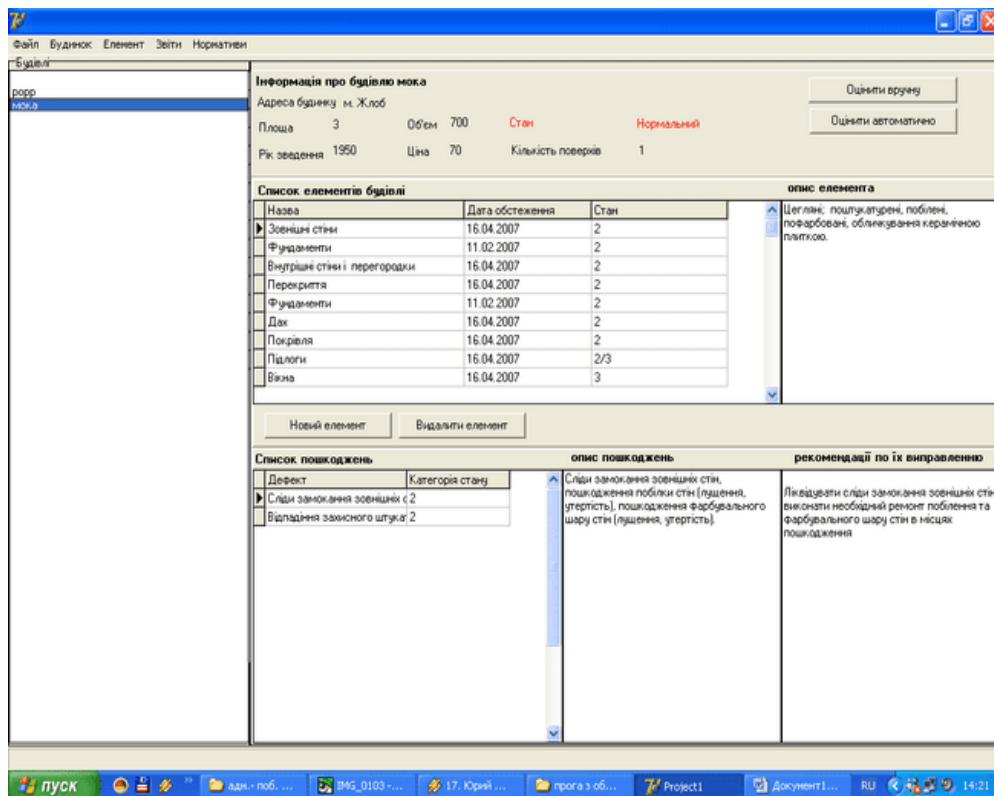


Рисунок 5.23 Головне меню програми автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель

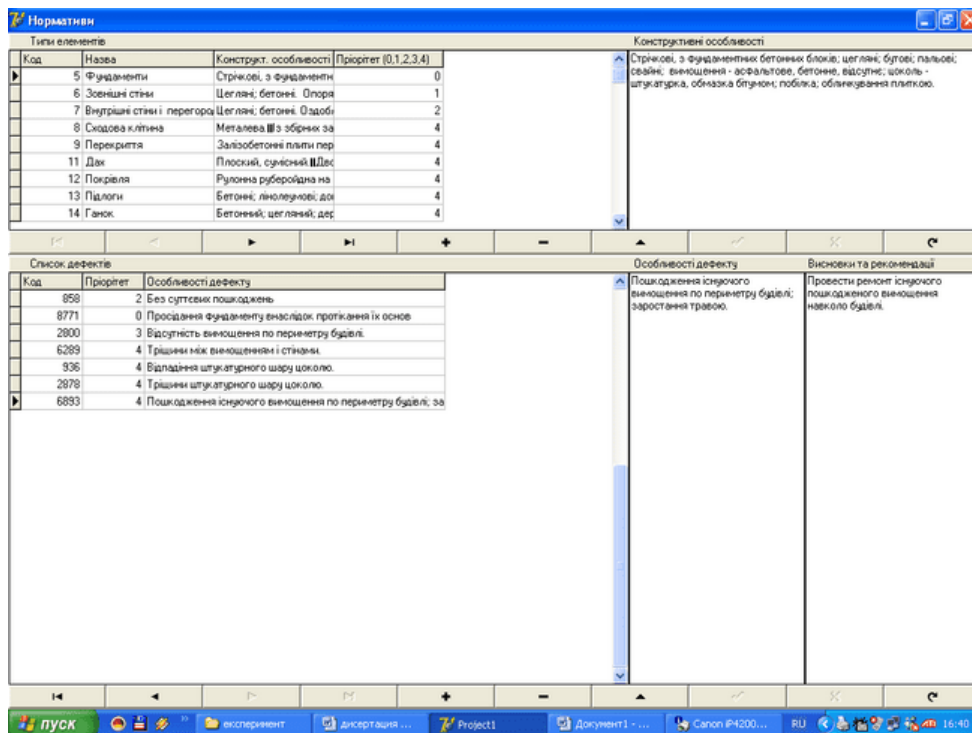


Рисунок 5.24 Відомості даних з нормативних документів

Додавання елемента

Реєстрація обстеження елемента

Дата обстеження
11.02.2007

Тип елемента
Фундаменти

Конструктивні особливості, матеріал, опорядження

Стрічкові, з фундаментних бетонних блоків; цегляні; бутові; пальові; свайні; вимощення - асфальтове, бетонне, відсутнє; цоколь - штукатурка, обмазка бітумом; побілка; облицювання плиткою.

Відмінити Далі

Рисунок 5.25 Додавання певного конструктивного елемента

Формування списку пошкоджень

Список нормативів
Відсутність вимощення по периметру будівлі.

Дефект	Рекомендації
Відсутність вимощення по периметру будівлі.	Відновлення вимощення по периметру будівлі.

Фізичний знос/оцінка (%)
20 %

Додати

Список пошкоджень

Дефект	Категорія тех. стану
▶ Відсутність вимощення по периметру будівлі	2

Відмінити Далі

Рисунок 5.26 Відомості формування списку пошкоджень згідно нормативних документів (дефекти, рекомендац

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гайна Г.А. Автоматизовані системи прийняття та оцінки якості проектних рішень у будівництві / Г.А. Гайна, П.Є. Григоровський, О.О. Терентьєв. – К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний збірник, випуск 45/2004, НДІБВ, 2004. – С. 47 – 52.
2. Гайна Г.А. Створення автоматизованої системи обробки і збереження інформації щодо технічного стану будівель та споруд / Г.А. Гайна, П.Є. Григоровський, О.О. Терентьєв.– К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний збірник, випуск 46/2005, НДІБВ, 2005. – С. 54 – 57.
3. Гайна Г.А. Використання інформаційних технологій для діагностики технічного стану будівель /Терентьєв О.О., Ластівка Р.В., Полторац О.Б.// – К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 49/2008, НДІБВ, 2008. – С. 71–75.
4. Гайна Г.А. Інформаційна технологія управління життєвим циклом /Яцик П.М., Терентьєв О.О., Ластівка Р.В., Полторац О.Б.// – К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 1-2 (17-18)/2009, НДІБВ, 2009. – С. 132–134.
5. Григоровський П.Є. Досвід та проблеми обстеження і паспортизації / П.Є. Григоровський, Ю.Г. Тромса Ю.Г, О.В. Чуканов, С.В. Сушко. – К.: Нові технології у будівництві, міжвідомчий науково-технічний збірник, НДІБВ, 2002. – С. 65-69.
6. Григоровський П.Є. Розробка інформаційної технології системи проектування і розміщення обладнання на дитячих майданчиках /

Терентьев О.О.// - К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 30/2016, НДІБВ, 2016. – С. 3–7.

7. Григоровський П.Є. Інформаційна технологія роботи експертної системи діагностики технічного стану будівель /Терентьев О.О.// - К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 29/2015, НДІБВ, 2015. – С. 3–9.

8. Інтелектуальна інформаційна технологія діагностики технічного стану будівель [Текст] : монографія /В.М. Михайленко, О.О. Терентьев, М.І. Цюцюра // – К: ЦП «Компринт», 2015. – С. 162.

9. Михайленко В.М. Організація та технологія проведення обстеження технічного стану будівель на основі інформаційних технологій /Яцик П.М., Терентьев О.О., Полторак О.Б.// - К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 50/2009, НДІБВ, 2009. - С. 23-29.

10. Михайленко В.М. Теоретико – множинна модель будівлі при обстеженні технічного стану /Яцик П.М., Терентьев О.О., Полторак О.Б.// - К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 50/2009, НДІБВ, 2009. - С. 16-23.

11. Михайленко В.М. Моделі структури властивостей будівлі при проведенні обстеження для вирішення задач діагностики /Терентьев О.О.// - К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 50/2009, НДІБВ, 2009. - С. 30-34.

12. Михайленко В.М. Загальний підхід до моделювання надійності фундаментних конструкцій /Терентьев О.О., Корнієнко М.В.// - П.: Галузеве машинобудування, будівництво, випуск 3(28), Полтава, 2010. - С. 178-185.

13. Михайленко В.М. Дослідження ланцюгів логічного виведення роботи експертної системи при обстеженні технічного стану будівель /Терентьев О.О., Яцик П.М., Полторак О.Б.// - К.:Будівельне виробництво,

міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 52/2010, НДІБВ, 2010. - С. 37-44.

14. Михайленко В.М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей /Терентьев О.О., Єременко Б.М.// - Д.: Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов Под общей редакцией профессора В.И. Большакова выпуск 70/2013, Днепропетровск, 2013. - С. 133-141.

15. Михайленко В.М. Обробка експериментальних результатів роботи експертної системи для задачі діагностики технічного стану будівель /Терентьев О.О., Єременко Б.М.// – Д.: Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов Под общей редакцией профессора В.И. Большакова выпуск 78/2014, Днепропетровск, 2014. - С. 190-195.

16. Михайленко В.М. Експериментальні дослідження та реалізація інформаційної системи тестування нейронної мережі для задачі діагностики технічного стану будівель / Терентьев О.О., Шабала Є.Є., Турушев О.С.// – К.: Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 27/2016, КНУБА, 2016. – С. 139-144.

17. Михайленко В.М. Побудова діагностичних моделей основних конструкцій будівель / Терентьев О.О., Шабала Є.Є., Баліна О.І., Доля О.В.// – К.: Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 28/2016, КНУБА, 2016. – С. 155-159.

18. Моделі і методи системи діагностики технічного стану будівель [Текст] : монографія /А.О. Білощицький, П.Є. Григоровський, О.О. Терентьев // – К: ЦП «Компринт», 2015. – С. 232.

19. Терентьев О.О. Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель та споруд /Шабала Є.Є, Малина Б.С.// – К.:Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 22/2015, КНУБА, 2015. – С.138 – 143.

20. Терентьев О.О. Экспертная информационная система поддержки принятия решений для задачи диагностики технического stanu будівель /Шабала Є.Є, Гайдаржи І.О.// – К.: Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 24/2015, КНУБА, 2015. – С. 131–136.

21. Терентьев О.О. Розробка інформаційної технології проектування та контролю місцеположення мобільних об'єктів / Баліна О.І., Шабала Є.Є., Турушев О.С.// – К.: Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 25/2016, КНУБА, 2016. – С. 133–139.

22. Терентьев О.О. Моделі визначення фізичного зношення конструктивних елементів будівлі для задач діагностики технічного стану / Баліна О.І., Шабала Є.Є.// – К.: Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 26/2016, КНУБА, 2016. – С. 153-157.

23. Olexander Terentyev The Method of Direct Grading and the Generalized Method of Assessment of Buildings Technical Condition /Mykola Tsiutsiura// – International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 7, July 2015. – P. 827-829.

24. Olexander Terentyev The Method of Prediction of Deformations of Buildings and Failure Analysis the Examination of Technical Condition of Buildings /Malyna Bohdan// – International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 8, August 2015. – P. 280-282.

25. Olexander Terentyev Methodology a comprehensive survey and assessment of technical condition of staircases – Scientific Journal «ScienceRise», Volume 8/2(13), August 2015. – P. 41-46.

26. Olexander Terentyev Mathematical model of the system of decision support for problem diagnostics of technical condition of building constructions – Scientific Journal «ScienceRise» №9/2(14), September 2015. – P. 35-40.

27. Olexander Terentyev Expert information system for decision support for the problem of diagnostics of technical condition of buildings /Bohdan Malyna// –

International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 10, October 2015. – P. 652–654.

28. Olexander Terentyev Development of models and methods for determining the physical deterioration of items for the task of diagnostics of technical condition of buildings and structures /Olexander Poltorak// – Scientific Journal «ScienceRise» №8/2(25), August 2016. – P. 14-19.