

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

автоматизації і інформаційних технологій

(факультет)

інформаційних технологій проєктування та прикладної математики

(кафедра)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ «МАГІСТР»**

на тему: «Розробка інформаційної системи ДТС будівель та споруд»

КРАСНОВСЬКИЙ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ
(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

автоматизації і інформаційних технологій

(факультет)

інформаційних технологій проєктування та прикладної математики

(кафедра)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТППМ
д.т.н., професор Бородавка Є.В.

„___” _____ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ «МАГІСТР»**

на тему: "Моделі і методи підвищення ефективності інформаційної системи
комплексної безпеки будівель та споруд"

Виконав: студент II-го курсу, групи ІСТм-24

Спеціальності: 126 «Інформаційні системи та
технології»

(шифр і назва спеціальності)

Красновський С.С.
(прізвище та ініціали)

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

Рецензент к.т.н., доц. Шабала Є.Є.
(прізвище та ініціали)

Київ, 2025 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра: інформаційних технологій проєктування та ПМ

Освітній рівень: «магістр за ОПП»

Спеціальність: 126. «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТППМ

д.т.н., професор Бородавка Є.В.

„___” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ «МАГІСТР»

Красновський Сергій Сергійович

1. Тема роботи: Моделі і методи підвищення ефективності інформаційної системи комплексної безпеки будівель та споруд

затверджена наказом ректора КНУБА № 1619/23/25 від «25» вересня 2025 р.

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

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

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р.1. Аналіз існуючих моделей, методів та ІТ системи ДТС безпеки будівель

Р.2. Методи підвищення ефективності та прогнозування безпеки будівель

Р.3. Методологія оцінки прогнозування прийняття рішень ДТС будівель

Р.4. Реалізація ІС ДТС комплексної безпеки будівель

5. Інформаційні слайди:

С.1. Порівняльний аналіз ІТ системи ДТС безпеки будівель

С.2. Моделі, методи підвищення ефективності системи ДТС безпеки будівель

С.3. Оцінка прогнозування системи ДТС комплексної безпеки будівель

С.4. Інформаційне забезпечення системи ДТС комплексної безпеки будівель

С.5. Програмне забезпечення системи. Тестовий приклад програми

6. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Р. 1. Аналіз існуючих моделей, методів та ІТ системи ДТС безпеки будівель	Вересень 2025 р.
Р. 2. Методи підвищення ефективності та прогнозування безпеки будівель	Жовтень 2025 р.
Р. 3. Методологія оцінки прогнозування прийняття рішень ДТС будівель	Листопад 2025 р.
Р. 4. Реалізація ІС ДТС комплексної безпеки 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, представника комісії	дата	підпис
Прийом програмного продукту	к.т.н., доц. Шабала Є.Є.		

8. Дата видачі завдання: 22 вересня 2025 року

Керівник

(підпис)

Терентьєв О.О.

(прізвище та ініціали)

Магістрант

(підпис)

Красновський С.С.

(прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ

Київський національний університет будівництва і архітектури

КРАСНОВСЬКИЙ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ

факультет автоматизації і інформаційних технологій,

група ІСТм-24

Тема кваліфікаційної роботи:

«Моделі і методи підвищення ефективності інформаційної системи

комплексної безпеки будівель та споруд»

освітній рівень: магістр,

спеціальність: 126. «Інформаційні системи та технології»,

Науковий керівник: Терентьєв Олександр Олександрович,

доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій

проектування та прикладної математики

Обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається: розділів 4, стор. 118, таблиць 17, рис. 14, завдання, анотація, вступу, висновків, списку використаних джерел.

Актуальність теми. Діагностика технічного стану комплексної безпеки будівель виділяється як важливий напрямок будівельного виробництва. Обсяги цього виду робіт збільшуються внаслідок фізичного та морального зношення будівель, обладнання і реконструкції підприємств, активізації нового будівництва в районах старої забудови, реконструкції малоповерхових будівель, підвищення цін та зміни форм власності на нерухомість.

У вступі визначені основні напрямки дослідження, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання системи, показано зв'язок із програмами, планами, темами.

У першому розділі

1. Підвищення рівня надійності та ефективності будівельних об'єктів можливе лише при використанні інформаційних систем.

2. Розроблено і прийнято в експлуатацію велику кількість інформаційних систем різного призначення, проте методи і алгоритми обробки баз даних обмежуються, як правило, побудовою трендів, обчисленням середніх значень вимірюваних величин.

3. В недостатній мірі використовуються сучасні методи обробки баз даних інформаційних систем, зокрема, методи математичної статистики, розпізнавання образів, нечіткої логіки, теоретико-ігрові методи, методи теорії детермінованого хаосу.

4. При розробці питань підвищення ефективності інформаційних систем недостатньо уваги приділяється актуальним питанням зниження витрат.

У другому розділі

1. Розроблено алгоритм прогнозування моменту настання передаварійної ситуації, досліджуючи зміни динаміки даних вимірювань. Встановлено, що при цьому досягається збільшення точності прогнозу на 20-30%.

2. Розроблено метод безеталонного оцінювання значень параметрів системи діагностики технічного стану безпеки будівель.

3. Розроблено методи непараметричної кореляції і регресії для оцінки стану системи діагностики технічного стану безпеки будівель.

4. Розроблено паліативний метод і алгоритм прогнозу передаварійних ситуацій системи діагностики технічного стану безпеки будівель.

5. Розроблено засіб розпізнавання передаварійних станів будівель на основі використання методів теорії детермінованого хаосу.

6. На основі використання методів синергетики розроблений метод прогнозування розвитку передаварійних ситуацій, недоступних для виявлення традиційними методами.

У третьому розділі

1. Запропоновані методи аналізу ризику системи діагностики технічного стану безпечної експлуатації будівель.

2. Запропоновані аналітичні засоби оцінки прогнозування прийнятих рішень щодо вибору структури моделей в умовах автоматизованого управління

процесом діагностики технічного стану безпеки будівель, що має можливість досліджувати та порівнювати її результати.

3. Узагальнена оцінка прогнозування прийняття якісних рішень для задач системи діагностики технічного стану безпеки будівель.

4. Наведені приклади розрахунку ризику аварії безпечної експлуатації будівель.

5. Отримані дані дозволяють кількісно оцінювати експлуатаційну придатність будівель, що сприяє підвищенню їх надійності.

У четвертому розділі

1. Проведена описана реалізація моделі прогнозування аварійних ситуацій комплексної безпеки будівель.

2. Проведено оцінку ефективності розробленої моделі.

3. Проведено оцінку алгоритму прогнозування аварійних ситуацій комплексної безпеки будівель.

4. Створено методики оцінки прогнозування передаварійних ситуацій комплексної безпеки будівель.

5. Наведено необхідні дані по роботі з програмним забезпеченням системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель.

6. Встановлено параметри, за якими була проведена оцінка працездатності системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель.

Ключові слова: система діагностики технічного стану, інформаційна технологія методи, моделі, комплексна безпека будівель

Keywords: system of diagnostics of technical condition, information technology methods, models, complex safety of buildings.

Якість оформлення проекту. Атестаційна випускова робота магістра оформлена у відповідності до діючих нормативних документів та методичних вказівок до виконання дипломної роботи для студентів спеціальності 126 «Інформаційні системи і технології».

Загальний висновок стосовно роботи та присвоєння авторіві освітнього рівня «магістр». Робота виконана на високому рівні, студент продемонстрував високий рівень теоретичної підготовки та сформованих практичних навичок в області сучасних інформаційних технологій. Заслугує оцінки «відмінно».

Науковий керівник _____ / проф., д.т.н., Терентьєв О.О./
(підпис)

Посада, місце роботи. КНУБА, пр-т. Повітряних Сил, 31, професор кафедри інформаційних технологій проєктування та прикладної математики

«05» грудня 2025 р.

АНОТАЦІЯ

«Моделі і методи підвищення ефективності інформаційної системи комплексної безпеки будівель».

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю: 126. «Інформаційні системи і 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 системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель.

Ключові слова: система діагностики технічного стану, інформаційна технологія методи, моделі, комплексна безпека будівель.

SUMMARY

"Models and methods of improving the efficiency of the information system of complex security of buildings.

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

The master's appraisal work is devoted to revealing the degree of physical deterioration, the reasons that determine their condition, the actual working capacity of structures and the development of measures to ensure their performance. In this regard, it is important to build models, methods and information technology for the diagnostics of the technical state of complex security of buildings.

Keywords: system of diagnostics of technical condition, information technology methods, models, complex safety of buildings.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬ

1.1 Загальні правила проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

1.2 Загальні вимоги до розробки інформаційних систем діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

1.3 Вимоги до обстеження загальної безпеки об'єктів

1.4 Методи контролю інформаційної системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

1.5 Методи моделювання процесів та технологічних параметрів надійності комплексної безпеки будівель

1.6 Організація та технологія проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗПЕКИ

2.1 Метод безеталонного оцінювання значень параметрів безпечної експлуатації будівель

2.2. Методи непараметричної кореляції і регресії для оцінки стану системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

2.3 Паліативний метод прогнозування передаварійних ситуацій безпеки будівель

2.4 Розпізнавання передаварійних станів комплексної безпеки будівель на основі використання методів теорії детермінованого хаосу

РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ

3.1 Методи аналізу ризику системи діагностики технічного стану безпечної експлуатації будівель

3.2 Розробка рекомендацій щодо вибору структури моделей, які забезпечують прогнозування надійності прийняття рішень для задач системи діагностики технічного стану безпеки будівель

3.3 Оцінка прогнозування прийняття якісних рішень для задач системи діагностики технічного стану безпеки будівель

3.4 Приклади прогнозування пошкодження при обстеженні технічного стану безпеки будівель

3.5 Розрахунок фактичного ризику аварії об'єкта

3.6 Метод розрахунку показників ресурсу об'єкта

3.7 Приклади розрахунку ризику аварії безпечної експлуатації будівель

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬ

4.1 Основні завдання, які реалізуються пакетом прикладних програм

4.2 Програмний модуль «нейронні мережі»

4.3 Огляд програм для імітації роботи нейронних мереж

4.4 Опис реалізації пакету прикладних програм

4.5 Програмно-технічний комплекс інформаційної системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Актуальність теми. Діагностика технічного стану комплексної безпеки будівель виділяється як важливий напрямок будівельного виробництва. Обсяги цього виду робіт збільшуються внаслідок фізичного та морального зношення будівель, обладнання і реконструкції підприємств, активізації нового будівництва в районах старої забудови, реконструкції малоповерхових будівель, підвищення цін та зміни форм власності на нерухомість.

За результатами вивчення наукових джерел за проблематикою дослідження теоретичних засад щодо побудови інформаційних систем діагностики технічного стану безпечної експлуатації будівель та аналітичного забезпечення їх функціонування, отриманих відомими вітчизняними та закордонними науковцями, серед яких: Нох Е., Чанас С., Перелмутер А., Rotshtein А., Бідюк П.І., Барабаш М.С., Городецький О.С., Григоровський П.Є., Коваленко І.І., Клименко Є.В., Лантух-Лященко А.І., Левикін В.М., Литвиненко О.Є., Ляшенко А.А., Міхайленко В.М., Павлов О.А., Панкевич О.Д., Слободян Я.О., Терентьев О.О., Теленик С.Ф., Томашевський В.М., Ходаков В.Є., Цюцюра М.І., Штовба С.Д., Горда О.В., визначено: відсутність єдиної методології для побудови інформаційної системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель; відсутність моделей та методів підвищення ефективності комплексної безпеки будівель, які б дали можливість забезпечити ефективне функціонування інформаційних систем діагностики технічного стану безпеки будівель, забезпечити високу точність прийняття рішень щодо їх стану; відсутність єдиної інформаційної бази даних, що дала б можливість порівнювати результати діагностики технічного стану безпеки будівель, спостерігати динаміку старіння, систематизувати висновки про їх стан. А тому, розв'язання цих задач є актуальним і дає можливість забезпечення довготривалої та надійної безпечної експлуатації будівель за рахунок своєчасного прогнозування та використання моделей та методів підвищення ефективності інформаційної системи діагностики технічного стану безпеки будівель.

Проблема діагностування технічного стану будівель розглядається в державі, як соціально-економічна, що потребує суттєвих науково-технічних заходів. Обраний напрямок дослідження відповідає постанові Кабінету Міністрів України "Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж" від 05 травня 1997 року № 409 та розпорядженню Кабінету Міністрів України "Про заходи щодо підсилення контролю за проектуванням, новим будівництвом, реконструкцією, капітальним ремонтом та експлуатацією будинків і споруд" № 100-р від 01 березня 2004 р.

Значні обсяги обстежень пов'язані з реконструкцією житлових та громадських будівель, розконсервацією і забудовою об'єктів незакінчених будівництв. Необхідність проведення обстежень виникає при виявленні та усуненні дефектів, що з'являються внаслідок похибок проектування, будівництва та порушень правил експлуатації будівель. Підвищенню ефективності процесу обстеження, зниженню ступеня ризику прийняття необ'єктивних рішень сприяло б інформаційне забезпечення, що дозволить вирішувати питання з обробки матеріалів обстеження. Звісно, кінцеве рішення прийматимуть фахівці, але наявність інформаційної системи управління, пошуку та обробки інформації, баз даних з методів обстежень, нормативів і стандартів, підвищить фаховий рівень прийняття таких рішень. Однак, залишається невирішеним ряд задач: відсутність єдиної державної інформаційної системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель; відсутність єдиної досконалої інформаційної нормативної бази даних в Україні з цього питання, що дала б можливість порівнювати результати обстежень, спостерігати динаміку старіння, робити обґрунтовані висновки.

У зв'язку з цим, побудова моделей, методів та інформаційної системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель, безумовно, є актуальним завданням.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬ

1.1 Загальні правила проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Обстеження технічного стану комплексної безпеки будівель проводяться спеціалізованими організаціями, оснащеними сучасною приладовою базою і мають в своєму складі висококваліфікованих і досвідчених фахівців. Вимоги до спеціалізованих організацій, що здійснюють обстеження технічного стану комплексної безпеки будівель, визначаються державним органом виконавчої влади, уповноваженим на ведення державного будівельного нагляду, державним органом виконавчої влади, уповноваженим на ведення державного будівельного нагляду, також ведеться реєстр спеціалізованих організацій.

Обстеження системи діагностики технічного стану будівель проводять:

- не пізніше ніж через два роки після їх введення в експлуатацію. В подальшому – не менше одного разу на 10 років і не менше одного разу на п'ять років для будівель або їх окремих елементів, що працюють в несприятливих умовах (агресивні середовища, вібрації, підвищена вологість, сейсмічність району 7 балів і більше та ін.). Для унікальних будівель встановлюється постійний режим діагностики:

- після закінчення нормативних термінів експлуатації будівель;
- при виявленні значних дефектів, пошкоджень і деформацій в процесі технічного обслуговування, що здійснюється власником будівлі;
- за наслідками пожеж, стихійних лих, аварій, що спричинили руйнування будівлі;
- з ініціативи власника об'єкта;
- при зміні технологічного призначення будівлі;

- за приписом органів, уповноважених на ведення державного будівельного нагляду.

Результати обстеження технічного стану будівель у вигляді відповідних висновків повинні містити необхідні дані для прийняття обґрунтованого рішення по реалізації цілей проведення обстеження.

Засоби випробувань, вимірювань і контролю, що застосовуються при обстеженні технічного стану об'єктів, повинні бути піддані своєчасній перевірці (калібруванню) в установленому порядку і відповідати нормативним документам і технічній документації метрологічного забезпечення.

При виконанні робіт з обстеження технічного стану об'єктів повинні дотримуватися правил техніки безпеки.

При виявленні під час проведення робіт пошкоджень конструкцій, які можуть привести до різкого зниження їх несучої здатності, обвалення окремих конструкцій або серйозного порушення нормальної роботи обладнання, крену, здатним привести до втрати стійкості будівлі, необхідно негайно поінформувати про це, в тому числі в письмовому вигляді, власника об'єкта, місцеві органи виконавчої влади і органи, уповноважені на ведення державного будівельного нагляду.

Висновки за підсумками проведеного обстеження технічного стану будівель підписують безпосередньо виконавці робіт, керівники їхніх підрозділів і затверджують керівники організацій, що проводили обстеження.

Обстеження технічного стану будівель проводять для:

- контролю технічного стану будівель та своєчасного вжиття заходів щодо усунення негативних факторів, що ведуть до погіршення цього стану;

- виявлення об'єктів, на яких відбулися зміни напружено-деформованого стану несучих конструкцій і для яких необхідно провести обстеження технічного стану;

- забезпечення безпечного функціонування будівель за рахунок своєчасного виявлення на ранній стадії негативної зміни напружено-

деформованого стану конструкцій і ґрунтів підстав, які можуть спричинити перехід об'єктів в обмежено працездатний або в аварійний стан;

- відстеження ступеня і швидкості зміни технічного стану об'єкта і прийняття, у випадку необхідності, екстрених запобіжних заходів уникненню обвалення.

При виборі системи спостережень необхідно враховувати мету проведення діагностики, а також швидкість протікання процесів і їх зміну в часі, тривалість вимірювань, помилки вимірювань, в тому числі за рахунок зміни стану навколишнього середовища, а також впливу перешкод і аномалій природно-техногенного характеру. Програму проведення діагностики узгоджують із замовником. У ній, поряд з перерахуванням видів робіт, встановлюють періодичність спостережень з урахуванням технічного стану об'єкта і загальну тривалість обстеження.

Методика і обсяг системи обстеження, включаючи вимірювання, повинні забезпечувати достовірність і повноту одержуваної інформації для підготовки виконавцем обґрунтованого висновку про поточний технічний стан об'єкта (об'єктів).

Під час тривалих спостережень і при зміні зовнішніх умов необхідно забезпечити облік зміни умов і компенсаційні поправки (температурні, вологості і т.п.) для вимірювальних пристроїв.

Використовувані для спостережень засоби вимірювань та обладнання повинні бути сертифіковані, перевірені (калібровані) і атестовані уповноваженими органами.

Внаслідок проведення кожного етапу обстеження повинна бути отримана інформація, достатня для підготовки обґрунтованого укладення про поточний технічний стан будівлі і видачі короткострокового прогнозу про його стан на найближчий період.

Початковим етапом діагностики технічного стану будівель є обстеження технічного стану цих будівель. На цьому етапі встановлюють категорії технічного стану будівель, фіксують дефекти конструкцій, за зміною стану яких

(а також за виникненням нових дефектів) будуть здійснюватися спостереження при обстеженні.

У випадку отримання на будь-якому етапі обстеження даних, що вказують на погіршення технічного стану всієї конструкції або її елементів, яке може привести до обвалення будівлі, організація, що проводить обстеження, повинна негайно поінформувати про це, в тому числі в письмовому вигляді, власника об'єкта, яка експлуатує будівлю, місцеві органи виконавчої влади, територіальні органи ДСНС, надзвичайних ситуацій і ліквідації наслідків стихійних лих, а на об'єктах, підпорядкованих Держгірпромнагляду - також територіальні органи Держгірпромнагляду.

Загальний моніторинг технічного стану будівель проводять для виявлення об'єктів, зміна напружено-деформованого стану яких вимагає обстеження їх технічного стану. Загалом обстеження проводять з метою приблизної оцінки категорії технічного стану, вимірюють динамічні параметри конкретних будівель і складають паспорт будівлі.

Якщо за результатами приблизної оцінки категорія технічного стану будівлі відповідає нормативному або працездатному технічному стану, то повторні вимірювання динамічних параметрів проводять через два роки. Якщо за результатами повторних вимірів динамічних параметрів їх зміни не перевищують 10%, то такі вимірювання проводять ще через два роки. Якщо за результатами приблизної оцінки категорія технічного стану будівлі відповідає обмежено працездатному або аварійному стану, або якщо при повторному вимірі динамічних параметрів будівлі результати вимірювань розрізняються більш ніж на 10%, то технічний стан такої будівлі підлягає обов'язковому позаплановому обстеженню.

За результатами загального обстеження технічного стану будівель виконавець складає висновок по етапу загального обстеження технічного стану будівель та висновок про технічний стан кожної будівлі, по яким проводився загальний моніторинг технічного стану.

1.2 Загальні вимоги до розробки інформаційних систем діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Розробка інформаційних систем діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель включає в себе наступні етапи:

1. На основі аналізу можливих природно-техногенних впливів, можливих некваліфікованих дій або відсутності необхідних дій обслуговуючого персоналу, конструктивних особливостей об'єкта розробляються моделі небезпеки для об'єкта;

2. На основі моделей небезпеки, знань в галузі будівельної механіки (в тому числі математичного і фізичного моделювання) і роботи будівельних конструкцій проводять аналіз поведінки конструкцій об'єкта при реалізації таких небезпек і складають методику проведення обстеження, а також перелік частин і елементів конструкцій об'єкта, які необхідно контролювати. Для кожної частини і кожного елемента конструкцій становлять перелік контрольованих параметрів;

3. На основі відомих або спеціально розроблених способів і методів контролю параметрів конструкцій, апаратури і устаткування для контролю складають технологію проведення обстеження технічного стану згаданих вище частин і елементів конструкцій об'єкта;

4. На основі досвіду обстеження і аналізу поведінки будівельних конструкцій, обліку швидкостей розвитку негативних процесів в конструкціях і ступеня можливого допущення зміни їх напружено-деформованого стану розробляють регламент проведення обстеження.

На основі вищеописаних етапів розробляють проект інформаційної системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель в якому відображають наступні розділи:

- загальні дані;
- основні відомості про конструктивні особливості об'єкта;
- методика проведення обстеження;

- технологія проведення обстеження;
- регламент проведення обстеження;
- склад і технічні характеристики комплексу обстеження;
- форми висновків по етапу обстеження;
- схеми розміщення апаратури, обладнання, каналів зв'язку системи моніторингу об'єкта;
- перелік автоматизованих або виконуваних автоматично процедур моніторингу;
- специфікація приладів і обладнання системи обстеження.

В рамках проектування інформаційної системи обстеження інженерно-технічного забезпечення повинні бути визначені:

- перелік контрольованих параметрів роботи системи інженерно-технічного забезпечення об'єкта;
- розрахункові (проектні) значення контрольованих параметрів роботи;
- системи інженерно-технічного забезпечення об'єкта;
- склад і технічні характеристики апаратного і програмного забезпечення системи обстеження;
- місце розташування програмно-апаратного забезпечення системи обстеження;
- алгоритм і критерії прийняття управлінських рішень з оцінки працездатності системи інженерно-технічного забезпечення об'єкта, загрози порушення нормальної експлуатації й передачі повідомлень в єдину систему оперативно-диспетчерського управління конкретного міста;
- технічні рішення по взаємодії системи обстеження з системою інженерно-технічного забезпечення об'єкта.

1.3 Вимоги до обстеження загальної безпеки

Обстеження загальної безпеки будівель полягає в періодичному (на основі спостережень і обстежень) визначенні ризику і швидкості його зростання до допустимого значення, встановленого для конкретного об'єкта.

Під ризиком розуміється ймовірнісна міра небезпеки або сукупності небезпек, що встановлюється для об'єкта у вигляді можливих втрат за заданий час.

Оцінка ризику - це визначення його значення кількісним та якісним способами. Процес послідовно виконуваних дій з ідентифікації та прогнозування небезпек, оцінки вразливості об'єкта для цих небезпек і встановлення можливих втрат об'єкта і його складових для всіх випадків реалізації небезпек з певною інтенсивністю, повторюваністю і тривалістю пливу за заданий час.

Для оцінки ризику аналізують наступні початкові дані:

- основні небезпеки, характерні для даного об'єкта і їх різні поєднання;
- характер і умови експлуатації об'єкта;
- характеристики, які використовуються на об'єкті речовин, матеріалів і продуктів;
- генеральний план, тип конструкції об'єкта, розташування інших будівель і об'єктів, здатних вплинути на виникнення та розвиток аварії;
- відомості про аварії і небезпечні інциденти, які відбувалися раніше на об'єкті;
- зони, що становлять підвищену небезпеку для виникнення вибухів при аварійних ситуаціях;
- наслідки аварій у вигляді ступеня пошкодження об'єкта, і очікуваного числа постраждалих;
- частоту, наслідки аварій і прийнятний рівень ризику;
- зони індивідуального ризику;
- можливості зниження ризику і тяжкості наслідки аварій.

Рівень ризику будівлі (споруди) перевіряють за формулою:

$$P < [P] \quad (1.1),$$

де P - ризик нанесення будівлі збитку певного рівня при небезпечному впливі даної інтенсивності за термін служби об'єкта;

$[P]$ - допустимий рівень ризику (фоновий рівень для України), який приймається рівним 5×10^{-6} .

Значення ризику P визначають за формулою:

$$P = P(H) \times P(A/H) \times P(T/H) \times P(D/H) \times C \quad (1.2),$$

де $P(H)$ - ймовірність виникнення небезпеки;

$P(A/H)$ і $P(T/H)$ - ймовірності зустрічі небезпеки з даним об'єктом в просторі і часі відповідно;

$P(D/H)$ - ймовірність нанесення збитку даного рівня;

C – відносний збиток (Відношення вартості збитку до вартості об'єкта).

Ризик нижче фонового рівня, рівного 5×10^{-6} , є прийнятним (не вимагає заходів щодо його зниження); понад 5×10^{-5} - є неприпустимим (вимагає термінової системи заходів для його зниження); ризик в інтервалі від 5×10^{-6} до 5×10^{-5} - для зниження рівня ризику потрібно система заходів, повнота і терміни реалізації якої встановлюються з урахуванням економічних і соціальних аспектів.

1.4 Методи контролю інформаційної системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Проблемам надійності та експлуатаційної безпеки будівель присвячені численні роботи. Розглянемо основні характеристики технічних систем, що визначають її надійність. Властивість складної технічної системи зберігати свої початкові характеристики в процесі експлуатації визначається її надійністю. Таким чином, фізичний зміст надійності полягає в здатності складних технічних систем зберігати свої характеристики в часі. Однією з основних завдань, що вирішуються в процесі експлуатації систем будівництва, є завдання забезпечення їх надійної роботи. Гострота цієї проблеми обумовлена складністю цих технічних пристроїв і високими значеннями експлуатаційних навантажень. Тому під надійністю в нашому випадку будемо розуміти властивість технічних пристроїв виконувати задані функції, зберігаючи свої

експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу або необхідного напрацювання в певних умовах експлуатації, яке впливає з цього визначення. Надійність залежить від того, які функції виконує виріб в часі, протягом якого має бути забезпечено виконання цих функцій, і від умов експлуатації.

Надійність, як якісна характеристика, завжди береться до уваги при вирішенні різних питань експлуатації технічних пристроїв, проте кількісне визначення надійності представляє певні труднощі.

Особливістю кількісних характеристик надійності є їх ймовірнісно-статистична природа. Як показує практика, надходять на будівництво однотипні технічні пристрої, навіть будучи виготовленими на одному заводі, виявляють різну здатність зберігати свою працездатність. Внаслідок цього, в процесі експлуатації відмови складних технічних систем відбуваються в найнесподіваніші моменти.

Практика показує, що в появі відмов працездатності технічних пристроїв існують закономірності, і для їх встановлення слід вести спостереження за багатьма технічними пристроями, а для обробки результатів спостережень застосовувати методи математичної статистики і теорії ймовірностей. В якості кількісної міри надійності складних технічних систем, що характеризує закономірності появи відмов у часі, приймається ймовірність безвідмовної роботи.

Ймовірність безвідмовної роботи не є єдиною кількісною характеристикою надійності технічних пристроїв. До них відносяться: інтенсивність відмов, середній час безвідмовної роботи, щільність розподілу часу безвідмовної роботи та інші. Кількісно надійність складної системи дорівнює ймовірності того, що час її безвідмовної роботи буде більше заданого проміжку часу.

Відмови можна класифікувати і за іншими ознаками - залежні (відмова одних елементів призводить до відмови інших) і незалежні, поступові і раптові, з відновленням і без відновлення.

Для розрахунку надійності будівель необхідно мати інформацію не тільки про надійність складових його елементів, а й часу їх введення в експлуатацію, продуктивності і режимах роботи.

Обробка інформації щодо безпечної експлуатації будівель передбачає вирішення наступних завдань:

- визначення існуючого рівня надійності елементів будівель;
- дослідження експлуатаційної надійності елементів і несучих конструкцій будівель;
- виявлення основних параметрів, що впливають на надійність роботи будівель;
- прогнозування планово - попереджальних ремонтів;
- визначення економічної ефективності підвищення надійності;
- прогнозування і діагностування експлуатаційної надійності з урахуванням зносу;

Слід зазначити, що протягом останніх декількох років надійність будівель зростає, що у великій мірі пов'язано з застосуванням сучасних технологій і діагностичних методів.

Необхідність врахування безлічі факторів, що впливають на надійнісні показники будівель, викликає необхідність використання сучасних математичних методів, таких як розпізнавання образів, кореляційного і факторного аналізу.

Для контролю показників надійності і для визначення методів підвищення рівня безпеки їх експлуатації необхідний значний обсяг інформації, що включає відомості про відмови обладнання, їх причини, споживання електричної енергії і т.п.

1.5 Методи моделювання процесів та технологічних параметрів надійності комплексної безпеки будівель

Моделювання параметрів надійності дозволяє проводити оцінки часу безпечної роботи будівель, визначати види можливих дефектів і прогнозувати

динаміку найважливіших характеристик, що впливають на безпеку і ефективність експлуатації будівель.

Використання статистичних закономірностей дозволяє прогнозувати залишковий ресурс обладнання, проводити планування планово-попереджувальних ремонтів й інших організаційно-технічних заходів, що сприяють підвищенню експлуатаційної надійності будівель.

Досить ефективними методами прогнозування параметрів надійності є адаптаційно-навчальні методи, такі як метод послідовного аналізу Вальда, потенційних функцій і прогнозування по загальній близькості ознак. Ці методи використані для визначення міжремонтного періоду будівель.

Використовувалися також методи розпізнавання образів до завдань підвищення визначення передаварійних ситуацій будівель.

Останнім часом все більш широке застосування в діагностиці технічного стану складних систем знаходять методи теорії динамічного хаосу, що розробляються І.Р. Байковим зі співробітниками. Прояви в системах безпечної експлуатації будівель, характерних для систем з властивостями самоорганізації, вельми різноманітне, але їх використання в діагностичних системах стало можливим після впровадження у виробництво автоматизованих вимірювальних комплексів, що дозволяють накопичувати і обробляти великі обсяги інформації.

При розробці та оцінці достовірності моделей практично завжди виникають проблеми, пов'язані з дискретністю вимірювань, їх точністю і шумовим фактором. Тому постає питання про вирішення обернених задач, тобто задач визначення невідомих причин при заданих наслідках. Рішення обернених задач дозволяє шляхом аналізу експериментальної інформації вибрати адекватну модель, оцінити її параметри, визначити відсутні початкові і граничні умови, тобто породжують процес причини і прийняти рішення.

Багато зворотніх завдань, пов'язаних з інтерпретацією непрямих спостережень, виявляються некоректними. Некоректність завдання означає в даному випадку нестійкість рішення оберненої задачі щодо експериментальних

похибок: навіть малі помилки у вимірах можуть призводити до неприпустимо великих помилок в рішенні.

В умовах нестійкості велике значення має вибір оптимальної складності математичної моделі. Зайве ускладнення моделі може призводити до нестійких алгоритмів ідентифікації і, як правило, позбавляє моделі передбачувальної сили.

Одним із рішень цієї проблеми може служити метод мінімізації середнього ризику. Однак, як показує практика, ефективність даного методу досяжна лише при досить великих за обсягом вибірках експериментальних даних, що далеко не завжди може бути забезпечено в сучасних умовах.

Підвищення рівня експлуатаційної безпеки та надійності технічних систем взагалі і будівельних комплексів, зокрема, має на увазі проведення інших оптимізаційних заходів, наприклад, оптимізацію графіків планово-попереджувальних ремонтів або територіального розміщення об'єктів. Наприклад, оптимізація розміщення ремонтних служб дозволяє скоротити час прибуття ремонтної бригади на аварійний об'єкт, і тим самим скоротити час простою обладнання.

Вдале розміщення трансформаторних підстанцій на території дозволяє скоротити теплові втрати в лініях електропередач і т.п.

Завдання, подібні перерахованим вище, вирішуються методами бурхливого розвитку науки, заснованої на застосуванні сучасних розділів математики і тісно пов'язаної з кібернетикою, теорією автоматичного управління, економікою і рядом інших наук, що отримала назву «Дослідження операцій».

До методів досліджень операцій можна віднести і іншу групу методів отримання рішень, близьких до оптимального. Вони носять назву теорії ігор, або теоретико-ігрові методи.

Класична постановка задачі про прийняття рішення в теорії ігор виглядає наступним чином. Кожен з двох гравців АІВ може прийняти одне з деякої сукупності рішень. Нехай для гравця A це будуть A_i , ($1 < i < m$), а для гравця B -

B_j ($1 < j < n$). В результаті прийняття певного рішення кожним із гравців A_i і B_j один з них виграє деяку суму S_{ij} , інший таку ж суму програє. Правила вибору рішень називаються стратегією гравця. Потрібно визначити таку стратегію гравця A , яка приносить йому максимальний виграш (або мінімальний програш при свідомо не вигідній грі).

Застосування теоретико-ігрових методів дозволяє приймати обґрунтовані рішення при мінімальних відомостях про статистику процесів. Теорія ігор дозволяє отримати ряд можливих рішень, кожне з яких в певному сенсі оптимальне. Єдине рішення з пропонованих повинен прийняти фахівець (особа, яка приймає рішення - ЛПР), завдання якого суттєво спрощується внаслідок скорочення допустимих рішень.

Широке впровадження інформаційно-вимірювальних систем для прогнозування аварійних ситуацій будівель, споруд і технічно складних об'єктів дозволяє накопичити великий масив даних з вимірів поточних параметрів експлуатації - зміни напружень, споживання електричної енергії і т.д. Послідовні значення будь-якої вимірюваної величини являють собою тимчасовий ряд, обробка якого дозволяє прогнозувати майбутню поведінку цього ряду.

Методи обробки часових рядів в даний час добре розроблені і широко застосовуються як для цілей прогнозування, так і в діагностики технічного стану будівель.

Одним з традиційно застосовуваних методів обробки часових рядів є спектральний аналіз - основа вібродіагностичних методів оцінки технічного стану механізмів.

Перспективним методом обробки часових рядів є метод порядкових статистик. Розроблені в роботах рангові порядкові статистики можуть бути обчислені в будь-яких часових рядах, мають характерне положення екстремуму. Використання теорії рангів для розпізнавання зміни в тимчасових рядах зручно тим, що такий підхід дозволяє уникнути труднощів, пов'язаних з

побудовою об'єктивної шкали абсолютних значень вимірюваної величини, так як цей параметр часто є істотно варіабельним.

У багатьох випадках задовільний прогноз розвитку системи може бути отриманий за допомогою методів обробки часових рядів, таких як метод авторегресії, побудови предикторних моделей.

До розвинутих відноситься і метод обробки часових рядів, заснований на досить загальних припущеннях про поведінку динамічних систем. Він являє собою спробу знаходження загальнопрородних законів, проте в даний час розрахункових алгоритмів, що реалізують запропоновану процедуру, не існує.

Слід згадати ще один сучасний метод прогнозування на основі побудови феноменологічної моделі - нейронні мережі. В основі такого підходу лежить ідея про те, що властивості цілого, що складається з найпростіших елементів – нейронів, відрізняються від властивостей складових елементів. Найважливішою властивістю нейронної мережі є її здатність до навчання, суть якого полягає в зміні зв'язків між нейронами. Можливість розпізнавання образів «навченої» мережі зводиться з математичної точки зору до виходу на аттрактор, образ якого формується в процесі навчання.

В даний час створені універсальні пакети програм, що реалізують весь набір нейромережових методів аналізу даних, наприклад пакет STATISTIC A Neural Networks - нейроно-мережовий пакет фірми StatSoft.

Нейронна мережа в багатьох випадках дає хороші прогнози, проте найістотнішим її недоліком є неможливість простежити логічний процес побудови прогнозу, або, інакше кажучи, мережа не здатна пояснити, чому рішення буде саме таким.

Недоліком всіх розглянутих феноменологічних моделей поведінки складної системи є складність фізичної інтерпретації результатів.

Метод, що дозволяє прогнозувати поведінку системи і в той же час в деякій мірі інтерпретувати результати, названий методом "Гусениця". Можливість інтерпретації з'явилася за рахунок активної участі людини-експерта на етапі побудови прогнозу,

Програма "Гусениця" використовується для аналізу і прогнозу тимчасових рядів. В основу програми було покладено вільний від моделі алгоритм, призначений для дослідження структури часових рядів. Цей метод поєднує в собі переваги багатьох класичних методів, зокрема, аналізу Фур'є і регресійного аналізу. Одночасно він відрізняється простотою і наочністю в управлінні.

Базовий варіант методу полягає в перетворенні одновимірної ряду в багатовимірний за допомогою однопараметричної процедури зсуву (звідси і назва "Гусениця"); дослідженні отриманої багатовимірної траєкторії за допомогою аналізу головних компонентів (АГК) і відновленні (апроксимації) ряду, але обраним головним компонентом.

Таким чином, результатом застосування методу є розкладання часового ряду на прості компоненти: повільні тренди, сезонні і інші періодичні або коливальні складові, а також шумові компоненти. Отримане розкладання може служити основою прогнозування як самого ряду, так і його окремих складових.

Таким чином, в даний час існує велика кількість добре розроблених математичних методів, що дозволяють моделювати процеси забезпечення безпеки, оптимізувати умови роботи інформаційно-вимірювальної системи і прогнозувати розвиток технічного стану будівель.

До останнього часу застосування розглянутих методів стримувалося відсутністю великих масивів експериментальних даних, необхідних для обґрунтованого їх використання. До цього моменту, завдяки впровадженню ІІС, ситуація змінилася. Тому слід очікувати, що створення алгоритмів і комп'ютерних програм, що реалізують розглянуті методи, дозволить істотно збільшити рівень експлуатаційної надійності будівель.

1.6 Організація та технологія проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Головною метою організації проведення обстежень комплексної безпеки будівель є визначення експлуатаційної придатності та технічного стану

будівель, що здійснюється шляхом поєднання обстежувальних і аналітичних процедур, які взаємно узгоджуються та доповнюються.

Традиційно, процес обстеження будівель складається із наступних видів робіт:

- збір вихідних даних, вивчення та аналіз проектної і технічної документації;
- загальний огляд об'єкта;
- уточнення умов експлуатації конструкцій, аналіз факторів впливу внутрішнього і навколишнього середовища, знайомство з особливостями технологічних процесів;
- візуальне обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель;
- обмірні роботи;
- інструментальні тести будівельних конструкцій і матеріалів;
- спеціальні і додаткові обстеження (інженерні вишукування, випробування, тривалі спостереження);
- перевірні розрахунки;
- аналіз результатів обстеження технічного стану конструктивних елементів та будівлі в цілому;
- рекомендації щодо подальшої експлуатації та заходів по забезпеченню або відновленню експлуатаційних якостей конструкцій, будівель.

На рис. 1.1 наведена структурна схема організації проведення і виконання робіт з обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель.

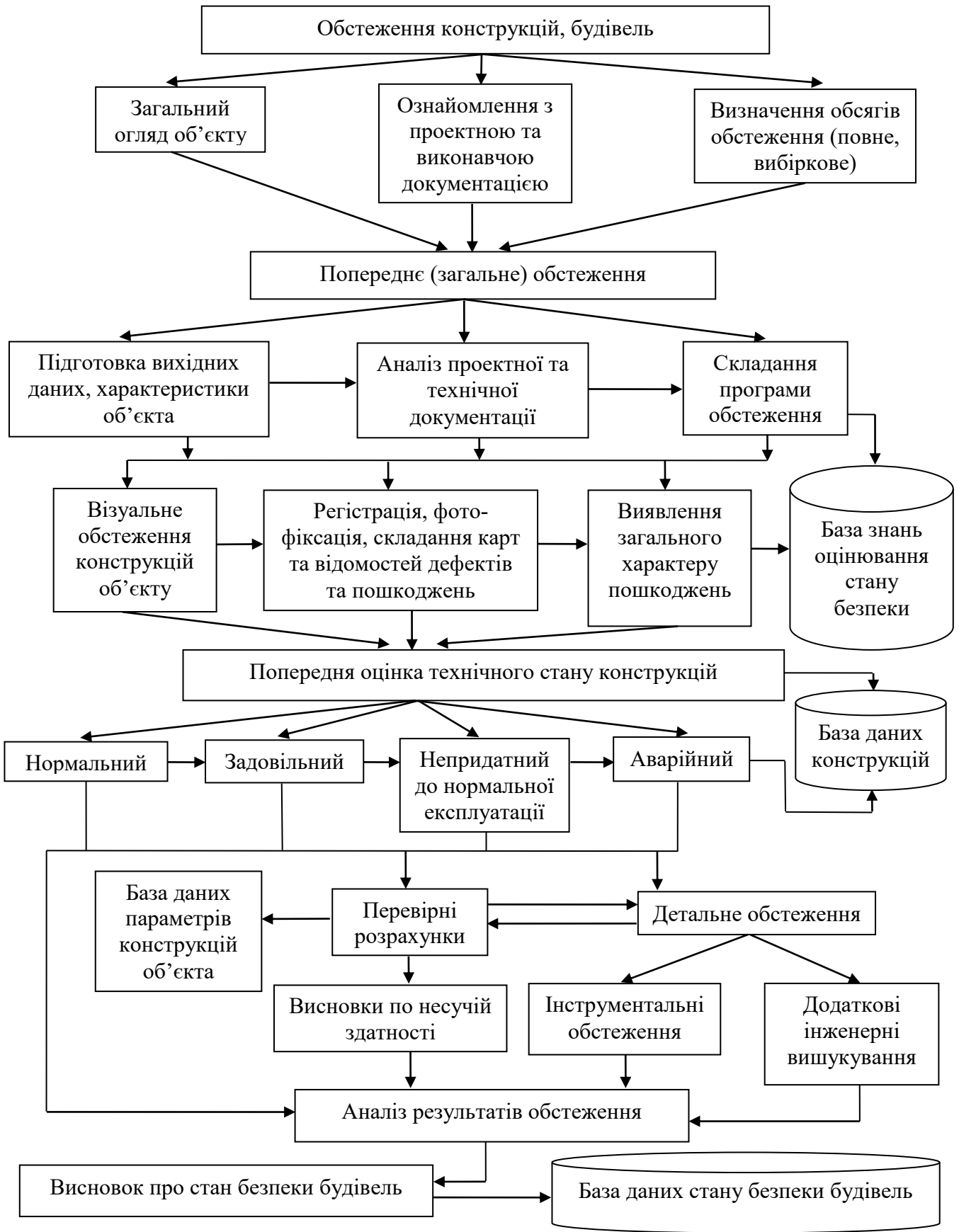


Рисунок 1.1 Структурна схема організації і проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Представлений алгоритм можна розподілити на окремі блоки або етапи:

- загальний огляд об'єкту та ознайомлення з технічною документацією;
- попереднє обстеження та визначення технічного стану елементів і конструкцій за зовнішніми ознаками;
- детальне обстеження;
- перевірні розрахунки та висновки про несучу здатність конструкцій;
- аналіз, порівняння та узагальнення результатів обстеження;
- висновки та рекомендації щодо подальшої експлуатації.

Обсяги обстеження будівлі залежать від комплексу та мети робіт запланованих замовником – обстежується будівля в цілому чи її окремі частини і конструкції. Програма обстеження має передбачати отримання достатньо повної і об'єктивної інформації щодо стану об'єкта за умови мінімального обсягу обстежувальних процедур. Склад і порядок робіт з обстеження може бути скоригований: паралельне або послідовне виконання робіт, зменшення або збільшення їх кількості, поєднання етапів. Наприклад, візуальне обстеження може виконуватися паралельно з інструментальним обстеженням. У кожному конкретному випадку, в залежності від класу відповідальності будівлі її стану та мети обстеження, деякі види робіт, або окремі етапи обстеження можуть за достатнього обґрунтування не проводитися. Кінцевим підсумком усього циклу робіт з обстеження є висновок про технічний стан будівель. На підставі діагностики технічного стану приймають рішення щодо експлуатації будівлі.

Важливим етапом при проведенні діагностики будівель є детальні обстеження, які неможливо виконати без сучасної інструментальної бази. На цьому етапі використовують інструментальні тести як будівельних конструкцій, так і матеріалів. В процесі виконання інструментальних обстежень застосовують найрізноманітніші прилади, обладнання та інструменти, за допомогою яких вимірюють геометричні характеристики та деформації конструкцій, проводять дефектоскопію, визначають фізико-механічні і фізико-

технічні характеристики та оцінюють ступінь корозійного зношення матеріалів та інші характеристики.

На рис. 1.2 наведена експертна інформаційна технологія проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

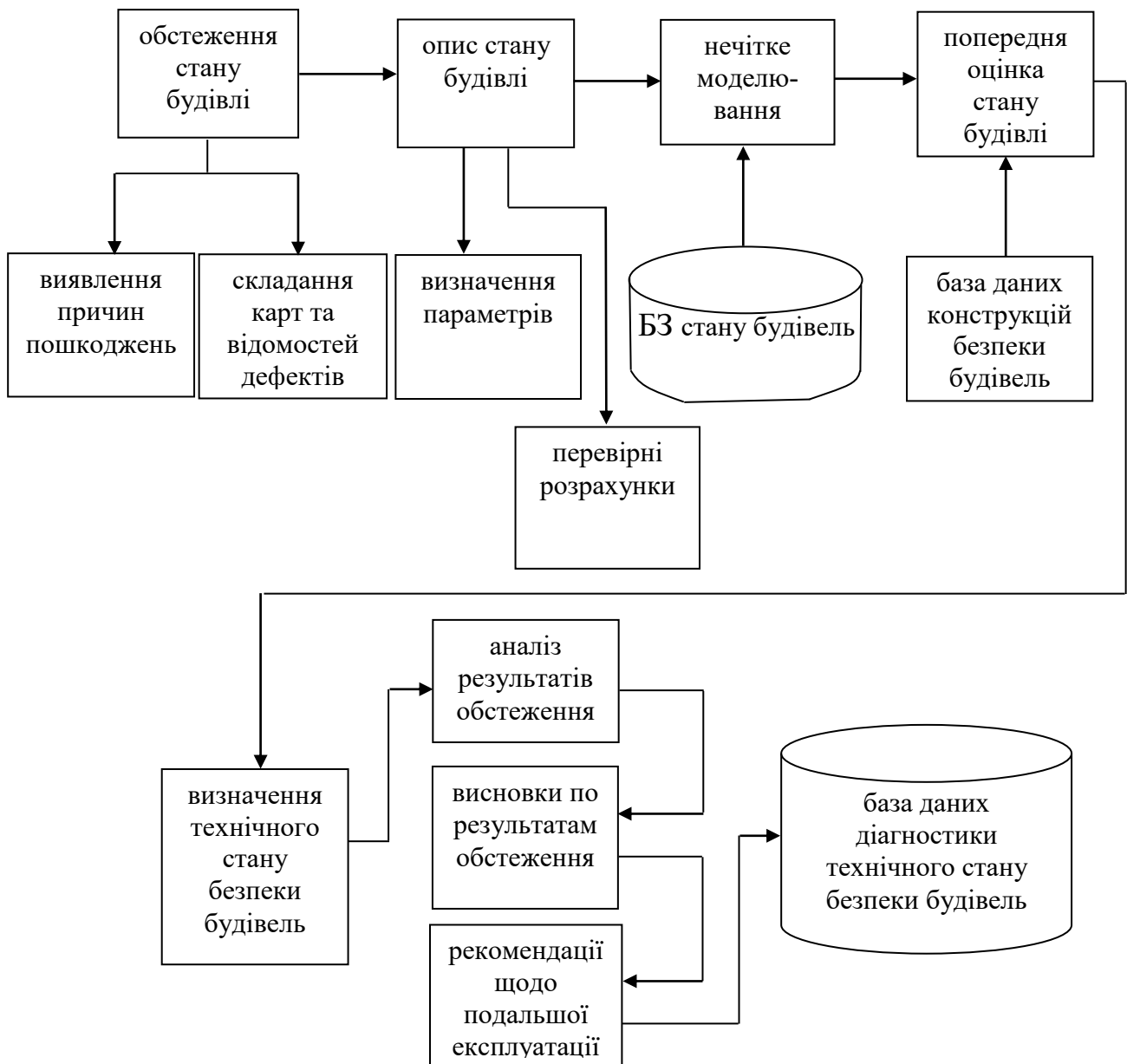


Рисунок 1.2 Експертна інформаційна технологія проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Обстеження може містити в собі етап більш заглибленого експериментального дослідження несучих конструкцій будівель, що проводиться на заключних стадіях обстеження з метою одержання більш повних даних про дійсну роботу конструкції і її окремих найбільш відповідальних елементів і вузлів. Проведення такого етапу дає в повному обсязі характеристику напружено-деформованого стану конструкції на момент проведення обстеження, а також характер зміни деформацій і напруг при додатку спробного навантаження. Результати натурних випробувань при обстеженні будівель дозволяють проконтролювати дані перерахунку і дати більш обґрунтований висновок про стан конструкцій. Разом з тим, коло питань, розв'язуваних при проведенні натурних іспитів, не обмежується задачами обстеження. Так, метою іспитів, проведених у лабораторіях, є перевірка основних показників якості виготовлення: несучої здатності, стійкості, тріщиностійкості і деформативності конструкцій. Ці іспити проводяться до повного руйнування конструкцій.

Основними факторами, що впливають на обсяги та технологію проведення обстежень є: зміни об'ємно-планувальних характеристик, конструктивних схем, функціонального призначення, діючих навантажень на конструкції, підвищення вимог до проектування та експлуатації будівель. Значною мірою на їх експлуатаційну надійність впливають фактори техногенного характеру (підняття рівня підземних вод, розробка територій, тощо); старіння конструкцій при їх тривалій чи інтенсивній експлуатації; дія навколишнього середовища (агресивні сполучення, біологічні фактори, тощо); кліматичні умови (температура, вологість, вітер, сонячна радіація); умови експлуатації (перевантаження конструкцій, динамічні навантаження, вібрація). Без виконання обстежень неможлива ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій: стихійних природних явищ (землетрус, повінь, ураган, обмерзання); аварій (вибух, аварійне замочування основи, пожежа, тощо).

На рис. 1.3 представлені етапи проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель.

Обстеженню будівлі передують його попередній огляд, у процесі якого визначається обсяг виконуваних робіт, виконується попередня оцінка стану, встановлюються основні об'ємно-планувальні і конструктивні рішення.

Другим етапом є первинне ознайомлення з проектно-технічною документацією на обстежуваний об'єкт, у процесі якого встановлюється наявність вихідних даних для виконання робіт з обстеження. Більш детальний аналіз і пророблення технічної документації здійснюється в процесі виконання робіт.

В процесі візуального обстеження формуються відомості і карти дефектів, виявляються передбачувані причини виникнення тих чи інших пошкоджень і дефектів, уточнюється необхідність і обсяги наступних інструментальних обстежень і додаткових дослідницьких робіт.

Інструментальне обстеження конструкцій виконується для встановлення фактичних фізико-технічних, міцнісних, конструктивних і інших характеристик, а також у випадках проведення перевірних розрахунків і виявлення дефектних або пошкоджених елементів, ступінь зносу і технічний стан яких важко визначити візуально.

Останнім етапом робіт на об'єкті є додаткові дослідницькі роботи, до яких відносяться спостереження за деформаціями і переміщеннями будівлі (конструкцій) з використанням методів інженерної геодезії, визначення фактичних інженерно-геологічних умов площадки, розкриття окремих конструкцій та інше.

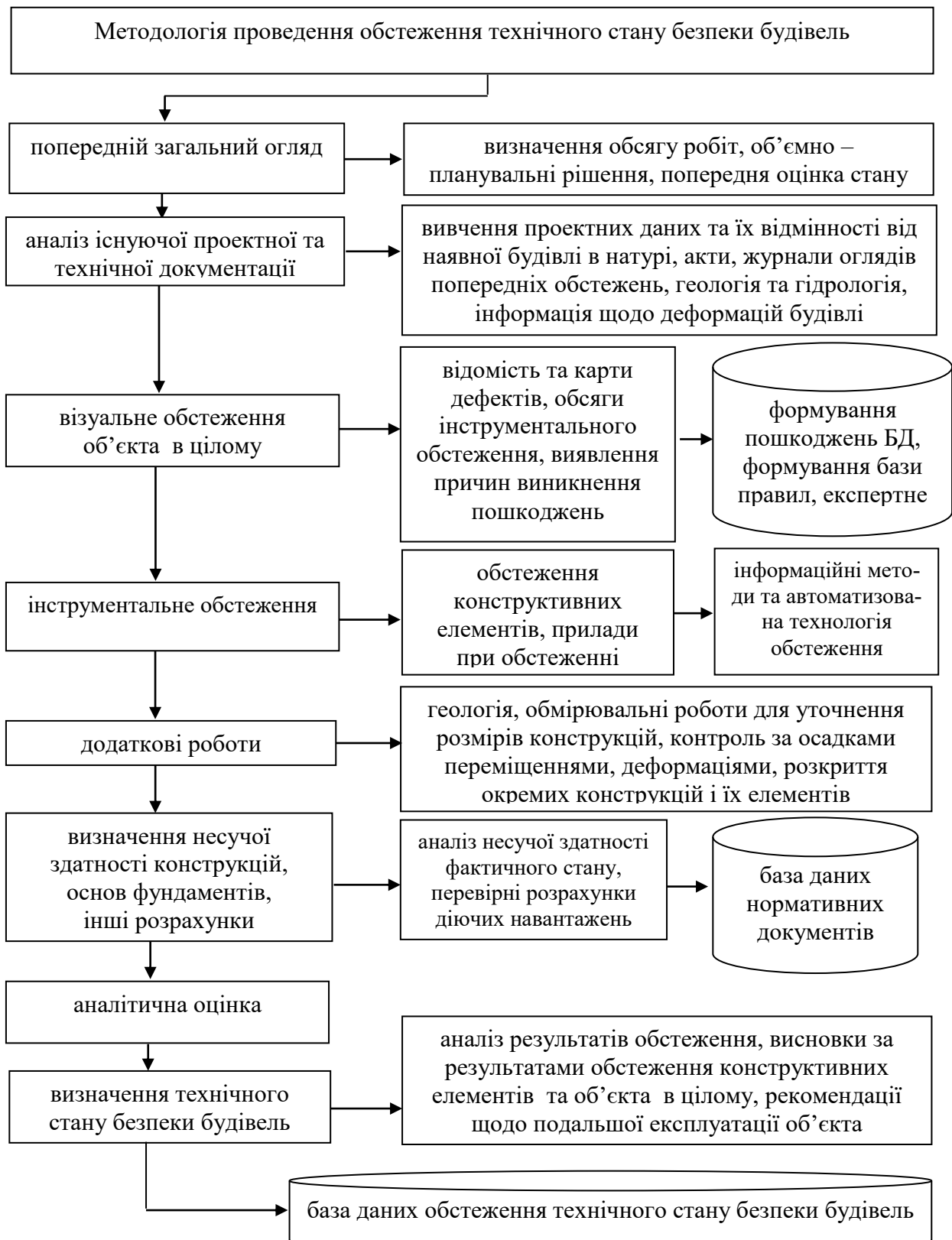


Рисунок 1.3 Етапи проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Необхідність у проведенні зазначених видів робіт з'являється у випадках недоліку даних для проведення різних перевірних розрахунків і спостереження за динамікою розвитку деформацій і переміщень будівлі (конструкції). Наявність додаткового збору інформації в процесі обстеження технічного стану будівлі збільшує трудомісткість і час виконання робіт, а також вимагає залучення додаткових підрозділів, фахівців.

В залежності від мети і задач обстеження, після завершення збору інформації про будівлю, виконуються визначення несучої здатності конструкцій і інші перевірні розрахунки, що в свою чергу виготовляються паралельно з проробленням проектної і технічної документації.

Завершальним етапом будь-якого виду обстеження є складання висновків, заключення і рекомендацій щодо експлуатації будівлі за результатами робіт.

Виділення загальних для всіх випадків обстеження блоків або окремо взятих робіт шляхом членування етапів обстеження дозволяє виявити процеси, що надалі повинні бути автоматизовані.

Як перший крок у цьому напрямку розпочата спроба схематизації процесу обстеження при вирішенні задач різного рівня і спрямованості, таких як: усунення помилок проектування об'єктів; реконструкція будинків; оцінка фізичного зносу елементів; виникнення надзвичайних ситуацій; виявлення ступеня впливу нового будівництва на стару забудову; контроль якості будівництва нового об'єкта; визначення технічного стану будівель; планові обстеження будівель; комплексна паспортизація будівель.

На рис. 1.4 наведена структурна схема процесу та умов проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель на різних етапах рішення.

На рис. 1.5 представлена технологія проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель.

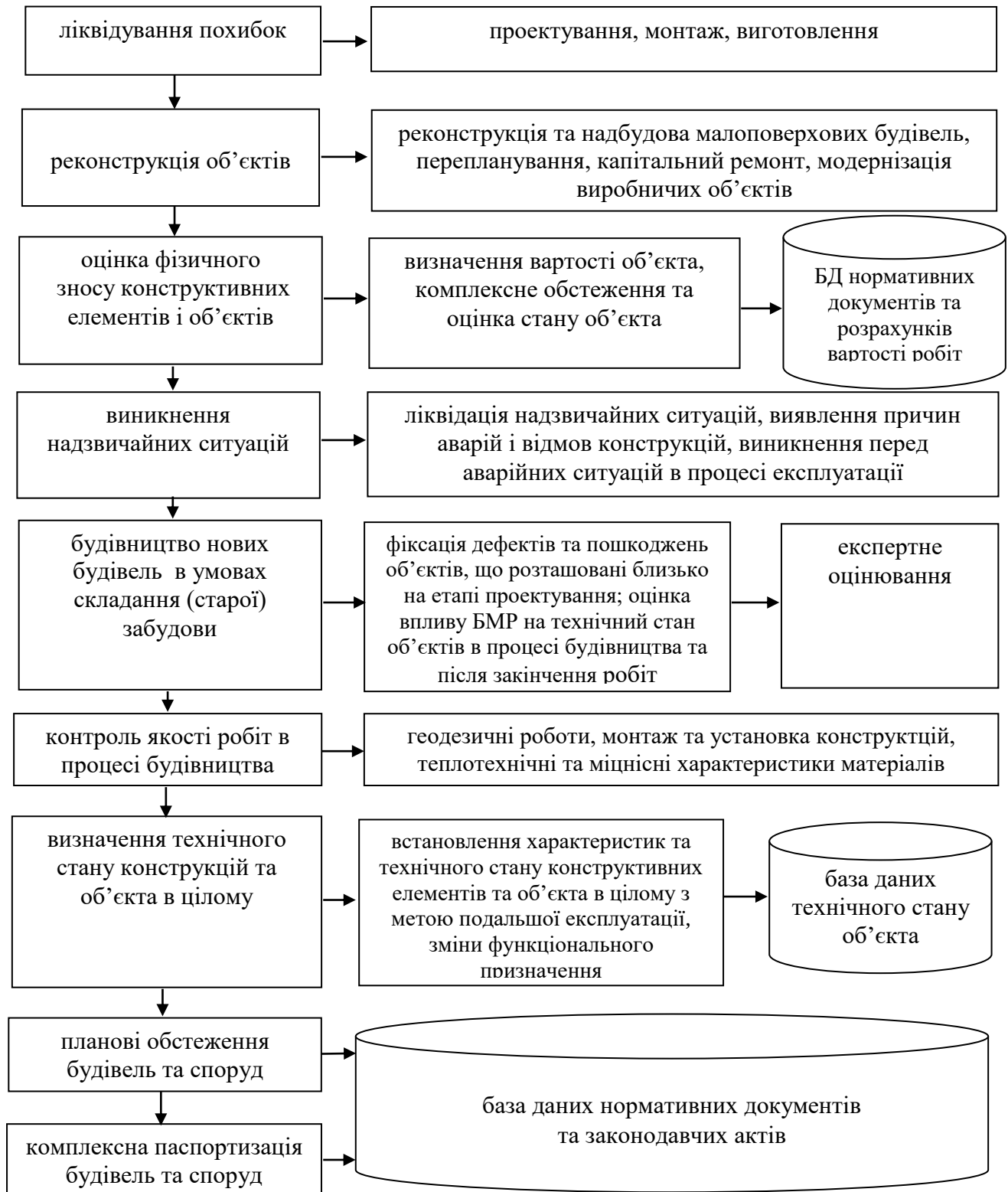


Рисунок 1.4 Структурна схема процесу та умов проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель на різних етапах рішення



Рисунок 1.5 Технологія проведення обстеження системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

2 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗПЕКИ

2.1 Метод безеталонного оцінювання значень параметрів безпечної експлуатації будівель

Пропонується новий метод безеталонного оцінювання значень параметрів безпечної роботи будівель, що вимагає замість процедури порівняння об'єкта з еталоном упорядкування вибірки з безлічі об'єктів. При цьому передбачається, що на підставі бази даних інформаційної системи можна побудувати закони розподілу аналізованих параметрів.

Відзначимо деякі властивості порядкових статистик, використовуваних в подальших побудовах.

Нехай функція розподілу $F(x)$, що розглядається генеральної сукупності неперервна майже всюди. Елементи вибірки з цієї генеральної сукупності $x_1, x_2, \dots, x_n$ отримані як послідовні значення вимірюваного тимчасового ряду будь-якого параметра. змінивши вихідне розташування цих елементів відповідно до їх зростання (чи спадання), отримаємо ряд: $x_1 < x_2 < \dots < x_n$.

В такому випадку елементи x_i являють собою i -ю порядкову статистику в вибірці обсягу n з генеральної сукупності. при подібному підході генеральна сукупність є комплексом випадкових величин.

При використанні порядкових статистик для обробки даних немає необхідності побудови динамограми в її стандартному вигляді - у вигляді замкнутої кривої. Дані являють собою тимчасові ради даних $\{x_i\}$ за своєю суттю аналогічні осцилограмам. На практиці рангові порядкові статистики можуть бути обчислені в будь-яких часових рядах, мають характерне положення екстремуму. З урахуванням випадкової складової вимірюваних значень залежності напруги від часу можна представити у вигляді:

$$F(t) = \theta(t) - \xi(t) \quad (2.1),$$

де $F(t)$ - напруга в момент часу t ; $\theta(t)$ - функція, що описує зміна напруги у часі; $\xi(t)$ - шумова складова виміру, має в загальному випадку довільний розподіл.

Використання теорії рангів для розпізнавання зміни в динамограмі зручно тим, що такий підхід дозволяє уникнути труднощів, пов'язаних з побудовою об'єктивної шкали абсолютних значень навантажень, оскільки цей параметр є істотно варіабельний.

У подальших побудовах під рангом вимірювання розуміти номер $R(F_j)$, який набуває цей вимір в упорядкованому за зростанням ряду значень при $k < i < k + n$, де n - обсяг вибірки. М. Кендел показав, що при аналізі залежності зручно використовувати статистику $S(n) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \delta_{ij}$, де

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } F_i > F_j \\ 0 & \text{при } F_i = F_j \\ -1 & \text{при } F_i < F_j \end{cases} \quad (2.2),$$

де F_i, F_j - вимірювання з тимчасового ряду напруги, $j < N$.

Коефіцієнт рангової кореляції

$$k = \frac{2S(n)}{n(n-1)} \quad (2.3)$$

дозволяє зробити висновки про ступінь монотонності залежності $F(t)$.

При $k = 1$ значення монотонно зростають, $k = -1$ характеризує монотонне спадання.

Проведений ряд на підставі використання баз даних інформаційної системи, що розглядаються як тимчасові ряди, показав, що в більшості випадків ці ряди характеризуються цілим набором характерних локальних екстремумів функції $F = F(t)$. Тим самим порушується умова монотонності функції, що визначається статистикою Кендалла.

В роботі було показано, що першу статистику Кендалла можна доповнити, якщо існує достовірна апріорна інформація при координатах локальних екстремумів, які поділяють області зростання або спадання функції.

Це досягається за рахунок використання тотожності $N=2n$. (для парної кількості вимірювань і симетричного розташування точки екстремуму).

Дійсно, якщо розбити вибірку вимірювань на перші і другі спостереження, то величина

$$S_2 = S^{(1)} - S^{(2)} \quad (2.4)$$

і коефіцієнт рангової кореляції Кендела другого порядку

$$k_2 = \frac{2S(n)}{n(n-1)} \quad (2.5)$$

будуть кількісно описувати характер зміни тимчасової послідовності $\{F_t\}$.

Аналіз функції показує, що якщо $\{F_j\}$ монотонно зростає від F_1 до F_n і монотонно убыває від F_{n+1} до F_{2n-N} , то значення k_2 буде в точності дорівнювати $+1$. При цьому не грає ролі, як швидко зростають або зменшуються значення F_j з ростом i . Важливо лише те, щоб екстремум припадав на точку з номером n .

Аналіз результатів вимірювань свідчить про те, що протягом досить тривалого відрізка часу розташування локальних екстремумів на динамограмі залишається незмінним, хоча у тимчасових інтервалах між координатами цих екстремумів спостерігаються досить істотні варіації напружень.

Однак з часом технічний стан будівлі змінюються, що, як наслідок, супроводжується зміною виду динамограмми і координат відповідних локальних екстремумів. Старіння будівель можна охарактеризувати тимчасовим вектором стабільного напрямку. Внаслідок цього можна припустити, що статистика Кендела другого порядку зазнаватиме змін з погіршенням технічного стану будівлі.

Аналіз цих результатів показує, що прогнозування зміни технічного стану будівель тільки за одним параметром є малодостовірним. Навпаки, зміна параметра k_2 - статистики Кендела характеризує всі етапи експлуатації будівель та зміна режимних характеристик їх роботи.

Аналіз результатів досліджень показує, що параметр k_2 є вельми чутливим показником, що характеризує зміну рівня технічного стану будівель.

Зауважимо, що прикордонним значенням параметра k_2 , що відокремлює один характерний стан несучої конструкції від іншого, є величина $k_2 = 0,5$ (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 Статистики Кендела другого порядку в залежності від технічного стану об'єкта

п/п	Рівень технічного стану несучої конструкції будівлі	Величина параметру k_2
1	Стійке добове навантаження, дефекти відсутні.	0,95 – 0,99
2	Передаварійний стан, розвиток дефектів	0,1 – 0,5

Таким чином, статистика Кендела другого порядку може служити діагностичним критерієм, що дозволяє виносити судження виду «так» / «ні» про рівень технічної безпеки експлуатації будівель.

Аналогічні розрахунки були нами реалізовані для 200 несучих конструкцій будівель, в рамках яких було оброблено понад 300 серій вимірювань. Отримані результати повністю відповідають табл. 2.1. Зауважимо при цьому, що інтервальні оцінки показника k_2 для стану системи «дефектів немає» і «наявність розвиненого дефекту» повністю перекриваються, що свідчить про малу чутливість параметра k_2 безпосередньо до розвитку дефекту.

З іншого боку, стрибкоподібна зміна статистики Кендела при виході несучих конструкцій зі стану «стійке добове навантаження, дефектів немає» - свідчить про високу чутливість параметра k_2 до моменту зміни рівня порогової технічної безпеки експлуатації будівлі.

Проведені дослідження показують, що висока варіабельність значень вимірів і зміна умов, що оточують будівлі, не дозволяють проводити достовірні порівняння вимірних значень, придатних для експертного оцінювання зміни рівня технічного стану будівель.

Значення напруги, які характеризуються високим рівнем шуму, доцільно обробляти із застосуванням методів теорії порядкових статистик, що дозволяють обробляти дані без побудови шкал абсолютних оцінок. Для визначення рівня експлуатаційної безпеки роботи будівель можна використовувати точкову оцінку - коефіцієнт рангової кореляції Кендела

другого порядку, зміна величини якого до критичного значення $\kappa_2 = 0,5$ свідчить про зміну порогового рівня безпечної експлуатації об'єкта.

2.2 Методи непараметричної кореляції і регресія для оцінки стану системи діагностики технічного стану комплексної безпеки будівель

Є дві групи пов'язаних спостережень $X = (x_1 \dots, x_m)$ і $Y = (y_1 \dots, y_m)$.

Якщо є сумніви в застосовності Гаусом моделі розподілу даних (а вони, в більшості випадків, небезпідставні), то для оцінки зв'язку між змінними Y і X можна скористатися деякими альтернативами методу найменших квадратів. Реальним змістом цих вимірювань є той порядок, в якому вибудовуються об'єкти за ступенями вираженості вимірюваної ознаки. Порядковий номер числа в такому відсортованому списку називається його рангом.

Необхідно оцінити ступінь впливу ознаки X на ступінь вираженості відгуку Y . Якщо такого впливу немає, то справедлива нульова гіпотеза H_0 про незалежність порядкових ознак. Вирішення цього завдання шукається, ґрунтуючись на ранги вимірювань.

Математична постановка задачі

Нехай кожному i -му вимірюванню приписана пара натуральних чисел (r_i, s_i) , де r_i - ранг x_i серед чисел $(x_1, \dots, x_m)$, а s_i - рангу y_i серед чисел $(y_1, \dots, y_m)$. Будемо при цьому вважати, що серед рядів чисел X і Y немає повторюваних значень, так що перехід до рангів питань не викликає.

Якщо ознаки X і Y взаємопов'язані, то послідовність рангів $r_1, r_2, \dots, r_m$ впливає на рангову послідовність $s_1, s_2, \dots, s_m$; в іншому випадку порядок серед Y випадковий по відношенню порядку серед X . Тому центральним моментом обговорення гіпотези H_0 є оцінка, наскільки є ранги $s_j, s_2, \dots, s_m$ $s_1, s_2, \dots, s_m$ рівно можливими (тобто рівно ймовірними) при будь-якому порядку чисел $r_1, r_2, \dots, r_m$. Другим важливим моментом є вибір міри схожості двох наборів рангів.

Коефіцієнт рангової кореляції, заснований на тому, що близькість цих двох рядів чисел відображає величина:

$$S = \sum_{i=1}^m (r_i - s_i)^2 \quad (2.6),$$

яка варіюється від 0, якщо послідовності повністю збігаються, до

$$\frac{m^3 - m}{3} \quad (2.7),$$

коли послідовності рангів повністю протилежні.

Нормований до свого максимального значення, коефіцієнт рангової кореляції Спірмена

$$p = 1 - \frac{6S}{m^3 - m} \quad (2.8)$$

варіює від +1 до -1 і свої крайні значення приймає в разі повної передбачуваності однієї рангової послідовності по іншій. Зауважимо, що значення S не залежить ні від значення першого номера послідовності, ні від порядку сортування.

Інший коефіцієнт рангової кореляції, який отримав популярність після робіт М. Кендалла, як міри схожості між двома ранжуваннями використовує мінімальне число перестановок, яке треба здійснити між сусідніми об'єктами, щоб одне впорядкування об'єктів перетворити в інше.

Статистику Кендалла K підраховують наступним чином. Вибудовують пов'язані спостереження в порядку зростання ознаки X і для кожного значення u_i визначають його ранг s_i . На послідовності рангів $s_1, s_2, \dots, s_m$ визначають кількість інверсій, тобто порушень порядку слідування. Наприклад, при $m = 4$ і послідовності рангів $\{4, 3, 1, 2\}$ маємо кількість інверсій (суть - статистику Кендалла) $K = 3 + 2 = 5$, де 3 - кількість інверсій для числа 3 і 2 - кількість інверсій для числа 1. Найменше можливе значення $K = 0$ виходить при повному збігу рангових послідовностей, найбільше $K = \frac{m(m-1)}{2}$ при повній їх протилежності.

Коефіцієнт рангової кореляції по Кендаллу являє собою статистику, нормовану по її максимуму, і змінюється в тих же межах, що і коефіцієнт кореляції Спірмена

$$\tau = 1 - \frac{4k}{m(m-1)} \quad (2.9).$$

Статистика τ Кендалла еквівалентна ρ Спірмена як по потужності, так і по виконанню основних припущень. Зазвичай, однак, числові значення ρ Спірмена і τ Кендалла різні, тому що вони відрізняються як своєю внутрішньою логікою, так і способом обчислення. Більш важливим є те, що статистики Кендалла і Спірмена мають різну інтерпретацію: якщо коефіцієнт кореляції Спірмена може розглядатися як прямий аналог коефіцієнта кореляції τ Пірсона, обчислений за рангами, то статистика Кендалла швидше заснована на підрахунку ймовірностей (висловлюючись більш точно, перевіряється наявність відмінностей між вірогідністю близько розташованих спостережуваних даних для двох величин).

Якщо в даних є багато співпадаючих значень, то краще використовувати третю рангову статистику τ - критерій, який по своїй інтерпретації і обчислень еквівалентний статистикою Кендалла, за винятком того, що збіги явно враховуються в нормуванні. Висловлюючись коротко, τ являє собою різницю між ймовірністю того, що ранговий порядок двох змінних збігається, мінус ймовірність того, що він не збігається, поділену на одиницю мінус ймовірність збігів.

Для перевірки припущення про відсутність зв'язку між ознаками треба обчислити вибіркове значення будь-якого коефіцієнта рангової кореляції і порівняти його з критичним значенням для даного рівня значущості. Нульову гіпотезу H_0 слід відкинути, якщо отримане в досвіді значення коефіцієнтів τ або ρ по модулю перевершує критичне.

Критичні значення рангових критеріїв можна знайти за таблицями, або обчислити за наближеними формулами, які засновані на тому, що при H_0 і зі збільшенням m розподіл випадкових величин $\rho = \sqrt{m-1}$

$\tau = \sqrt{\frac{9m(m+1)}{2(2m+5)}}$ асимптотично наближається до стандартного нормального закону $N(0,1)$.

Статистики таблиць спряженості

Таблиці пов'язаності дозволяють виміряти зв'язки між кросстабульованими змінними.

Спостережувані на практиці зв'язки значно слабкіше, і тому виникає питання: як виміряти зв'язки між табульованими змінними і оцінити їх надійність (статистичну значущість). Далі обговорюються найзагальніші заходи зв'язку між двома категоризованими змінними.

Методи, які використовуються для аналізу зв'язків між більш ніж двома змінними в таблицях високого порядку, обговорюються в розділах *Логлінійний аналіз* і *Аналіз відповідностей*.

Критерій χ^2 -квадрат Пірсона.

χ^2 -квадрат Пірсона - це найбільш простий критерій перевірки значущості зв'язку між двома змінними. Критерій Пірсона ґрунтується на тому, що в двовходовій таблиці *очікувані* частоти при гіпотезі "між змінними немає залежності" можна обчислити безпосередньо.

Значення статистики χ^2 -квадрат і її рівень значимості залежить від загального числа спостережень і кількості осередків в таблиці. Відносно малі відхилення спостережуваних частот від очікуваних буде доводити значимість, якщо число спостережень велике.

Є тільки одне істотне обмеження використання критерію χ^2 -квадрат (крім очевидного припущення про випадковий виборі спостережень), яке полягає в тому, що очікувані частоти не повинні бути дуже малі. Це пов'язано з тим, що критерій χ^2 -квадрат за своєю природою перевіряє ймовірності в кожному осередку; і якщо очікувані частоти в осередках стають маленькими, наприклад, менше 5, то ці ймовірності не можна оцінити з достатньою точністю за допомогою наявних частот.

Критерій χ^2 -квадрат (метод максимальної правдоподібності).

Максимум правдоподібності χ^2 -квадрат призначений для перевірки тієї ж самої гіпотези щодо зв'язків у таблицях спряженості, що і критерій χ^2 -квадрат Пірсона. Однак його обчислення засноване на методі максимальної правдоподібності. На практиці статистика МП χ^2 -квадрат дуже близька за величиною до звичайної статистики Пірсона χ^2 -квадрат.

Поправка Йетса. Апроксимація статистики χ^2 -квадрат для таблиць 2×2 з малим числом спостережень в осередках може бути поліпшена зменшенням абсолютного значення різниць між очікуваними і спостережними частотами на величину 0.5 перед зведенням в квадрат (так звана поправка Йетса). Поправка Йетса, що робить оцінку більш помірною, зазвичай застосовується в тих випадках, коли таблиці містять тільки малі частоти, наприклад, коли деякі очікувані частоти стають менше 10.

Точний критерій Фішера. Цей критерій можна застосувати тільки для таблиць 2×2 . Критерій заснований на наступному міркуванні. Дано маргінальні частоти в таблиці, припустимо, що обидві табульовані змінні незалежні. Задамо питання: наскільки ймовірним є отримання спостережуваних в таблиці частот, виходячи із заданих маргінальних? Виявляється, ця ймовірність обчислюється точно підрахунком всіх таблиць, які можна побудувати, виходячи з маргінальних. Таким чином, критерій Фішера обчислює точну вірогідність появи спостережуваних частот при нульовій гіпотезі (відсутність зв'язку між табульованими змінними). В таблиці результатів наводяться як односторонні, так і двосторонні рівні.

χ^2 -квадрат Макнемара. Цей критерій застосовується, коли частоти в таблиці 2×2 представляють залежні вибірки. Наприклад, спостереження одних і тих же індивідумів до і після експерименту. Зокрема, ви можете підраховувати число студентів, які мають мінімальні успіхи з математики на початку і в кінці семестру або перевагу одних і тих же респондентів до і після реклами. Обчислюються два значення χ^2 -квадрат: A / D і B / C . A / D χ^2 -квадрат перевіряє гіпотезу про те, що частоти в осередках A і D (верхня ліва,

нижня права) однакові. *B / C* *хі-квадрат* перевіряє гіпотезу про рівність частот в осередках *B* і *C* (верхня права, нижня ліва).

Коефіцієнт Φ . *Фі-квадрат* представляє собою міру зв'язку між двома змінними в таблиці 2x2. Його значення змінюються від 0 (немає залежності між змінними; *хі-квадрат* = 0.0 до 1 (абсолютна залежність між двома факторами в таблиці). Подробиці див. В Castellan and Siegel (1988, стор. 232).

Тетрахорічна кореляція. Ця статистика обчислюється і застосовується тільки для таблиць спряженості 2x2. Якщо таблиця 2x2 може розглядатися як результат (штучного) розбиття значень двох безперервних змінних на два класи, то коефіцієнт тетрахорічної кореляції дозволяє оцінити залежність між двома цими змінними.

Коефіцієнт спряженості. Коефіцієнт спряженості являє собою засновану на статистиці *хі-квадрат* міру зв'язку ознак в таблиці спряженості (запропоновану Пірсоном). Перевага цього коефіцієнта перед звичайною статистикою *хі-квадрат* тому, що він легше інтерпретується, т.я. діапазон його зміни знаходиться в інтервалі від 0 до 1 (де 0 відповідає випадку незалежності ознак в таблиці, а збільшення коефіцієнта показує збільшення ступеня зв'язку). Недолік коефіцієнта спряженості в тому, що його максимальне значення "залежить" від розміру таблиці. Цей коефіцієнт може досягати значення 1 тільки, якщо число класів не обмежено.

Інтерпретація заходів зв'язку. Істотний недолік заходів зв'язку (Розглянутих вище) пов'язаний з труднощами їх інтерпретації в звичайних термінах ймовірності або "частки поясненої варіації", як у випадку коефіцієнта кореляції r Пірсона (див. Кореляції). Тому не існує одного загальноприйнятого заходу або коефіцієнта зв'язку.

Статистики, засновані на рангах. У багатьох задачах, що виникають на практиці, ми маємо вимірювання лише в порядковій шкалі (див. *Елементарні поняття статистики*). Особливо це відноситься до вимірювань в області психології, соціології та інших дисциплінах, пов'язаних з вивченням людини. Припустимо, ви опитали деяку кількість респондентів з метою

з'ясування їх ставлення до певних видів спорту. Ви уявляєте вимірювання в шкалі з наступними позиціями: (1) *завжди*, (2) *зазвичай*, (3) *іноді* і (4) *ніколи*. Очевидно, що відповідь *іноді цікавлюся* показує менший інтерес респондента, ніж відповідь *зазвичай цікавлюся* і т.д. Таким чином, можна впорядкувати (ранжувати) ступінь інтересу респондентів. Це типовий приклад порядкової шкали. Для змінних, виміряних в порядковій шкалі, є свої типи кореляції, що дозволяють оцінити залежності.

R Спірмена. Статистику R Спірмена можна інтерпретувати так само, як і кореляцію Пірсона (r Пірсона) в термінах поясненої частки дисперсії (маючи, однак, на увазі, що статистика Спірмена обчислена по рангах) . Передбачається, що змінні виміряні як мінімум в порядковій шкалі.

Tau Кендалла. Статистика τ_{au} Кендалла еквівалентна R Спірмена при виконанні деяких основних припущень. Також еквівалентні їх потужності. Однак зазвичай значення R Спірмена і τ_{au} Кендалла різні, тому що вони відрізняються як своєю внутрішньою логікою, так і способом обчислення. Співвідношення між цими двома статистиками покажемо наступною нерівністю:

$$-1 < 3\tau - 2R \leq 1 \quad (2.10).$$

Більш важливим є те, що статистики Кендалла τ_{au} і Спірмена R мають різну інтерпретацію: в той час як статистика R Спірмена може розглядатися як прямий аналог статистики r Пірсона, обчислений за рангами, статистика Кендалла τ_{au} швидше заснована на ймовірності. Більш точно, перевіряється, що є відмінність між ймовірністю того, що спостерігаються дані, розташовані в тому ж самому порядку для двох величин і ймовірністю того, що вони розташовані в іншому порядку. Зазвичай обчислюється два варіанти статистики τ_{au} Кендалла: τ_{au_b} і τ_{au_c} ці заходи розрізняються лише способом обробки співпадаючих рангів. В більшості випадків їх значення досить схожі. Якщо виникають відмінності, то, мабуть, найбезпечніший спосіб - розглядати найменше з двох значень.

Коефіцієнт d Соммера: $d(X | Y)$, $d(Y | X)$. Статистика d Соммера являє собою несиметричну міру зв'язку між двома змінними. Ця статистика близька до τ_{ab} .

Гамма-статистика. Якщо в даних є багато співпадаючих значень, статистика *гамма* краще R Спірмена або τ_{au} Кендалла. З точки зору основних припущень, статистика *гама* еквівалентна статистикою R Спірмена або τ_{au} Кендалла. Її інтерпретація і обчислення більше схожі на статистику τ_{au} Кендалла, ніж на статистику R Спірмена. Кажучи коротко, *гамма* є також вірогідність; точніше, різницю між ймовірністю того, що ранговий порядок двох змінних збігається, мінус ймовірність того, що він не збігається, поділену на одиницю мінус ймовірність збігів. Таким чином, статистика *гамма* в основному еквівалентна τ_{au} Кендалла, за винятком того, що збіги явно враховуються в нормуванні.

Коефіцієнти невизначеності. Ці коефіцієнти вимірюють інформаційний зв'язок між факторами (рядками і стовпцями таблиці). Поняття інформаційної залежності бере початок в теоретико-інформаційному підході до аналізу таблиць частот, куди можна звернутися з відповідною інструкцією для роз'яснення цього. Є симетричною і вимірює кількість інформації в змінній Y відносно змінної X в змінної X відносно змінної Y . Статистики $S(X | Y)$ і $S(Y | X)$ виражають спрямовану залежність.

2.3 Паліативний метод прогнозування передаварійних ситуацій безпеки будівель

В дисертації пропонується паліативний метод прогнозу, в якому можлива інтерпретація результатів за рахунок участі в процедурі прогнозу особи, що приймає рішення про достатність точності прогнозу. В його основі лежить вільний від моделі алгоритм, призначений для дослідження структури часових рядів. Цей метод поєднує в собі краще багатьох інших алгоритмів, зокрема, аналізу Фур'є і регресійного аналізу. Одночасно він відрізняється наочністю і простотою в управлінні.

Розглянуто тимчасовий ряд $\{x_i\}_{i=1}^N$ утворений послідовністю N рівновіддалених значень деякої (можливо, випадкової) функції

$$f(t): x_i = f((i-1)Dt) \text{ де } i = 1, 2, \dots, N \quad (2.11).$$

Алгоритм аналізу одновимірних часових рядів.

Крок 1. Розгортання одновимірного ряду в багатовимірний.

Нехай деяке число $M < N$. Представити перші M значень послідовності f в якості першого рядка матриці X , в якості другого рядка матриці - значення послідовності з x_2 по x_{M+1} . Останнім рядком з номером $k = N - M + 1$ будуть останні M елементів послідовності.

Матриця, елементи якої рівні $x_{ij} = x_{i+j-1}$, являють собою M - мірну вибірку обсягу k або M - мірний часовий ряд, якому відповідає M - мірна траєкторія (ламана в M - вимірному просторі з $k-1$ ланки. Матриця X (матриця ряду) представлена у вигляді: «рядок - індивід, стовпець - ознака».

Крок 2. Аналіз головних компонентів: сингулярне розкладання вибіркової ковариаційної матриці.

Обчислити ковариаційну матрицю (нецентральних) $V = \left(\frac{1}{k}\right) X^T X$.

Обчислити власні числа і власні вектори матриці V , тобто розкласти її в такий спосіб $V = PLP^T$, де L - діагональна матриця, на діагоналі якої стоять впорядковані по спадаючій власні числа, а P - ортогональна матриця власних векторів матриці V .

Матриця P -це матриця переходу до головних компонентів $XP = Y = (y_1, y_2 \dots y_M)$.

Власні числа матриці V є вибірковими дисперсіями відповідних головних компонентів, а квадратні корені з них - вибірковими стандартами. При виборі довжини, що дорівнює $N-M+1$, власні вектора і головні компоненти (з точністю до нормування) міняються місцями.

Крок 3. Відбір головних компонентів.

Матрицю P уявити матрицею ряду X як $X = Y P^T$.

Таким чином, отримано розкладання матриці ряду по ортогональним складовим (головних компонентів). Перетворення $y_j = X P_j$ є лінійним перетворенням вихідного процесу за допомогою дискретного оператора згортки, тобто нехай деяке число $M < N$. Узяти перші M значень послідовності f якості першого рядка матриці X , в якості другого рядка матриці - значення послідовності з x_2 по x_{M+1} . Останнім рядком з номером $k = N - M + 1$ будуть останні M елементи послідовності.

Матриця, елементи якої рівні $x_{ij} = x_{i+j-1}$, являє собою M - мірну вибірку обсягу k або M - мірний часовий ряд, якому відповідає M - мірна траєкторія (ломана в M - вимірному просторі з $k-1$ ланки. Матриця X (матриця ряду) представлена у вигляді: «рядок - індивід, стовбець - ознака».

Крок 4. Аналіз головних компонентів: сингулярне розкладання вибіркової коваріаційної матриці.

Обчислити коваріаційну матрицю (нецентральної) $V = (1/k)X^T X$. Обчислити власні числа і власні вектори матриці V , тобто розкласти її в такий спосіб $V = P L P^T$, де L - діагональна матриця, на діагоналі якої стоять впорядковані по спадаючій власні числа, а P - ортогональна матриця власних векторів матриці V .

Матриця P -це матриця переходу до головних компонентів $X P = Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$.

Власні числа матриці V є вибілковими дисперсіями відповідних головних компонентів, а квадратні корені з них - вибілковими стандартами.

При виборі довжини, що дорівнює $N-M + 1$, власні вектори і головні компоненти (з точністю до нормування) міняються місцями.

Крок 5. Відбір головних компонентів.

Матрицю P представити матрицею ряду X як $X = Y P^T$.

Таким чином, отримано розкладання матриці ряду по ортогональним складовим (головних компонентів).

Перетворення $y_j = X p_j$ є лінійним перетворенням вихідного процесу за допомогою дискретного оператора згортки, тобто

$$Y_j[l] = S^M_{q=1} x_{lq} p_{jq} = S^M_{q=1} x_{l+q-1} p_{jq} \quad (2.12).$$

Таким чином, процедура алгоритму породжує набір лінійних фільтрів, налаштованих на складові вихідного процесу. При цьому власні вектори матриці V виступають в ролі перехідних функцій відповідних фільтрів.

Таким чином, серед головних компонентів можна виділити: які стосуються тренду (повільно мінливі), періодичні, шумові.

Крок 6. Відновлення одновимірного ряду.

Розкласти $X = Y P^T$. Відновлення проводиться з даного набору головних компонентів, якщо при застосуванні формули відновлення $X = Y^* P^T$ матриця Y^* отримана з матриці Y обнуленням всіх не ввійшовших в набір головних компонентів.

Таким чином, отримано наближення матриці ряду.

Визначена важлива особливість описаного алгоритму - його інтерактивність, тобто використання діалогу дослідника і ЕОМ в процесі застосування методу. Доведено, що інтерактивність пов'язана з типово статистичними властивостями алгоритму - необхідністю інтерпретації проміжних результатів і управління роботою алгоритму в процесі багатоетапної процедури обробки.

Результатом застосування методу є розкладання тимчасового ряду на найпростіші елементи: повільні тренди, сезонні та інші періодичні або коливальні складові, а також шумові компоненти. Отримане розкладання може служити основою прогнозування як самого ряду, так і його окремих складових.

Для розв'язання задач прогнозування раптових аварійних ситуацій, настання яких не супроводжується помітними трендами експлуатаційних характеристик обладнання для прогнозування подібних відмов у роботі, пропонується використовувати методи теорії детермінованого хаосу.

Відзначимо відразу одну дуже важливу особливість описаного методу – його інтерактивність, тобто використання діалогу дослідника і ЕОМ в процесі застосування методу. Причому ця інтерактивність не повинна розглядатися як наслідок загальної тенденції розвитку сучасного програмного забезпечення

персональних ЕОМ. Скоріше навпаки, ефективна реалізація алгоритму стала можливою тільки завдяки можливостям сучасних ПК. Його інтерактивність пов'язана з типово статистичними властивостями алгоритму - необхідністю інтерпретації проміжних результатів і управлінням роботою алгоритму в процесі багатоетапної процедури обробки. Досвід багаторічного використання різних реалізацій алгоритму на ЕОМ різних поколінь показав, що чим більше проміжних результатів вдалося "побачити", тим більш повним виявляється рішення поставленої задачі. Зауважимо, що при програмній реалізації етапи наведеного вище алгоритму не відтворюються безпосередньо. Наприклад, етап побудови матриці X відсутній, а формули перетворюються до вигляду зручному для проведення прискорених обчислень.

Вибір параметрів при застосуванні методу "Гусениця"

Вибір довжини гусениці.

Основним керуючим параметром методу є M - довжина гусениці. При геометричній інтерпретації цей параметр є розмірністю простору, в якому досліджується траєкторія багатовимірної ламаної лінії, в яку переводиться вихідний часовий ряд процедурою *гусениці*. Природною умовою є $M < N/2$, так як розмірність множини до точок (вершин ламаної) в M -мірному просторі не перевершує $\min(M, k-1)$. Цей підхід тісно пов'язаний з аналітичною інтерпретацією методу *гусениця* як апроксимацією рішення рівняння в кінцевих різницях з коефіцієнтами. Можна сказати, що I - це число ступенів свободи функції $f(t)$, а отже, і відповідного їй тимчасового ряду. У процедурі *гусениця* це виразиться в тому, що при $M > I$ у коваріаційній матриці виявиться тільки I ненульових власних чисел (враховуючи обмежену точність обчислень, інші $M-I$ будуть майже нульові. Однак, в реальних дослідженнях ця ситуація досить рідкісна.

Метод надзвичайно стійкий щодо зміни довжини *гусениці*, і тому, коли мова йде про вибір M , то слід розуміти, що проявляється резонансний ефект щодо довжини *гусениці* не стільки в кількісному, скільки в якісному сенсі.

Відбір головних компонент

Наступним елементом методики проведення аналізу методом "Гусениця", який не може бути виконаний апіорі, є відбір головних компонентів, інформативних в тому чи іншому сенсі.

Для цих двох уявлень є 4 набори інтерпретованих об'єктів:

1. Власні числа коваріаційної матриці M – мірного подання вихідного одновимірного ряду.

2. Набір власних векторів коваріаційної матриці. Оскільки їх елементи упорядковані оператором формування матриці ряду (*гусеницею*), їх можна вивчати як функції часу (точніше, тимчасові ряди M довжини).

3. Набір головних компонент M - мірного подання. Вони, як і відповідні їм власні вектори, утворюють ортогональну систему і так само представимо, як функції від номера елемента.

4. Всілякі відновлені за різною множиною головних компонентів часові ряди, які отримують в результаті послідовного застосування двох обернених операторів (оператора переходу від головних компонентів до M – мірного поданням оператора переходу від M - вимірного (матриці ряду) до одновимірного (власне ряду) поданням часового ряду).

Випадки, де логіка відбору дещо відрізняється:

1. При $M \ll N$ більш природним здається інтерпретація власних векторів, як перехідних функцій лінійних фільтрів, а відповідних головних компонентів, як результати дії цих фільтрів. Тут застосована термінологія, пов'язана з лінійною фільтрацією, як "ширина смуги пропускання", фільтри "високих і низьких частот" і тому подібні терміни спектрального підходу.

2. При M близькому до $N/2$ метод *гусениці* можна інтерпретувати як метод апроксимації вихідного тимчасового низки рядами кінцевого рангу. Тут більш доречний геометричний підхід до інтерпретації окремих кроків та результатів застосування методу. Найбільш простим є пошук гармонійних компонентів досліджуваного процесу. Як вже зазначалося при викладі основ теорії методу, кожному синусоїдальному доданку ряду відповідають дві головні

компоненти, що мають вигляд смужок синуса і косинуса однієї і тієї ж частоти. Їх легко виявити за двовимірними графіками для пар власних векторів коваріаційної матриці або пар відповідних головних компонентів. Крім того, для таких пар власні числа зазвичай виявляються досить близькими, тому є можливим вгадувати ці пари за графіком власних чисел, або квадратних коренів, або логарифмів з них.

2.4 Розпізнавання передаварійних станів комплексної безпеки будівель на основі використання методів теорії детермінованого хаосу

Розглянуті методи прогнозування передаварійних ситуацій ґрунтуються на припущенні, що моменту аварії передують досить швидка зміна даних. Однак це припущення не завжди виправдано.

Аналіз інформаційних баз даних інформаційно-вимірювальних систем показує, що існує цілий ряд прикладів, коли ті чи інші дефекти або не позначаються на зміні даних (в межах точності первинних вимірювань), або тренд їх продуктивності носить періодичний чи має дуже плавний характер. В цих умовах пропонувані вище методи виявляються неефективними.

Розглянемо можливість залучення до вирішення подібного роду задач методів теорії детермінованого хаосу.

Розглянемо тимчасовий ряд зміни вимірювань, як об'єкт, який має дробову розмірність. В такому випадку можна для його опису використовувати фрактальні характеристики одновимірних часових рядів - розмірність *Хаусдорфа D* і показник *Херста H*.

Проведений попередній аналіз баз даних інформаційно-вимірювальної системи показав, що тимчасові ряди багатьох реєстрованих параметрів фрактальної, складаються з частин, які в якомусь сенсі подібні цілому. Внаслідок масштабної інваріантності, фрактальні криві сильно порізані, і їх довжина може виявитися дуже великою. У кількісному сенсі такі лінії характеризуються розмірністю *Хаусдорфа D*, яка визначається виміром їх

довжини L за допомогою циркуля з розчином e (довжина найменшої ланки ламаної лінії - зображення будь-якого процесу).

Якщо налаштувати первинні датчики інформаційно-вимірювальної системи на велику частоту опитування, то ступінь порізаності тимчасового ряду виявиться ще вище.

Відзначається, що перехід складної технічної системи до хаотичної зміни режиму служить ознакою існування того чи іншого дефекту. У міру зміни рівня хаотичності тимчасового сигналу змінюються і його фрактальні характеристики.

Розглянемо це положення на прикладі розмірності *Хаусдорфа* D , яка визначається за часовим рядом вимірювання.

Формально визначення цієї розмірності складнощі не представляє, якщо розглянути тимчасовий ряд вимірних даних, як якусь плоску криву, побудовану у відповідних координатах.

Починаючи з деякої точки M_0 кривої, проводять дугу радіуса ϵ_1 до перетину з нею в точці M_1 . Далі, з точки M_1 проводять таку ж дугу до перетину з кривою в точці M_2 і т. д. За кількістю зарубок на кривій визначають довжину ламаної лінії $L(\epsilon_1)$, апроксимуючої кривої. Потім розчин циркуля зменшують і знаходять довжину ламаної $L(\epsilon_2)$ і т.д. при не занадто малих ϵ , довжина L залежить від ϵ статечним чином: $L(\epsilon)$.

Показник v_l визначається по куту нахилу прямої в координатах $\ln L - \ln \epsilon$ і визначає розмірність Хаусдорфа: $D = v_l + 1$.

На практиці розмірність Хаусдорфа зручніше визначати шляхом покриття кривої квадратами із зменшуваною стороною ϵ . Підрахувавши число $N(\epsilon)$ квадратів $\epsilon \times \epsilon$, необхідних для покриття кривої, розглядається залежність $N(\epsilon)$ від ϵ . Для фрактальних кривих при малих ϵ асимптотичне виконується співвідношення:

$$N = \frac{C}{\epsilon^D} \quad (2.13)$$

або

$$\ln N = \ln C - D \ln \epsilon \quad (2.14).$$

Розмірність Хаусдорфа можна визначити по куту нахилу залежності $\ln N$ від $\ln s$. Втім, покриття кривої квадратами дає вірний результат тільки у випадку самоподібних кривих. Більшість же розглянутих тимчасових рядів змін технічних параметрів експлуатації технічних систем являють собою самоподібні криві, розмірність яких визначається покриттям їх прямокутниками з розмірами $\varepsilon_a \times \varepsilon_b$ співвідношення сторін яких $a \times b$ визначається нетривіальним чином з урахуванням співвідношення часових масштабів і масштабів зміни вимірюваних величин.

Другою величиною, що характеризує фрактальні властивості тимчасових рядів, є показник Херста, який кількісно характеризує міру впорядкованості амплітуд вимірюваного параметра в часі. Для його визначення звернемося до наступної процедури.

Виділимо з вихідної вибірки $A_1, A_2, \dots, A_N$ масиви даних $(A_k, A_{k+1}, \dots, A_{k+m-1})$, що містять m послідовних вимірів досліджуваного параметра A ($k = 1, 2, \dots, N - m + 1$).

Визначимо по кожному з цих масивів розмах.

$$R_k = E_{\max} - E_{\min} \quad (2.15),$$

$$E_{\max} = \max_{1 \leq L \leq m} \left(\sum_{j=1}^L (A_{k+j-1} - M_k) \right) \quad (2.16),$$

$$E_{\min} = \min_{1 \leq L \leq m} \left(\sum_{j=1}^L (A_{k+j-1} - M_k) \right) \quad (2.17),$$

де M_k - середнє по виділеному масиву значення A :

$$M_k = \frac{1}{m} \left(\sum_{j=1}^m A_{k+j-1} \right) \quad (2.18).$$

Розглянемо наведене значення розмаху (нормований розмах),

усередненого по всьому масиву обсягу m :

$$\left(\frac{R}{S} \right)_m = \frac{1}{r} \left(\sum_{k=1}^r \frac{R_k}{S_k} \right) \quad (2.19),$$

де r - число масивів обсягу m , S_k - стандартне відхилення, яке визначається за формулою

$$S_k = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{j=1}^m (A_{k+j-1} - M_k)^2} \quad (2.20).$$

Як правило, для рядів параметрів багатьох процесів величина нормованого розмаху $(R / S)_m$ зростає зі збільшенням розмірності масиву вкладення m за степеневим законом:

$$\left(\frac{R}{S}\right)_m = C m^H \quad (2.21).$$

Параметр цієї залежності H називається показником Херста. Величина H визначається за кутом нахилу прямої, побудованої в логарифмічних координатах:

$$\ln((R/S)_m) = \ln C + H \times \ln(m) \quad (2.22).$$

Для хаотичних сигналів, за відсутності статистичної кореляції амплітуд часових рядів вимірювань, значення $H = 0,5$. При наявності ж деякого запізнювання, «пам'яті», показник H збільшується. Зауважимо, що дослідження багатьох авторів, пов'язані з вивченням різноманітних природних процесів, в більшості випадків ідентифікують показник Херста H в діапазоні від 0,7 до 0,9.

Розмірність Хаусдорфа і показник Херста будь-якої залежності характеризують наявність або відсутність порядку в розглянутій динамічній системі. Так якщо розмірність Хаусдорфа ~ 1 , це означає, що графік досліджуваної залежності близький до гладкої кривої, і це свідчить про наявність порядку в системі. Якщо ж $1 < D < 2$, то це означає, що досліджувана залежність має фрактальний характер, тобто в системі відсутній порядок.

Для самоподібних кривих величини H і D пов'язані один з одним залежністю $H = 2 - D$. При підрахунку H і D за реальними кривим ця рівність виконується тільки наближено і може бути використана для перевірки достовірності оцінок фрактальних характеристик. Для дослідження

можливостей діагностування передаварійних ситуацій на основі зміни показників Херста і Хаусдорфа нами були вивчені фрактальні властивості часових рядів.

Розрахунок показників Херста H для більш ніж 700 часових рядів вимірювань показали, що його значення лежить в діапазоні від 0,52 до 0,94, що свідчить про детермінованою природою зміни даного параметра і обґрунтованості спроб застосування теорії систем, що самоорганізуються до досліджень технічного стану будівель і споруд.

Зміна в часі показника Хаусдорфа стала менше інформативною, а тому в подальшому лише показник Херста H буде розглядатися нами як потенційна характеристика адекватної оцінки технічного стану будівель і споруд.

Для визначення середньостатистичних значень показника Херста при нормальній роботі з бази даних інформаційно-вимірювальних систем були відібрані тимчасові ряди вимірів, які не показували дефекти протягом не менше 30 діб. Такий інтервал був обраний з урахуванням того факту, що, як правило, тривалість процесу розвитку дефекту до виникнення аварійної ситуації не перевищує цієї величини. Тим самим передбачалося, що досліджуваний часовий ряд отримано для свідомо бездефектного стану.

Обсяг вибірки визначався, виходячи з двох умов: по-перше, він повинен бути максимально великим, з тим, щоб статистичні обчислення були коректними, а по-друге, він повинен бути меншим, ніж число вимірювань протягом середнього часу напрацювання обладнання на відмову.

Перевірка закону розподілу показника Херста для завідомо безаварійної ситуації показала, що він розподілений відповідно до нормального закону з математичним очікуванням 0,74 і дисперсією 0,3.

Настільки велике значення дисперсії можна, мабуть, пояснити тим, що аналізувалися тимчасові ряди, що відносяться до вимірювань різних елементів будівель, що знаходяться в різному технічному стані (різний час введення в експлуатацію). Для визначення середньостатистичних значень показника Херста при розвиненому дефекті були відібрані ретроспективні тимчасові ряди

безпосередньо перед аварійною ситуацією. Перевірка закону розподілу показала його нормальність з параметрами математичного очікування 0,66 і дисперсія 0,44.

Зауважимо, що суб'єктивність вибору інтервалу вимірювань призводить до того, що частина вимірювань доводиться на «безаварійний етап». Однак в даному випадку «безаварійність» - поняття умовне, що означає лише, що відсутні зовнішні прояви дефекту.

Таким чином, можна стверджувати, що величина показника Херста дійсно може служити додатковою ознакою виникнення розвитку дефекту, який може привести до аварії.

Однак, як впливає з аналізу даних, безпосередньо використати подібні статистичні дані, як ознаку наявності дефекту важко, оскільки перекриття галузей досягає 70%. Очевидно, це пов'язано з надмірно широким спектром умов експлуатації свердловинного обладнання, за параметрами якого розраховувалися показники H .

Наявний в даний час обсяг бази даних по передаварійних ситуаціях не дозволив провести розрахунки статистичних параметрів розподілу H окремо за видами дефектів і місцями їх виникнення. Тому була зроблена спроба інтервального порівняння значення H при наявності і відсутності дефектів. Найбільша відмінність в частотах величин H (більш, ніж в 7 разів) спостерігається в інтервалі $0,9 < H < 1,0$, тобто при режимах близьких до детермінованих. Цей факт підтверджує ту тезу, що виникнення дефекту знижує ступінь детермінованості процесів на даній ділянці.

Наступним етапом дослідження було порівняння середніх значень показників H в залежності від виду відмови.

Як впливає з діаграми, частина відмов відбувається при значеннях H нижче середнього при нормальній роботі обладнання ($H_{\text{ср.норм}} = 0,66$), а інша - при більш високих значеннях.

Цікавим є вивчення взаємозв'язку даних параметрів з точки зору їх впливу на ймовірність виникнення аварійної ситуації.

Таблиця 2.2 Класифікація та причини виникнення дефектів і пошкоджень в фундаментальних конструкціях мілкового закладення

Вид дефектів і пошкоджень	Можливі причини появи
Розшарування кладки фундаменту	Відсутність перев'язки кам'яної кладки. Втрата міцності розчину кладки (тривала експлуатація, систематичне замочування, вплив агресивного середовища та ін.). Перевантаження фундаменту (надбудова будівлі, заміна несучих конструкцій та ін.)
Руйнування бічних поверхонь фундаменту	Вплив агресивного середовища на фундамент (витік в підставу виробничих хімічних розчинів, підняття рівня ґрунтових вод та ін.)
Розрив фундаменту по висоті	Морозне зпучення при правильному пристрої фундаменту (використання для засипки пазух змерзається ґрунт, підтоплення при піднятті рівня ґрунтових вод, замочування та ін.)
Тріщини в плитній частині фундаменту	Перевантаження фундаменту (надбудова будівлі, заміна несучих будівельних конструкцій або технологічного обладнання та ін.). Недостатня площа перетину робочої арматури
Неприпустимі деформації підстави фундаменту	Недостатня опорна площа підосви фундаменту. Аварійне замочування ґрунтів основи. Додаткове навантаження надфундаментних конструкцій. Наявність в основі сильно стисливих ґрунтів
Деформація фундаментної стіни будівлі	Втрата міцності цегляної кладки фундаментної стіни. Додаткове завантаження поверхні підстави в безпосередній близькості від будівлі. Морозне пучення ґрунту при неправильній експлуатації підвального приміщення будівлі

Таблиця 2.3 Класифікація та причини виникнення дефектів і пошкоджень в металевих конструкціях

Вид дефектів і пошкоджень	Можливі причини появи
Відхилення від геометричних розмірів (розмірів перетинів, довжин елементів, генеральних розмірів конструкцій), прийнятих в проекті, сприяють ослабленню елементів і позacentровому додатковому навантаженню	Помилки при виготовленні і монтажі металевих конструкцій через недотримання допусків
Розцентровки і неточна підгонка елементів у вузлах сполучень	Помилки проектування, порушення точності при виготовленні і монтажі
Викривлення елементів металевих конструкцій, що перевищують допустимі	Відсутність правки металу перед виготовленням конструкцій, поява залишкових зварних напруг, порушення правил транспортування, зберігання, монтажу і експлуатації металевих конструкцій
Місцеві прогини елементів металевих конструкцій	Порушення правил транспортування, зберігання, монтажу та експлуатації металевих конструкцій
Відхилення металевих конструкцій від проектного положення	Порушення точності при виготовленні і монтажі; Порушення правил експлуатації
Вирізи, що ослаблюють перетини елементів	Порушення правил експлуатації
Тендітні або втомні тріщини в основному металі	Конструктивні недоробки, неправильний вибір марки сталі при експлуатації конструкцій в умовах вібраційних і динамічних навантажень
Розлад болтових і клепаних з'єднань	Конструктивні недоліки, не враховані особливості силового навантаження
Руйнування захисних покриттів і корозія металу	Низька якість захисних матеріалів, їх неправильний вибір, порушення правил експлуатації

Деформації конструкцій	Нерівномірні опади і крен фундаментів, температурні впливи, порушення правил експлуатації
Тріщини в зварних швах	Конструктивні недоробки, вплив залишкових зварних напружень через порушення режиму зварювання

Для встановлення рівня взаємного зв'язку між наведеними в табл. 2.4 параметрами - показником *Херста* H , вид дефектів і пошкоджень та можливими причинами їх появи був проведений кореляційний аналіз відповідних величин. Були визначені коефіцієнти кореляції трьох видів:

коефіцієнт взаємної кореляції r ;

коефіцієнт рангової кореляції Кендела τ ;

коефіцієнт рангової кореляції Спірмена ρ .

Коефіцієнт взаємної кореляції r_{ij} , що характеризує тісноту кореляційного зв'язку між двома масивами даних, визначався по співвідношенню:

$$\rho = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(A_{1i} - A_1)(A_{2i} - A_2)}{\sigma_{A1} \sigma_{A2}} \quad (2.23).$$

$A_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{1i}$ - елементи, математичні очікування і середньоквадратичні відхилення значень елементів першого і другого масиву даних відповідно; N - обсяг масивів даних.

Коефіцієнт рангової кореляції Кендалла τ визначався за формулою:

$$\tau_{ij} = 1 - \frac{2S}{\frac{1}{2}N(N-1)} \quad (2.24),$$

де N - кількість елементів в даній послідовності; S - сума значень (+1) або (-1), приписуваних всім можливим парам елементів з порівнюваних послідовностей в залежності від узгодженості або неузгодженості порядку в них. Коефіцієнт рангової кореляції Кендалла τ має ряд переваг в порівнянні з іншими кореляційними характеристиками: досить зручним апаратом, завдяки

якому вдається обійтися без вимірювання абсолютної величини змінної і тим самим заощадити час і зусилля, уникнути труднощів, пов'язаних з побудовою об'єктивної шкали абсолютних значень. Введений таким чином коефіцієнт може служити кількісною характеристикою загальної відповідності між окремими парами елементів двох порівнюваних послідовностей.

Коефіцієнт Спірмена p_{ij} є ще одним коефіцієнтом рангової кореляції, який визначається за співвідношенням:

$$p_{ij} = 1 - \frac{6S(d^2)}{N^3 - N} \quad (2.25),$$

де $S(d^2)$ - сума квадратів різниць між відповідними елементами двох порівнюваних послідовностей рангів досліджуваних параметрів.

Досвід практичних досліджень свідчить про відмінність значень коефіцієнтів p і τ для одних і тих же послідовностей завдяки відмінності їх масштабів. Найчастіше, якщо значення коефіцієнтів p і τ не надто близькі до одиниці, але p приблизно на 50% перевершує τ по своїй абсолютній величині.

Оцінку взаємного зв'язку параметрів - показника Херста H , виду дефекту (Q) і дисперсії можна провести на основі аналізу кореляційної матриці (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 Кореляційна матриця

r p τ	H	Q	σ
H	1	0,022 0,019 0,031	-0,11 -0,18 -0,26
Q		1	0,24 0,23 0,34
σ			1

r - коефіцієнт взаємної кореляції;

τ - коефіцієнт рангової кореляції Кендалла;

p - коефіцієнт рангової кореляції Спірмена.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що зменшення показника Херста на 10 - 15% може служити сигналом про передаварійну

ситуацію будівлі. Крім того, було показано, що хаотичні зміни вимірюваних даних мають детерміновану природу, і як одну з додаткових ознак виникнення розвитку дефекту, наприклад, несучих перекриттів, може бути використаний показник Херста, який визначає ступінь детермінованості процесів в системі. Отримані результати дозволили встановити, що показник Херста є величиною, явним чином незалежною від інших технологічних параметрів, і, отже, використання даного показника в якості діагностичної ознаки дозволяє виявляти дефекти, недоступні традиційним методом.

3 МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ

3.1 Методи аналізу ризику системи діагностики технічного стану безпечної експлуатації будівель

Обстеження будівель передбачає систематичне проведення циклів спостереження, оцінку та прогнозів їх технічного стану для своєчасного прийняття заходів, що забезпечують запобігання пошкодження конструктивних елементів будівель. Головними завданнями служби обстеження є:

- визначення значення збитків в залежності від ймовірного ступеня пошкодження будівель;
- аналіз реакції об'єктів при різних варіантах пошкоджень будівель;
- оцінка і розробка рекомендацій щодо подальшої експлуатації будівель, схильних до різних видів пошкоджень;
- реалізація вимог з безпеки в будівельних нормах та правилах;
- прогнозування безпечної експлуатації будівель з урахуванням їх пошкоджень при різних ситуаціях.

Існуючий порядок обстеження та оцінка технічного стану будівель в цілому або їх окремих конструктивних елементів і технічних систем, цілі, завдання, періодичність планових обстежень, а також перелік контрольованих параметрів регламентується нормативними документами.

Так, система технічних експертиз будівель включає наступні види контролю в залежності від цілей обстеження та періоду експлуатації будівель:

- обстеження після проведення капітального ремонту;
- обстеження з метою визначення сукупності технічного стану і залишкового ресурсу будівель;
- обстеження будівель та їх конструктивних елементів, що не передбачені при проектуванні;

- періодичні обстеження будівель та їх конструкцій в процесі планових і позачергових оглядів;
- технічне обстеження будівель для проектування капітального ремонту, модернізації та реконструкції.

Позапланове обстеження будівель проводиться в наступних випадках:

- при виявленні значних або критичних пошкоджень та дефектів в процесі експлуатації будівель;
- після стихійних лих та аварій техногенного характеру;
- при зміні зовнішніх і внутрішніх умов експлуатації будівель;
- при прийнятті рішення щодо подальшої експлуатації будівель в цілому та конструктивних елементів і технічних систем.

Основні етапи обстеження будівель:

- вивчення проектно-технічної документації та архівних матеріалів;
- попереднє ознайомлення з об'єктом дослідження, складання програми обстеження;
- попереднє обстеження;
- детальне обстеження;
- технічний висновок.

На етапі попереднього ознайомлення з об'єктом проводиться його огляд, уточнюються умови експлуатації будівель, проводиться перевірка забезпечення просторової жорсткості несучої системи будівель та відповідності розрахунковій схемі проекту, попередньо виявляються найбільш характерні дефекти та пошкодження, ймовірні причини їх виникнення.

При аварійному стані конструкцій розробляються конструктивні заходи щодо тимчасового посилення та забезпечення безпечного доступу до конструкцій будівель.

Попереднє обстеження будівель виконується для загальної оцінки технічного стану конструкцій і інженерних систем, розробки рекомендацій та технічних рішень щодо відновлення дефектів в процесі ремонту або

реконструкції для виявлення необхідності детального інструментального обстеження.

Детальне обстеження будівель виконують для уточнення конструктивної схеми будівель, розмірів елементів і деталей, визначення фактичного технічного стану конструкцій будівель. При цьому проводяться роботи по розкриттю конструкцій; випробування відібраних проб; перевірки та оцінці деформацій; визначення характеристик конструкцій з використанням приладів для випробувань; розрахунком несучої здатності конструкцій; проводиться аналіз результатів обстеження та аналіз оцінки прогнозування терміну служби будівель та їх конструктивних елементів; розробляються необхідні рекомендації та технічна документація щодо подальшої експлуатації. Детальне обстеження конструктивних елементів будівель дозволяє отримати інформацію для оцінки безпеки будівель в цілому та його конструктивних елементів і технічних систем.

Оцінка технічного стану будівель проводиться шляхом зіставлення гранично допустимих і фактичних значень критеріїв, що характеризують міцність, стійкість, деформативність та експлуатаційні характеристики конструкцій будівель.

При оцінці технічного стану будівель необхідно враховувати, що властивості конструктивних елементів є випадковими величинами та випадковими функціями. Метод граничних станів, закладений в основу розрахунку конструкцій та враховує статичний характер показників, що вводяться у розрахунок, та передбачає врахування впливу різних експлуатаційних факторів за рахунок використання коефіцієнтів надійності.

Основна формула методу розрахунку по граничному стану має вигляд:

$$F = \sum Q_i \gamma_{\pi} \leq R = \gamma_c \Phi(\gamma_{mi} R_i) \quad (3.1),$$

де F, R – реакція конструкції на діючі навантаження і її гранично допустиме значення;

Q_i - нормативні навантаження, що діють на конструкції;

γ_{π} - коефіцієнти надійності за навантаженням;

γ_{mi} - коефіцієнти надійності за матеріалами;

R_i - нормативні границі міцності або границі текучості матеріалів конструкцій.

Метод граничних станів є полуймовірним методом розрахунку на надійність, при якому для нормування міцності матеріалів, діючих навантажень, а також коефіцієнтів надійності використовуються імовірнісні методи, а розрахунок міцності ведеться в детермінованій формі. Тому метод граничних станів не дає відповіді на основне питання: яка величина надійності (ризiku) проектованої або експлуатованої будівлі. Оцінка надійності у вигляді граничної нерівності реалізує концепцію «нульового ризику», що сформувало стійке уявлення у проєктувальників та фахівців у галузі розрахунку конструкцій про можливість досягти абсолютної надійності шляхом уточнення вихідних даних, розрахункових схем і методів розрахунку. Разом з тим, залишаючись в рамках детермінованого підходу, неможливо врахувати все розмаїття умов експлуатації конструкцій: розкид механічних властивостей матеріалів і параметрів форми конструкцій; помилки при проєктуванні, будівництві, контроль якості та експлуатації; непроекtnі поєднання конструкцій. Всі ці фактори мають імовірнісний характер і впливають на працездатність конструкцій, особливо при пошкодженнях, екстремальних навантаженнях і тривалості їх експлуатації.

Перспективним напрямком розвитку методу граничних станів є перехід на ймовірнісну концепцію, застосування ймовірнісних моделей і методів теорії надійності. Комплексна проблема забезпечення надійності та довговічності будівель, їх раціонального проєктування і технічного обстеження, що включає в себе кількісну оцінку ризику і управління ризиком.

Під ризиком розуміється ймовірнісна міра небезпеки, встановлена для даної будівлі у вигляді можливих втрат за певний період часу. Якщо позначити ймовірність виникнення негативного впливу як $P(Q)$, а реакцію будівлі на цей вплив у вигляді $P(FIQ)$, то ризик відмови, обумовленого впливом Q певної інтенсивності, знаходиться за формулою:

$$P(F) = P(Q) P(F|Q) \quad (3.2).$$

Тоді в термінах аналізу ризику гранична нерівність набуває вигляду:

$$P(F) < P_{adm} \quad (3.3),$$

де P_{adm} – допустимий ризик.

При визначенні величини допустимого ризику враховуються наслідки відмов конструкцій і будівель в цілому.

Рекомендується використовувати експертні оцінки та методи ранжирування ризику, засновані на спрощених методиках кількісного аналізу ризику. В цих підходах розглядаються події або елементи, що розбиваються за величиною ймовірності та тяжкості наслідків на кілька груп з високим, проміжним, низьким і незначним рівнями ризику. При такому підході високий рівень ризику може вважатися неприйнятним, проміжний рівень вимагає виконання програми робіт щодо зменшення рівня ризику, низький рівень вважається прийнятним, а незначний можна не розглядати.

Для кількісного аналізу ризику потрібне застосування методів теорії надійності, імітаційного і статичного моделювання, теорії випадкових процесів, а також закономірності виникнення та розвитку пошкоджень конструкцій будівель.

Ймовірність пошкодження конструкцій будівель з часом оцінюється за допомогою функції ризику для рідкісних подій:

$$P(H) = 1 - \exp(-\omega\tau) \quad (3.4),$$

де ω - параметр потоку пошкоджень.

$\omega\tau$ - математичне очікування числа пошкоджень конструкцій будівель за час τ .

Загальний підхід визначення кількісної оцінки вразливості будівель при дії випадкових, екстремальних навантажень та впливів включає в себе наступні етапи:

1. Опис структурних та конструктивних особливостей будівель, несучих конструкцій.
2. Моделювання прогнозованих навантажень та впливів.

3. Класифікація можливих відмов та граничних станів за ступенями їх критичності з урахуванням пошкоджень.

4. Вибір граничних станів та їх формалізація типів відмови.

5. Визначення напружено-деформованого стану конструкцій будівель.

6. Оцінка показників надійності.

Концепція допустимого ризику може бути реалізована при проведенні обстеження технічного стану будівель, що дозволяє встановити безпеку будівель, виходячи з єдиного критерію припустимого ризику, враховуючи при цьому усі можливі пошкодження конструкцій будівель.

3.2 Розробка рекомендацій щодо вибору структури моделей, які забезпечують прогнозування надійності прийняття рішень для задач системи діагностики технічного стану безпеки будівель

В даний час найбільш активно використовуються алгоритми прогнозування термінів настання експлуатаційної придатності будівель, що засновані на застосуванні методів математичної статистики, теорії розпізнавання образів і синергетики. Відмінною особливістю цих алгоритмів є виявлення часових характеристик показників надійності розрахункових параметрів.

Найбільш інформативними параметрами, що характеризують рівень технічного стану будівель є напружений стан елементів будівель. У загальному випадку, рівень складності апроксимуючої функції залежить не тільки від самого змінюваного параметра, але і від рівня шумової складової вимірювань і обсягу вибірки.

Вибір тієї чи іншої моделі, що описує зміни показників надійності функціонування технічного стану, є найбільш відповідальним та складним етапом прогностичної процедури.

Спрощення моделі призводить до зменшення точності прогнозу часу настання експлуатаційної придатності будівель. Зайве ускладнення моделі

може привести до нестійкості алгоритму ідентифікації і позбавляє ідентифікаційні моделі передбачуваної сили. Крім того, необхідно враховувати, що ступінь складності моделі залежить не тільки від ідентифікованого параметра, але і від рівня похибки первинних вимірювань.

Таким чином, представляється актуальна багатокритеріальна задача вибору оптимального ступеня складності моделей, що описують зміну показників надійності будівель.

При виборі методу вирішення поставленого завдання постає дві додаткові умови.

Перша модель повинна відповідати прогнозуючим властивостям, тобто при екстраполяції на деякий проміжок часу її значення не повинно «розбіватися». Ця умова накладає обмеження на ступінь складності функцій - для надто складної моделі малі помилки вимірювань, не помітні на інтервалі інтерполяції, на етапі прогнозу можуть радикально змінювати поведінку модельної функції.

По-друге, припускаємо, що обсяг вибірки даних, за якою будується модель, невелика. Це пов'язано з тим, що найбільш достовірна інформація зберігається в базах даних сучасних інформаційних системах, що охоплює часовий інтервал у 5-6 років.

Складність задачі оптимального вибору апроксимуючої функції, що описує ту чи іншу зміну показників експлуатації будівель, посилюється помилками вимірювань, які проявляються у вигляді накладення шуму на координати експериментальних точок.

Одним з найбільш точних та інформативних показників технічного стану, що контролює інформаційні системи, є зміна у часі напруженого стану конструкцій.

Аналіз представлених емпіричних даних показує, що динаміка зміни даних перед різними типами пошкоджень відрізняється кардинальним чином.

Дійсно, використовуючи один або кілька класичних критеріїв (мінімум величини дисперсії адекватності, критерій Тейла) і схему стандартного методу

найменших квадратів (МНК), можна побудувати модель з бажаним ступенем точності, не порушуючи при цьому принципу Пуанкаре (точність моделі не може перевершувати точності первинної інформації). Однак це не дає вирішення прогностичності завдання - визначення моменту пошкоджень, так як найкраща на етапі навчання модель не завжди є і більш точною екстраполяцією майбутнього сценарію розвитку.

Приведемо це на прикладі прогнозу моменту настання пошкоджень.

Попередня селекція елементарних функцій, що описують таку поведінку експериментальних кривих, показала, що найбільш точні (в сенсі дисперсії адекватності) поліноміальні залежності.

Аналіз отриманих результатів показує, що помилка прогнозу моменту настання пошкоджень лінійною моделлю становить 56%, поліномом 3-й ступеня 14%, поліномом 2-го ступеня 2%. У той же час величина дисперсії адекватності цих моделей на етапі навчання практично однакова. Таким чином, стає очевидною необхідність використання додаткових методів обробки даних, що в повній мірі реалізують інформаційні можливості систем.

Сформулюємо нашу задачу з урахуванням усіх зауважень.

За динамікою даних напруги несучих конструкцій будівель за деякий період часу необхідно побудувати найкращу модель розвитку дефекту за двома критеріями - точність апроксимації плюс точність прогнозу.

Найбільш ефективним інструментом вирішення подібного роду завдань є метод структурної мінімізації середнього ризику. Адаптуємо цей метод до умов нашої задачі.

В інформаційній базі системи зберігається безліч локальних баз даних, $\{x_i\}$, кожна з яких представляє собою ретроспективний часовий ряд зміни показника експлуатації в часі $i=1,2,\dots, L$, де L визначається частотою опитування первинних датчиків.

Припустимо, що на підставі аналізу цих масивів даних будуються моделі виду $y=y(x)$ (у розглянутому випадку $Q = Q(t)$, де $Q(t)$ - зміна

напруженого стану внаслідок зносу конструкцій, t - час). В такому разі, у розпорядженні є вибірка $\{x_i, y_i\}$, де y_i - модельне значення функції, що відповідає експериментально вимірюваному значенню параметра x_i .

Враховуючи, що експериментальні дані завжди вимірюються з деякою похибкою, введемо в розгляд перешкоду вимірювання ε_i . Тоді шукана модель матиме остаточний вигляд:

$$y = F(t_i) + \varepsilon_i \quad (3.5).$$

Припускаючи, що клас функцій, у якому шукається регресія $y(x)$, є параметричним з параметрами a , задачу можна звести до мінімізації функціоналу емпіричного ризику:

$$I_o(a) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (y_i - F(x_i, a))^2 \quad (3.6),$$

де y_i - модельне значення параметра з урахуванням перешкоди виміру;

$F(x_i, a)$ - моделююча функція;

L - обсяг вибірки вимірювань, визначається частотою опитування первинних датчиків.

В роботі показано, що для критерію (3.6) можуть бути отримані верхні оцінки виду:

$$I(a) \leq I_m(a) = I_o(a) \Omega\left(\frac{1}{h}, \frac{l_{n\eta}}{L}\right) \quad (3.7),$$

справедливі з імовірністю $1 - \eta$. Величина h являє собою ємність класу функцій $F(x, a)$ і визначає складність ідентифікованої моделі. Зокрема, якщо розглядається клас лінійних за параметрами функцій:

$$F(x, a) = \sum_{i=1}^n a_i \psi(x) \quad (3.8),$$

де $h=n$, тобто ємність класу функцій (складність моделі) дорівнює числу шуканих параметрів n .

Величина $\frac{1}{\eta}$ визначає відносний обсяг вибірки. Структура другого множника (3.7) така, що з ростом $1/h$ величина зменшується, прагнучи до одиниці.

Функціонал (3.6) зі збільшенням $1/h$, як правило, збільшується. Тому існує деяке оптимальне значення $1/h$, при якому верхня оцінка середнього ризику (його гарантоване значення) досягає мінімуму. Це значення $1/\Omega$ і визначає оптимальну складність шуканої функції.

У відповідності з рекомендаціями при відновленні регресії в класі функцій (3.38) в якості критерію Ω використовуємо величину:

$$\Omega = \left[\frac{1}{1 - \sqrt{\frac{n(l_n \frac{1}{n} - l_{n\eta})}{L}}} \right] \quad (3.9),$$

$$[Z]_{\infty} = \begin{cases} z, z \geq 0 \\ \infty, z \leq 0 \end{cases}$$

В роботі відмічено, що вирішення поставленої двоїстої задачі вдається отримати у разі використання досить великих вибірок експериментальних даних (обсяг $L > 20$ вимірювань). У разі подальшого розвитку дефектів і при побудові відповідних моделей ця вимога не виконується, і метод СМСР стає надто грубим, що свідомо віддають перевагу більш простим моделям. Найбільш ефективні результати для подолання подібного роду труднощів у ряді випадків можуть бути досягнуті шляхом залучення методів теорії нечітких множин.

Стосовно до задачі під поняттям приналежності до того або іншого об'єкту будемо розуміти значення $\{u_i\}$, обчислені за допомогою різних моделей (i - кількість розглянутих моделей).

Нечіткими множинами A в U називається сукупність пар виду $(u, \mu_A(u))$, де - $u \in U, \mu_A(u)$ функція належності нечіткої множини A . Близькість функції

$\mu_A(u)$ до 1 є кількісною мірою впевненості в тому, що елемент належить множині A .

Використання понять теорії нечітких множин дозволяє звести пошук сталого вирішення багатокритеріальної задачі до задачі пошуку екстремуму функції належності, яка визначається як:

$$\mu(a, n) = (\mu_o(I_o(a, n))\mu_o(n))^{0,5} \quad (3.10),$$

де $\mu_o(I_o)$ і $\mu_o(n)$ - функції належності нечітких множин «малі значення емпіричного ризику» та «мала складність моделі». Ці функції можуть бути визначені наступним чином:

$$\begin{aligned} \mu_o(I_o) &= \psi\left(\frac{I_o}{I_i}, m_1\right), \\ \mu_o(n) &= \psi\left(\frac{n}{0,5L}, m_2\right), \\ \psi(t, m) &= \begin{cases} 1 - t^m, & 0 \leq t \leq 1 \\ 0, & t > 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.11),$$

де L_i - значення функціоналу емпіричного ризику, що відповідає числу параметрів m_1 і m_2 - показники ступеня, що визначають ставлення алгоритму до зменшення емпіричного ризику і збільшення складності моделі.

В якості інформаційного масиву для побудови найкращої моделі прогнозу моменту настання пошкодження, будемо використовувати 30-ти добове вимірювання даних, а в якості конкуруючих гіпотез розглядаються поліноми. Результати проведених розрахунків представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Обґрунтування вибору найбільш прийнятної прогностичної моделі визначення моменту настання пошкодженого стану

Складність моделі	Критерій вибору моделі оптимальної складності		
	I_o	$1m$	$\mu 10^4$
$n=1$	0,024	0,0124	3,44
$n=2$	0,020	0,0124	2,48
$n=3$	0,014	0,0126	2,63

МНК рекомендує максимальну ступінь складності апроксимуючої функції. Це цілком зрозуміло, оскільки МНК прагне мінімізувати відхилення експериментальних точок від апроксимуючої залежності, а це реалізується тільки при максимальній складності полінома. Метод СМСР допускає застосування інтерполуючого полінома зі ступенями $n=1$ та $n=2$, тоді як методи теорії нечітких множин однозначно вказують, що оптимальною є ступінь полінома $n=2$, що повністю підтверджує достовірність результатів.

Чисельна оцінка «прогнозуючої здатності» розглянутих моделей проводилася на підставі визначення величин середньоквадратичних відхилень (СКВ) експериментальних точок від відповідних модельних функцій, що і визначає точність прогнозу. У нашому випадку величини СКВ рівні 1.24, 0,26 та 2.31 для поліномів 1-ої, 2-ої і 3-го ступеня відповідно. Тому очевидно, що здатність до прогнозу найбільш висока у полінома другого ступеня, що збігається з висновком, отриманим на основі теорії нечітких множин 100.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що пропонований метод визначення оптимальної складності моделі дозволяє отримувати найбільш високу точність прогнозу моменту настання пошкоджень. У всіх розглянутих випадках збільшення точності прогнозу становить 20 - 30%.

При цьому слід зауважити, що різниця у виборі моделі, рекомендованої методом СМСР і методами теорії нечітких множин, збільшується зі зменшенням обсягу вибірки вимірювань даних. При досить великих вибірках (як правило, $L > 20$) результати розрахунків за обома методами практично збігаються.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про те, що пропонований підхід до вирішення завдання вибору тієї чи іншої моделі, що описує зміну динаміки вимірюваних даних внаслідок старіння та зносу конструкцій, дозволяє обґрунтовано вибирати ступінь складності моделі, що забезпечує найвищу точність прогнозу з моменту настання пошкодженого стану.

3.3 Оцінка прогнозування прийняття якісних рішень для задач системи діагностики технічного стану безпеки будівель

Даний підхід призначений для оцінки якості прийнятого рішення в задачах прогнозування пошкоджень з використанням моделей інтелектуальної підтримки.

Введемо коефіцієнт для оцінки якості прийнятого рішення в задачах прогнозу:

$$K_{Conct} = \frac{\sum C_i}{K_{вст}} \quad (3.12),$$

де C_i - значення коефіцієнтів, одержаних в результаті оцінки прийнятого рішення, а $K_{вст}$ - встановлене значення коефіцієнта за всіма рішеннями в цілому і по кожному рішенню. Оцінка показників залежить від виду інформації про стан об'єкта $Conct$, адекватності прийнятого рішення з контролю станів елементів будівель.

У разі, коли точно відомо аналітичний вираз щільності, оцінка показника $Conct$ - зводиться до обчислення за формулою:

$$E = \frac{1}{2} \sum_i^M \sum_j^N (y_j(W, H_i) - d_{i,j})^2 \longrightarrow \min \quad (3.13).$$

Якщо аналітичний вираз відомий з точністю до параметрів нейронних мереж, то спочатку треба отримати заможну оцінку цих параметрів, а потім підставити її в формулу 3.12 для обчислення C_i .

Основою для побудови статистичної оцінки служить вибірка $Conct = (conct_1, conct_2, \dots, conct_n)$ незалежних спостережень оперативної інформації про пошкоджені ситуації, які можна отримати двома способами:

1. Вибірка $Conct$ отримана з n незалежних реалізацій.
2. Може бути вибрана одна реалізація $conct$ і з неї взяті n незалежних (некорельованих) відліків.

При визначенні необхідного обсягу вибірки n для отримання оцінки показника C_i рекомендується виходити з табл. 3.2. залежності n від довірчого інтервалу ε . Значеннями таблиці є ймовірності попадання в довірчий інтервал ε .

Таблиця 3.2 Отримання оцінки показника C_i

$\frac{\varepsilon}{n}$	10	100	1000	10000
1	1	1	1	1
0,1	0,8	1	1	1
0,01	0,2	0,8	1	1
0,001	0,01	0,2	0,8	1

В загальному випадку, при визначенні n по заданій точності ε , слід користуватися рівністю $\varepsilon * n = 10$.

При $\varepsilon = 0.01$, що буває достатньою для практики, маємо $\varepsilon = 1000$.

В якості ілюстрації застосування методики для моделі прийнятого рішення в задачах оцінки стану будівель наведемо наступний приклад. Особливістю цього прикладу є те, що оцінка показника C_i проводиться в умовах повної апіорної інформації про прогнозування пошкодженості конструкцій даної будівлі $Conct$.

Нехай $Conct$ формується з N незалежних речовин, які з'являються в атмосфері статистично незалежно з амплітудою $+a, -a, a > 0$ і одним і тим же експоненціальним імовірнісним законом розподілу тривалості перебування у стані $(+a, -a)$, що задається параметром $\lambda > 0$.

Тоді $\sum \theta_1(t), \theta_2(t), \dots, \theta_N(t)$, визначає оціночний сигнал $\theta(t)$ - надходить на вхід моделі підтримки прийняття рішень:

$$\theta(t) = \sum_{i=1}^N \theta_i(t) \quad (3.14).$$

На виході моделі підтримки прийняття рішень формується інформація про наявність вибірки пошкоджень $Conct$, яка визначає стан конструкцій будівель на кожне звернення.

Вихідними даними для оцінки показників C_i є параметри $N, a, \lambda, Conct$.

Нехай значення цих параметрів дорівнюють $N = 4, a = 1, \lambda = 1000, Conct = \{0.1, 0.2, 0.5, 0.8\}$.

Оцінимо показники C_i з наступною послідовністю:

1. Оцінка показника C_1 (стан конструкцій будівель).

Оскільки показник C_1 не залежить від a , то при його оцінці без обмеження спільності можна вважати, що $a = 1$.

Далі, операції, які визначають $\theta(t)$ та моделі підтримки прийняття рішень є лінійними, коефіцієнт наявності пошкоджень, дефектів $Conct$ може бути представлений у вигляді:

$$Conct = \sum_i^N conct_i(t), \quad i=1, N \quad (3.15),$$

а ймовірнісна структура сигналу $conct_i(t)$ є добре вивченою.

В силу незалежності сигналів $conct_i(t)$ і рівності нулю моментів непарного порядку, для коефіцієнтів ексцесу щільності ймовірності сигналу $conct_i(t)$, при великих значеннях величин N отримуємо:

$$C_1 = 1 - \frac{6}{N^2(\sqrt{\lambda})} \quad (3.16).$$

Таким чином, для показника C_1 отримано аналітичний вираз, який визначається вихідними параметрами N, λ .

Підставляючи значення, знаходимо:

$$1 - C_1 = 0,075.$$

2) Оцінка показника C_2 інтенсивності поглинання для сигналу $\theta(t)$, визначається за формулою:

$$C_2 = C_{2i} \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \sqrt{\frac{(1+N)^2}{1+N+2\sqrt{N(1+\theta^2)}}} \quad (3.17).$$

В силу статистичної незалежності сигналів $\theta_i(t)$, $i=1,N$ при $a=1$ і $\lambda=1000$, визначаємо, що $\theta^2 = \frac{1}{3}$.

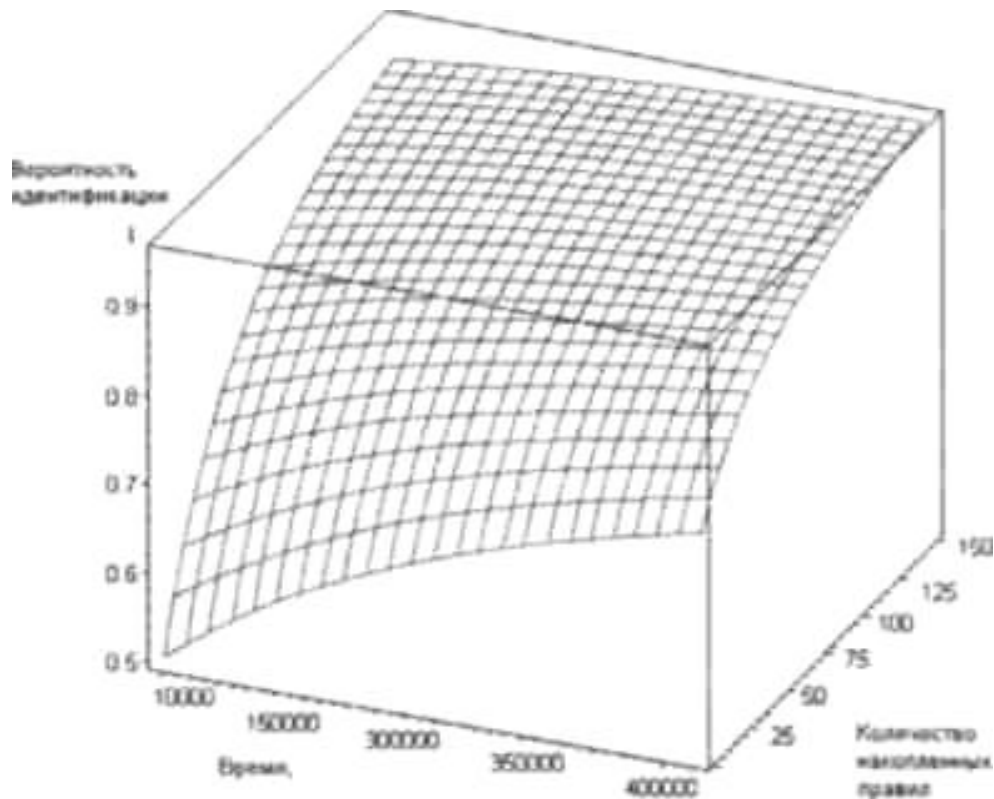


Рисунок 3.1 Графік залежності C_2 від кількості вимірювань

Підставляючи значення $\theta^2 = \frac{1}{3}$ в (3.47), знаходимо, що $C_2=0.8$. Отже, $K \approx 0.7$.

3.4 Приклади прогнозування пошкодження при обстеженні технічного стану безпеки будівель

При експлуатації та проектуванні будівель необхідним є визначити поведінку конструкцій будівель з часом.

Технічний огляд будівель дозволяє встановити їх міцність та деформативні властивості на момент обстеження. Однак для висновку про

подальшу експлуатацію встановлення терміну служби і ремонту будівлі необхідно знати зміну цих властивостей з часом з урахуванням накопичення в них пошкоджень та інших факторів деформації.

Розглянемо три характерні стадії деформації будівель:

1 стадія - стадія навантаження будівлі тривалістю до 1-го року, за якої відбувається в основному приробітку і пружна робота конструкцій;

2 стадія - стадія експлуатації тривалістю кілька десятиліть, при якій іде процес накопичення пошкоджень і деформацій у часі. Робота конструкцій відбувається від експлуатаційних навантажень в пружній стадії;

3 стадія - стадія аварійного руйнування, яка спостерігається протягом декількох днів та супроводжується лавиноподібним зростанням деформацій.

Враховуючи незначні терміни роботи будівлі в стадіях 1 і 3, для оцінки зміни міцнісних і деформативних властивостей з часом запропонована розрахункова схема, заснована на роботі будівлі в стадії експлуатації.

Приклад 1. Потрібно визначити термін експлуатації до настання аварійного стану і деформації конструкції будівлі на підставі даних обстеження.

На підставі обстеження було виявлено зниження проектної несучої здатності конструкцій будівлі внаслідок руйнування колон від корозії бетону.

Для залізобетонних колон обстежувальної будівлі після 10 років експлуатації несуча здатність на момент обстеження складає 0,85 величини проектної несучої здатності.

Гранична відносна деформація бетону колон, що працюють на стиск, при руйнуванні становить в середньому за довідковими даними $u_{\max} = 0,002$, розрахунковий опір бетону на стиск $R_b = 7,5 \text{ МПа}$, початковий модуль пружності бетону $E_b = 21 \cdot 10^3 \text{ МПа}$., відносна надійність конструкцій $\gamma = 0,85$.

Відносна деформація бетону колон при розрахункових навантаженнях:

$$u_c = R_b / E_b = 7,5 / 21 \cdot 10^3 = 0,0003 \quad (3.18).$$

Гранична відносна деформація при аварії:

$$u_a = u_{\max} - u_c = 0,002 - 0,0003 = 0,0017 \quad (3.19).$$

Відносна надійність конструкцій:

$$y = 0,85 \quad (3.20).$$

Постійна зносу:

$$\lambda = -\ln y / t = -\ln 0,85 / 10 = 0,016 \quad (3.21).$$

Термін служби до аварійного стану конструкцій будівлі з початку експлуатації:

$$t_a = 0,5 / \lambda = 0,5 / 0,016 = 31 \text{ років} \quad (3.22).$$

Коефіцієнт деформативності:

$$\beta = \lambda u_a / (e^{\lambda t} - 1) = 0,016 \cdot 0,0017 / (e^{0,016 \cdot 31} - 1) = 4,25 \cdot 10^{-5} \quad (3.23).$$

Відносна поздовжня деформація колон через $t=10$ років експлуатації (момент обстеження):

$$u + u_c = \beta(e^{\lambda t} - 1) / \lambda = 4,25 \cdot 10^{-5} (e^{0,016 \cdot 10} - 1) / 0,016 + 3 \cdot 10^{-4} = 0,0008 \quad (3.24).$$

Приклад 2. Для будівлі після 6-ти років експлуатації несуча здатність конструкцій склала 0,85 нормальної надійності. Потрібно визначити час до настання аварійного стану.

Для даної будівлі відносна надійність конструкцій складає:

$$y = 0,85 \quad (3.25).$$

Постійна зносу:

$$\lambda = -\ln y / t = -\ln 0,85 / 6 = 0,027 \quad (3.26).$$

Термін служби до настання аварійного стану:

$$t_a = 0,5 / \lambda = 0,5 / 0,027 = 18 \text{ років} \quad (3.27).$$

Термін настання аварійного стану з урахуванням експлуатації до моменту обстеження складає: $18 - 6 = 12$ років.

Отримані дані дозволяють кількісно оцінювати експлуатаційну придатність конструкцій будівель, що сприяє підвищенню їх надійності.

3.5 Розрахунок фактичного ризику аварії об'єкта

Знання фактичного ризику аварії дозволяє віднести технічний стан несучого каркаса об'єкта до одного з трьох можливих: безпечного, аварійного та ветхо-аварійного.

У методиці в якості критеріїв оцінки технічного стану будівель і споруд використовуються:

-фіксовані середні значення ризику аварії, до яких відносяться нормальний ризик аварії $R_H = 2$, гранично-допустимий ризик аварії $R_{nd} = 19$ та граничний ризик аварії $R_n = 83$;

-стандартні рівні надійності груп несучих конструкцій, до яких відносяться нормальний рівень надійності $p = 2^{-1/n}$, та гранично-допустимий рівень $p_{nd} = 19^{-1/n}$, де n - число груп однотипних конструкцій каркаса досліджуваного об'єкта.

Для визначення фактичного середнього значення ризику аварії R експерти здійснюють візуально-інструментальне обстеження несучого каркаса об'єкта. За результатами обстеження експерти в кожній, що входить в несучий каркас досліджуваного об'єкта групі однотипних конструкцій відшуковують найбільш і найменш дефектні конструкції, для яких за спеціальним правилом встановлюють рівні небезпеки із зазначенням їх рангів, що характеризують ступінь приналежності дефектної конструкції до одного з абсолютних граничних станів. При призначенні рівнів небезпеки експерти використовують фактичну інформацію про технічний стан дефектних конструкцій, віртуальну інформацію про найбільш небезпечні дефекти конструкцій. Прийняте рішення експерти підтверджують розрахунками і випробуваннями дефектних конструкцій; при динамічних навантаженнях виробляють розрахунок на резонанс; при наявності агресивних середовищ встановлюють їх вплив на рівень небезпеки конструкції.

Далі за програмою «Risk» комп'ютер виконує такі операції:

-для кожної групи конструкцій за правилом формалізації експертної інформації (переводить рівні небезпеки найбільш і найменш дефектних конструкцій в рівні надійності p_1 і p_2 відповідно;

-для кожної групи конструкцій визначає середній рівень надійності за формулою $Mr = (p_2 - p_1) / 2$;

-визначає середній ризик аварії об'єкта за формулою $R = 1/P(Mr)$, де $P(Mr)$ - добуток середніх рівнів надійності всіх n груп однотипних конструкцій несучого каркаса об'єкта;

-співставляє середнє значення ризику аварії R з фіксованими середніми значеннями ризику аварії і відносить технічний стан досліджуваного об'єкта до одного з трьох можливих: безпечного, якщо $R_n < R < R_{nd}$; аварійного, якщо $R_{nd} < R < R_n$; ветхо-аварійного, якщо $R > R_n$.

Примітка. Доцільно середнє значення ризику аварії об'єкта визначати для кожної «проміжної» будівлі, яке можна виділити з досліджуваного об'єкта. Під «проміжною» будівлею розуміється частина m -поверхового об'єкту, що містить нульовий цикл і $k = 1, 2, \dots, m$ його поверхів.

Оцінку точності і достовірності результату розрахунку ризику аварії здійснюють через комп'ютерне моделювання ризик-ситуацій досліджуваного об'єкта. Необхідні статистичні дані відшуковують методом статистичних випробувань ризику аварії (метод Монте-Карло). Випробуванню піддається математична модель, що зв'язує ризик аварії об'єкта з рівнями надійності груп конструкцій несучого каркасу у формі

$$r\phi = 1/r\phi = 1/P_r \quad (3.28),$$

де P_r - добуток рівнів надійності всіх n груп несучого каркасу об'єкта.

Процес верифікації містить наступні процедури:

- за значеннями p_1 и p_2 конкретизують закон розподілу ймовірностей рівнів надійності p конструкцій в групах $f(p) = 1/(p_2 - p_1)$;

- для кожної групи N разів розігрують випадкову величину p за формулою $p = p_1 + q (p_2 - p_1)$, де q - рівномірно розподілена в інтервалі $[0; 1]$ випадкова величина;
- N разів випробовують ризик аварії об'єкта за формулою $(r\phi)_j = 1/P(p)_j$, де $P(p)_j$ - добуток n розіграних раніше значень p , що включаються в i -е випробування ризику аварії ($i = 1, 2, \dots, N; N=10$);
- по статистичному ряду з N випадкових значень ризику аварії $r\phi$ будують гістограму розподілу фактичного ризику аварії і по гістограмі визначають середнє значення ризику аварії R^* ;
- порівнюють R^* з раніше знайденою величиною ризику аварії R і за відсотком відхилення цих величин приймають рішення про точність та достовірність результату розрахунку фактичного ризику аварії досліджуваного об'єкта.

Примітки:

1. Формула для розігрування випадкової величини p є наслідком рішення певного інтегралу $[1/(p_2 - p_1)]dp = q$ в межах від p_1 до p .
2. Кожен стовпчик на гістограмі характеризує ризик-ситуацію (частоту) певного числа об'єктів з безлічі, що містить N досліджуваних об'єктів. По суті при верифікації відбувається експеримент, дані якого синтезовані з використанням комп'ютерної технології.

3.6 Метод розрахунку показників ресурсу об'єкта

До показників ресурсу об'єктів відносяться безпечний ресурс T_6 і безпечний залишковий ресурс T_{6o} . Безпечний ресурс - це час з моменту введення об'єкта в експлуатацію до досягнення нею гранично-допустимого ризику аварії, а безпечний залишковий ресурс - інтервал часу експлуатації будівлі (споруди) від моменту, при якому здійснена діагностика його технічного стану і визначене фактичне значення ризику аварії R , до моменту досягнення об'єктом гранично-допустимого ризику аварії. Якщо при

досягненні об'єктом гранично-допустимого значення ризику аварії ремонтно-відновлювальні роботи для зниження ризику аварії проведені не будуть, то об'єкт переходить в аварійний стан. В цьому випадку життєвий цикл об'єкта від початку його будівництва до досягнення граничного ризику аварії визначає величину граничного ресурсу (T_n) цього об'єкта.

Безпечний залишковий ресурс будівлі, його фізичний (конструкційний) знос і фактичний ризик аварії - це тісно пов'язані величини. При побудові математичних моделей оцінки фізичного зносу і залишкового ресурсу об'єктів будівництва прийняті наступні дві гіпотези.

1. Форма моделі зростання фізичного зносу об'єкта в процесі його експлуатації є експонента. Її представницьким параметром служить фактичний ризик аварії R , зафіксований через T_ϕ років експлуатації об'єкта.

2. З моменту початку будівництва фізичний знос об'єкта зростає від нуля до значення, що залежить від величини фактичного ризику аварії в фіксований момент часу його експлуатації. При досягненні ризиком аварії граничного значення R_n фізичний знос об'єкта стає рівним 0,95 (95%).

Вибір форми моделі фізичного зносу об'єкта (1-а гіпотеза) обґрунтований дослідженнями ресурсу конструкцій в теорії надійності; друга гіпотеза введена за аналогією з «гамма» % ресурсом по зносу, що використовується також в теорії надійності.

Прийнятим гіпотезам відповідає нижче наведена математична модель, що дозволяє визначити величину фізичного зносу J будівлі, що експлуатується на момент часу T , при якому проведена діагностика технічного стану об'єкта і знайдена величина його фактичного ризику аварії R :

$$J = J(T) = 1 - \exp \{-k(R - 1)\} \quad (3.29).$$

Неважко побачити, що на момент початку будівництва об'єкта, коли $R = 1$, формула (3.29) дає нульовий знос, що відповідає прийнятій гіпотезі. Для визначення коефіцієнта k , що входить у формулу (3.29), використовується гіпотеза, що при $R = R_n = 83$ фізичний знос об'єкта дорівнює 0,95. При цих даних з формули (3.29) випливає, що $k = 0,0365$.

При знайденому значенні коефіцієнта k формула (3.29) дозволяє визначити величину конструкційного зносу J_{nd} при досягненні об'єктом гранично-допустимого ризику аварії $R = R_{nd} = 19$. З формули (3.29) випливає, що $J_{nd} = 0,50$ (50%). При такій величині зносу на об'єкті повинні бути розпочаті ремонтні роботи для зниження ризику аварії.

У математичній моделі (3.29) фактор часу присутній в неявному вигляді. Їм є зафіксований момент часу $T = T_c + T\phi$, де T_c - час зведення (будівництва) об'єкта, а $T\phi$ - термін експлуатації об'єкта, при якому проведена діагностика його технічного стану і розрахований ризик аварії, що дозволяє за формулою (3.29) визначити фактичний знос об'єкта J на момент часу T . Для прогнозу безпечного залишкового ресурсу будівлі (споруди) залежність фізичного зносу від часу в явному вигляді за аналогією з виразом (3.29) також приймається у формі експоненти:

$$J(T) = 1 - \exp \{-i \cdot T\} \quad (3.30),$$

де i - інтенсивність фізичного зносу об'єкта.

Інтенсивність фізичного зносу визначається з умови, що при $T = T_c + T\phi$, величина зносу відома і дорівнює $J = J(T)$. Прирівнюючи праві частини формул (3.29) і (3.30), отримуємо, що

$$i = 0,0365 (R - 1) / (T_c + T\phi) \quad (3.31).$$

Безпечний залишковий ресурс $T_{\phi o}$ визначиться за формулою $T_{\phi o} = T_{nd} - T$, де T_{nd} - час від початку будівництва об'єкта до досягнення ним гранично-допустимого ризику R_{nd} . Час T_{nd} при знайденому значенні інтенсивності знайдеться з рівняння (14), якщо прийняти, що $J(T = T_{nd}) = J_{nd} = 0,50$. Величину T_{nd} можна визначити також з формули, яка витікає з рівності правих частин залежностей (3.29) і (3.30): $\{-0,0365 (R_{nd} - 1)\} = \{-i \cdot T_{nd}\}$, з якої випливає, що $T_{nd} = 0,657 / i$. В результаті формула для визначення безпечного залишкового ресурсу має наступний вигляд:

$$T_{\phi o} = 0,657 / i - T \quad (3.32).$$

За формулою (3.32) можна спрогнозувати безпечний ресурс об'єкта на момент часу закінчення його будівництва. Для цього величину $T\phi$ слід прийняти рівною нулю. При $R\phi > R_{nd}$ безпечний ресурс об'єкта повністю вичерпаний.

Граничний термін служби об'єкта T_n можна спрогнозувати з умови, що при $T = T_n$ знос відомий і дорівнює $J_n = 0,95$. Тут час T_n також можна визначити з рівності $\{-0,0365 (R_n - 1)\} = \{-i \cdot (T_n)\}$, з якої випливає, що

$$T_n = 2,993 / i \quad (3.33).$$

Формула (3.33) справедлива, якщо на об'єкті не були проведені ремонтно-відновлювальні заходи (капітальний ремонт) по зниженню ризику аварії.

Показники ресурсу $T_{\phi 0}$ та T_n істотно залежать від величини фактичного ризику аварії на момент здачі об'єкта в експлуатацію.

Дійсно, нехай після закінчення будівництва фактичний ризик аварії об'єкта дорівнює нормальному значенню ($R = R_n = 2$), а термін будівництва нормативний, рівний $T_c = 2$ роки. З формули (3.29) випливає, що фактичний знос об'єкта до моменту здачі його в експлуатацію склав:

$$J = 1 - \exp \{-k (R - 1)\} = 1 - \exp \{-0,0365 (2 - 1)\} = 0,0358 \text{ (3,58 \%)} \quad (3.34).$$

З формули (3.31) знаходимо інтенсивність зносу: $i = 0,01825$ (1/рік). При знайденій величині інтенсивності часу T_{nd} до досягнення об'єктом гранично-допустимого ризику R_{nd} $T_{nd} = 0,657 / 0,01825 = 36$ років. Отже, безпечний ресурс об'єкта $T_{\phi} = T_{nd} - T = 36 - 2 = 34$ роки.

Припустимо, що фактичний ризик аварії об'єкта після закінчення його будівництва перевищив нормальне значення в два рази, тобто $R = 2R_n = 4$. В цьому випадку $J = 1 - \exp \{-0,0365 (4 - 1)\} = 0,1037 \text{ (10,37 \%)}; i = 0,05475$ (1/рік); $T_{nd} = 0,657 / 0,05475 = 12,0$ років; $T_{\phi} = 12 - 2 = 10$ років, тобто перевищення нормального значення ризику аварії до закінчення будівництва об'єкта в 2 рази спричинило за собою зниження безпечного ресурсу об'єкта в 3,4 рази. Така плата за перевищення нормального значення ризику аварії

будівель і споруд до моменту закінчення їх будівництва. Цей факт проілюстрований на рис.3.2

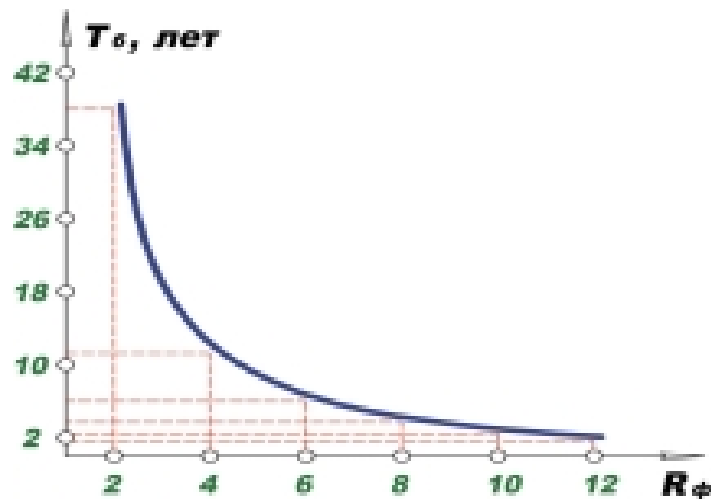


Рисунок 3.2 Залежність безпечного ресурсу об'єкта від величини ризику аварії на момент закінчення його будівництва

За аналогією можна побудувати математичну модель для визначення фізичного зносу (J^*) групи однотипних конструкцій несучого каркасу будівлі на момент часу T , при якому проведена діагностика об'єкта і знайдені середні рівні надійності Mr груп. Для цього необхідно у формулі (3.29) провести заміну величини R на $1/Mr$, а коефіцієнт k визначити з умови, що при значенні $Mr = 0,25$ знос групи дорівнює 95%. Як результат $J^* = 1 - \exp \{ - [(1 - Mr)/Mr] \}$.

Отже, підсумовуючи, слід зазначити, якщо по закінченню безпечного ресурсу ремонтно-відновлювальні заходи щодо зниження ризику аварії на об'єкті проведені не будуть, то величина $(T_n - T_{nd})$ є часом «дожиття об'єкта». У цей період його опірність запроектованим впливам знижена і використання $(T_n - T_{nd})$ ресурсу може призвести до аварії, а значить, і до збитків, які будуть незрівнянно вище вартості попереджувальних заходів.

3.7 Приклади розрахунку ризику аварії безпечної експлуатації будівель

Приклад 1. Оцінка рівня безпеки об'єкта, що експлуатується.

Відомості про об'єкт:

- Фактичний термін експлуатації: 34 р.
- Тип споруди: *Монолітний з/б.*
- Тип фундаменту: *З/б плити під опорні стіни.*
- Число груп однотипних конструкцій несучого каркасу: $n = 10$.

В табл. 3.3 наведені номери та найменування груп однотипних конструкцій, а в табл. 3.4 – вимоги конструкційної безпеки.

Таблиця 3.3 Найменування та нумерація груп однотипних конструкцій

Частини споруди	Номери та найменування груп однотипних конструкцій несучого каркасу об'єкта
Підземна частина (нульовий цикл)	1. Основа під фундаменти опорних стін 2. Фундаментна плита лотка 3. Підпорні стіни лотка 4. Фундаментна плита понура 5. Підпорні стіни понура 6. Фундаментна плита водобою 7. Підпорні стіни водобою 8. Стіни відкосу відвідного каналу
Наземна частина	9. З/б міст 10. Галерея

Таблиця 3.4 Вимоги безпеки будівлі

Стандартні показники безпеки	Значення показників
Нормальний ризик аварії об'єкта	$R_n = 2$
Гранично-допустимий ризик аварії	$R_{nd} = 19$
Нормальний рівень надійності конструкцій	$p_n = (R_n)^{-1/n} = 2^{-1/10} = 0,933$
Гранично-допустимий рівень надійності конструкцій	$p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n} = 19^{-1/10} = 0,745$

Експертна інформація про технічний стан однотипних груп конструкцій будівлі наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 Експертна інформація

Номер групи	Опис дефектів «низького рівня» в групі конструкції	Рівень небезпеки і ранг рівня конструкції в групі	
		найбільш дефектної	найменш дефектної
1	Дефекти не виявлені	1.2	1.1
2	Дефекти не виявлені	1.2	1.1
3	Вертикальна тріщина шириною 4-5	7.3	7.2
4	Зміщення плити понура	3.2	2.3
5	Вертикальна тріщина шириною	8.1	7.3
6	Руйнування бетону	7.2	5.2
7	Руйнування бетону стін водобоя	7.1	5.1
8	Розсихання бетону стіни укосу	7.3	5.2
9	Руйнування міжбалкових швів,	4.2	3.1
10	Дефекти не виявлені	1.2	1.1

Результати формалізації експертної інформації наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 Результати формалізації експертної інформації

№ групи конструкції	Значення рівня надійності		Середній рівень надійності конструкцій в групі M_p
	найбільш дефектної конструкції p_1	найменш дефектної конструкції p_2	
1	0,987	0,994	0,991
2	0,987	0,994	0,991
3	0,414	0,441	0,428
4	0,828	0,910	0,869
5	0,389	0,414	0,402
6	0,441	0,568	0,505
7	0,470	0,604	0,537
8	0,414	0,568	0,491
9	0,686	0,882	0,784
10	0,987	0,994	0,991

Результати розрахунків ризику аварії для «проміжної» будівлі наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 Фактичні показники ризику аварії для «проміжної» будівлі.

«Проміжні» будівлі	Формула та обчислення величини ризику аварії	Фактичний ризик аварії
Підземна частина (нульовий цикл)	$1/P(p_i)_0 = 1/(0,991 \cdot 0,991 \cdot 0,428 \cdot 0,869 \cdot 0,402 \cdot 0,505 \cdot 0,537 \cdot 0,491)$	$(R)_0 = 51,15$
Наземна частина (поверх)	$1/P(p_i)_0 \cdot 1/P(p_i)_1 = 51,15 \cdot 1/(0,784 \cdot 0,991)$	$(R)_1 = 65,83$

Фізичний знос J водозливу споруди на момент часу $T = 34$ р. визначається:

$$J = J(34) = 1 - \exp \{-0,0365 (65,83 - 1)\} = 0,906 (90,6 \%) .$$

Висновок. Ризик аварії об'єкта значно перевищує гранично-допустимі значення. Водозлив будівлі знаходиться в аварійному стані.

Приклад 2. Оцінка рівня безпеки несучої системи шляхопроводу на 2104 км.

Відомості про об'єкт:

- Фактичний термін експлуатації: 50 р.
- Тип споруди: *Залізобетонна нерозрізна 4-х пролітна балка на бетонних опорах.*
- Тип фундаменту: *З/б плити під опорні стіни.*
- Число груп однотипних конструкцій несучого каркасу: $n = 5$.

В табл. 3.8 наведені номери та найменування груп, а в табл. 2 – вимоги конструкційної безпеки шляхопроводу.

Таблиця 3.8 Найменування та нумерація груп однотипних конструкцій

Частини будівлі	Номери та найменування груп
Нульовий цикл шляхопроводу	1. Основа фундаментів 2. Фундаменти 3. Опори шляхопроводу

Проїжджаюча частина шляхопроводу	4. Плити підбалочної (по верху опор) 5. Пролітні балки
----------------------------------	---

Таблиця 3.9 Вимоги безпеки шляхопроводу

Стандартні показники безпеки	Значення показників
Нормальний ризик аварії об'єкта	$R_n = 2$
Гранично-допустимий ризик аварії	$R_{nd} = 19$
Нормальний рівень надійності конструкцій	$p_n = (R_n)^{-1/n} = 2^{-1/5} = 0,871$
Гранично-допустимий рівень надійності конструкцій	$p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n} = 19^{-1/5} = 0,555$
Граничний ризик аварії	$R_n = 83$

Експертна інформації про технічний стан однотипних груп конструкцій шляхопроводу наведено в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 Експертна інформація

Номер групи	Опис дефектів «низького рівня» в групі конструкції	Рівень небезпеки і ранг рівня конструкції в групі	
		найбільш дефектної	найменш дефектної
1	Замочування ґрунту основи на глибину 0,4 м	7,2	6
2	Водонасичення бетону, «пустошовка»	4.3	4.1
3	Наявність поперечної клиновий тріщини з розкриттям до 0,5 мм.; опора розділена на блоки, по висоті яких міцність змінюється від 18 МПа (низ стику) до 6 МПа (верх стику)	8.3	8.2
4	Бетон пухкий, кородує, є численні тріщини з розкриттям до 1 мм	9.2	9.1

5	Бетон балки в прольоті пухкий і кришиться, арматура (нижня) по всьому прольоту оголена й іржавіє. Наявність в консолях на відстані 0,8 м від кореня балки по довжині всього прольоту поздовжніх тріщин з розкриттям до 2 мм	10.1	9.2
---	---	------	-----

Результати формалізації експертної інформації наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 Результати формалізації експертної інформації

№ групи конструкції шляхопроводу	Значення рівня надійності		Середній рівень надійності конструкцій в групі <i>Mr</i>
	найбільш дефектної конструкції <i>p₁</i>	найменш дефектної конструкції <i>p₂</i>	
1	0,441	0,500	0,471
2	0,644	0,730	0,687
3	0,343	0,365	0,354
4	0,303	0,322	0,313
5	0,267	0,303	0,285

Фактичне значення ризику аварії несучого каркаса шляхопроводу визначаємо:

$$R = 1 / \Pi(p) = 1 / (0,471 \cdot 0,687 \cdot 0,354 \cdot 0,313 \cdot 0,285) = 97,86.$$

Висновок. Ризик аварії шляхопроводу перевищив граничне значення ризику. Цей факт означає, що шляхопровід знаходиться у ветхо-аварійному стані, його ресурс повністю вичерпаний, а час настання аварії відкрито.

Приклад 3. Розрахунок ризику аварії нульового циклу центрального корпусу.

Експертна інформація про технічний стан однотипних груп конструкцій нульового циклу центрального корпусу приведена в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 Експертна інформація

Номер та назва групи конструкцій	Опис дефектів «низького рівня» в групі конструкції	Рівень небезпеки і ранг рівня конструкції в групі	
		найбільш дефектної	найменш дефектної
1.Основа (розбірна скала)	Підстава нижче рівня ґрунтових і техногенних вод, Бічні поверхні фундаментів - в грязьовий ванні	3.3	3.1
2.Фундамент (буто-бетонний)	Фундамент має неопрацювання бетону: міжзернова порожнинність, відсутня (викришена) бітумна ізоляція, бетон водонасичений. Міцність бетону при проектній марці М100: 9,7 МПа - зовнішні фундаменти, 8 МПа - внутрішні	4.2	3.3
3.Колони і пеньки колон	Неоднорідність бетону по міцності на стиск: розмах R 39-15 = 24 МПа. Бетон пеньків монолітний, пухкий з міцністю нижче проектною на 20%	6	5.2
4.Стіни цегляні, перемички з/б	Цегла зовнішніх стін волога, в зовнішній верстві в зонах поблизу водостічних труб схильна до морозної агресії, кладка розпушена і «бухтить». Власна цегла має «цвіль», тріщинуватості, неоднорідність. Перемички віконних прорізів під зовнішньою верствою розпушені морозною агресією	8.1	3.1

5.Балки-ригелі (з/б)	Тріщини похилі арочні, на кінцях балок з розкриттям до 0,5 мм, в стиках з монолітними пеньками міжповерхового простору тріщини вертикальні, оголення і корозія арматури балок в опорах на консолі колон, точкове спирання	8.2	3.1
6.Плити перекриття	Дефекти не виявлені	1.1	0

Результати формалізації експертної інформації наведено в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 Результати формалізації експертної інформації

№ групи конструкції шляхопроводу	Значення рівня надійності		Середній рівень надійності конструкцій в групі M_p
	найбільш дефектної конструкції p_1	найменш дефектної конструкції p_2	
1	0,777	0,882	0,830
2	0,686	0,777	0,732
3	0,500	0,568	0,534
4	0,389	0,882	0,636
5	0,365	0,882	0,624
6	0,994	1,000	0,997

Фактичне значення ризику аварії несучого каркаса центрального корпусу визначаємо:

$$R = 1/ \Pi(p) = 1/(0,830 \cdot 0,732 \cdot 0,534 \cdot 0,636 \cdot 0,624 \cdot 0,997) = 7,790$$

Висновок. Ризик аварії несучого каркаса нульового циклу перевищив нормальне значення ризику в 3,9 рази. Для зниження ризику аварії необхідно провести технічне регулювання рівня конструкційної безпеки нульового циклу.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬ

Створення складних програмних засобів і інформаційних комплексів в основному ведеться на основі об'єктно-орієнтованого програмування (ООП), що дозволяє скоротити часові витрати і спростити процес створення таких систем. Методологія ООП спрямована на проектування системи, оцінку можливих витрат перед її створенням, виявлення вимог до системи. ООП дозволяє використовувати методи розроблені іншими програмістами, легко модифікувати і вдосконалювати програмні комплекси і системи. З'являються все нові технології, які дозволяють спростити створення програмних комплексів і використовувати напрацювання інших фахівців.

Розроблено різні методології, технології та способи графічного опису моделей програмних систем на основі ООП, наприклад OMT (Object Modeling Technique), SA / SD (Structured Analysis / Structured Design), JSD (Jackson Structured Development), OSA (Object-Oriented System Analysis), COM (Component Object Model), DCOM (Distributed Component Object Model), CORBA (Common Object Request Broker Architecture).

Застосовано метод для побудови програмного комплексу на основі змішаного програмування, коли процедури методів реалізуються зі спеціалізованих бібліотек, зокрема бібліотек середовища CLIPS, а основна програмна частина реалізується об'єктно-орієнтованою мовою, при цьому досягається максимальна ефективність побудови програмного комплексу. Для створення пакету прикладних програм також був притягнутий ООП підхід.

4.1 Основні завдання, які реалізуються пакетом прикладних програм

Реалізований на основі теоретичних концепцій пакет прикладних програм виконує наступні завдання:

- визначення інформативних даних для здійснення прогнозу;
- налаштування нейронної мережі;
- навчання нейронної мережі;
- здійснення взаємозв'язку з підсистемою визначення доступу;
- організація роботи користувачів з системою;
- організація роботи експертів з системою.

Програмний комплекс повинен працювати в розрахованому на багато користувачів режимі. Система повинна підтримувати інтерфейс користувача і експерта, працюючого з комплексом.

4.2 Програмний модуль «нейронні мережі»

Для побудови нейромережевої моделі прогнозування передаварійних ситуацій будівель. Ця підсистема повинна виконувати наступні завдання:

- створення навчальної вибірки;
- створення моделі НМ;
- установка параметрів мережі;
- вибір методу навчання;
- здійснення процедури навчання НМ;
- тестування НМ.

Ця підсистема повинна дозволяти будувати навчальні вибірки, вибирати метод навчання і тип нейронної мережі, мати можливість задавати функції активації для нейронів. Перебудовувати навчену мережу на тестовій і навчальній вибірці, переглядати результати тестів в графічному вигляді, оцінювати середньоквадратичну похибку.

4.3 Огляд програм для імітації роботи нейронних мереж

Існує безліч програмних систем, які реалізують імітацію роботи і навчання нейронних мереж. Вони служать для побудови і вивчення в тій чи іншій мережі для вирішення будь-якої задачі користувача. Дані програми пропонують досліднику набір алгоритмів навчання і засобів оцінки помилок роботи мережі, при цьому дослідник сам повинен задати попередньо навчальні вибірки (зазвичай в спеціалізованих вхідних файлах) і саму мережу, вибрати кількість нейронів, шарів, види активаційних функцій. Це такі пакети, як Statistica Neural Networks, NeuroSolutions, Neuro Windows і ін. Дані пакети відносяться до так званих універсальних пакетів, що дозволяє користувачеві вирішувати будь-які свої завдання, функціональність нейронної мережі задається в навчальних вибірках. При цьому такі пакети часто не дозволяють врахувати багато аспектів притаманній даним предметній галузі. Крім того, мають меншу мобільність і компактність, ніж спеціалізовані пакети, які призначені для вирішення конкретних завдань, наприклад, задач розпізнавання образів, класифікацій, економічних завдань, завдань прогнозування і т.д.

Проведено аналіз існуючих підходів закладених у відомі програмні продукти. Були розглянуті наступні програмні засоби: NeuroOffice, Neural Bench, NeuroIteator, Neuro Wizard і ін. Дані програми дозволяють створювати мережі типу багатошарового персептрона, і в цілому характеризуються різними можливостями щодо вибору активаційних функцій нейронів і алгоритмів навчання. В якості алгоритмів навчання в основному використовуються градієнтні методи.

Програма NeuroBench дозволяє створити нейронну мережу типу багатошарового персептрона, для цього вказується число шарів нейронної мережі, для кожного шару вказується число нейронів і задається функція активації. При цьому програма автоматично створює всі зв'язки, нейрон наступного шару відповідно має число входів, що дорівнює кількості нейронів попереднього шару. Можливе створення семи шарів в нейронній мережі з

максимальним числом нейронів в шарі 128. Число нейронів в першому шарі відповідає числу входів нейронної мережі, кожен нейрон вхідного шару має один вхід. Навчальну вибірку повинен сформувати дослідник і записати в спеціальний вхідний файл. Крім того, для перевірки роботи мережі створюється тестова вибірка. Результати роботи програми записуються в спеціальний вихідний файл. В даному файлі тестовому вхідного сигналу відповідає вихідний сигнал, що генерується мережею. Програма дозволяє оцінити загальну середню помилку роботи мережі, навчити мережу обраним методом. В якості методів навчання використані градієнтні методи навчання із застосуванням різних правил. Програма не дозволяє змінювати параметри активаційних функцій і переглянути їх поведінку на графіку. Немає можливості завдання початкових значень вагових коефіцієнтів і перегляду коефіцієнтів, отриманих під час навчання. Також неможливо переглянути динаміку зміни помилки мережі по всіх вхідних даних. Проведені дослідження показали, що при створенні тришарової і двошарової мережі і навчанні її на тестових прикладах (спектр і концентрація), мережа видає рішення з великою відносною помилкою. Вхідні і вихідні дані були приведені до інтервалу від 0 до 1, в якості активаційної функції була взята позитивна сигмоїдальна функція.

Програма NeuroOffice має в своєму складі два окремих виконуваних модуля, NeuroView і NeuroEmulator. Перший з модулів дозволяє створювати топологію мережі на основі мережі типу багатошарового персептрона. Відмінність від NeuroBench в тому, що програма дозволяє створювати і не повно-зв'язкові мережі. Користувач створює кожен нейрон і кожен зв'язок власноруч. При великій кількості нейронів це займає багато часу, але якщо необхідно створити нестандартну мережу, то даний програмний продукт може бути використаний. Програма NeuroEmulator призначена для перевірки роботи та навчання нейронної мережі, побудованої за допомогою NeuroView. Програма дозволяє встановити початкові значення вагових коефіцієнтів, як випадковим чином, так і вручну. Дозволяє вибрати активаційну функцію для нейронів: сигмоїдальну, гіперболічний тангенс, синусоїдну, лінійну і порогову.

Метод навчання, який використовується в даній програмі - метод зворотного поширення помилки.

Програмний комплекс NeuroIterator призначений для розробки і дослідження нейромережевих алгоритмів вирішення різних завдань, як на формованих, так і на тих, хто навчається на нейронних мережах. Він дозволяє створювати різні моделі нейронів, формувати з них багатошарові мережі (до десяти шарів в мережі, і до 18 нейронів в кожному шарі). Для того щоб сформувати нейронну мережу, в пакеті NeuroIterator необхідно задати моделі нейронів, що утворюють мережу, описати структуру майбутньої мережі, задати вагові коефіцієнти міжнейронних зв'язків для формованих нейронних мереж, або визначити ці коефіцієнти в результаті навчання для мереж з прямими зв'язками. Пакет NeuroIterator надає користувачеві можливість формувати моделі нейронів чотирьох класів: з кусочно-лінійною функцією активації, з пороговою, сигмовидною і гаусом функціями активації. Є можливість зміни параметрів активаційних функцій. Навчальна вибірка повинна міститися в текстових файлах, один з файлів містить вектора з вхідними даними, інший містить вектора вихідних даних, за рядком. Для навчання мережі може використовуватися метод зворотного поширення помилки за правилом Хебба і метод конкуренції. Можливий перегляд вихідних відгуків мережі на вхідний сигнал і помилку мережі в табличному вигляді, а також перегляд графіків і таблиць активності нейронів. Можливо завдання нейронної мережі і навчальних вибірок в файлах спеціалізованого формату.

Програма NeuroWizard дозволяє створити багатошарову нейронну мережу з прямими зв'язками. Нейроноподібний елемент може мати тільки одну сигмовидну функцію активації, але є можливість варіювання крутизни її нахилу. Навчальна вибірка міститься в спеціальному файлі.

На основі навчальної вибірки організовується вхідний і вихідний шар нейронної мережі (в залежності від числа входів і виходів), внутрішні шари користувач визначає сам. Навчання мережі проводиться за допомогою методу

зворотного поширення помилки. Можливий перегляд результатів роботи мережі, помилки мережі, перегляд динаміки зміни помилки при навчанні.

Програма Visual Neural Network Designer призначена для імітації та роботи нейронних мереж для розпізнавання образів. В якості мережі використовується двовимірна нейронна мережа і для навчання метод зворотного поширення і його модифікації. Програма дозволяє вводити образи, які повинні розпізнавати мережу, переглядати результати у вигляді зображень, виводити помилки у вигляді графіків. Для цих ж цілей розроблена програма Neural Network працює з мережею Кохану і багатошаровим персептроном. При цьому в програму включені різні методи навчання поряд з методом зворотного поширення помилки, метод генетичного пошуку, випадкового пошуку, стратегія двоповерхового навчання на основі генетичного пошуку і градієнтного спуску, стратегія BFGS (використання апроксимації до матриці друге приватних похідних, до матриці Гессе в методі зворотного поширення помилки). Програма дозволяє переглядати графіки активності нейронів в тривимірному вигляді, помилки роботи мережі і багато інших параметрів.

Програма Statistica Neural Networks дозволяє навчати і тестувати нейронні мережі Кохану, багатошарового персептрона, радіально базисні мережі. В якості методів навчання використовуються методи сполучених градієнтів, Левенберга-Марквардта, зворотного поширення помилки. Рекомендованим алгоритмом є метод сполучених градієнтів. Алгоритм Левенберга-Марквардта дає в деяких випадках кращі результати, але має обмеження на конструкцію нейронної мережі - один вихід і 20-50 нейронів в прихованому шарі. Особливостями процедур навчання є крос-перевірка (перевірка мережі на додатковій вибірці для усунення ефекту перенавчання), можливість завдання різних умов зупинки навчання (число ітерацій, рівень помилки, число ітерацій, протягом яких помилка починає збільшуватися або до моменту, коли помилка починає зменшуватися на величину меншу заданої). Також установка штрафів на кількість елементів в мережі, щоб вибрати найбільш оптимальну мережу, автоматичне збереження кращої мережі,

автоматичний конструктор мережі дозволяє створити, мережу найкращим чином, що вирішує це завдання (хоча, дана процедура займає тривалий час). Включений генетичний відбір найбільш інформативних даних (підбір найбільш оптимальних входів і видалення менш інформативних), дана процедура також займає тривалий час, вона заснована на схрещуванні і мутації безлічі бітових рядків входів і подальшого вибору оптимального варіанта.

Розглянуті вище програми дозволяють створювати мережі типу багатoshарового персептрона, і в цілому характеризуються різними можливостями щодо вибору активаційних функцій нейронів і алгоритмів навчання. Як алгоритми навчання в основному використовуються градієнтні методи. Але дані програмні продукти не підходять для рішення нашої задачі, пов'язаної з якісним аналізом повітряного середовища за даними ІК спектрів поглинання. Складність застосування вже готових програмних продуктів пов'язана з обмеженим числом нейронів в мережі, з недостатніми можливостями по перегляду проміжних результатів, зі складністю завдання структури мережі, з установкою додаткового програмного забезпечення і неможливістю роботи непідготовленого користувача, що зумовило необхідність розробки алгоритмів і програм, які дозволили б створювати і проводити аналіз роботи нейронної мережі для встановлення концентрації шкідливих речовин за даними ІК спектрів поглинання.

4.4 Опис реалізації пакету прикладних програм

Для створення інформаційного комплексу інтелектуальної підтримки прийняття рішень на основі механізму немоного логічного висновку і нейромережевих технологій були використані такі технічні засоби: комп'ютер Intel Pentium Dual CPU - 2.4, з 3 Гбайт оперативної пам'яті і встановленими системами Microsoft Windows 7;

Програма написана для функціонування в середовищі Windows .

Як інструментальних засобів проектування і розробки програмної системи був використаний інструментальний пакет Borland Delphi 10, що поєднує високопродуктивний компілятор, універсальний механізм роботи і об'єктно-орієнтовані засоби програмування. В якості основної мови програмування вибрана мова об'єктно-орієнтованого програмування Object Pascal.

Вибір даного середовища розробки обумовлений:

- новою системою шаблонів коду та інших нововведень середовища розробки, які якісно покращують роботу з вихідними текстами і підвищують продуктивність розробки;
- потужним середовищем швидкої розробки додатків для корпоративної розробки під Windows з допомогою мови Object Pascal. Інтегроване середовище розробки Delphi 10 включає в себе вбудований відладник, підсвічування синтаксису, дозволяє забезпечувати навігацію по вихідному коду з системою закладок;
- сумісність з компонентами нейронних мереж від компанії BaseGroup;
- оновленою бібліотекою візуальних компонент (VCL), що дозволяє прискорити і спростити розробку графічного, призначеного для користувача, інтерфейсу (GUI), автоматично розташовуючи компоненти відповідно до налаштованих правил, для дотримання цілісності GUI або його відповідності корпоративним стандартам.

При проектуванні підсистеми Нейрна мережі була задіяна бібліотека компонентів NeuralBase для Borland Delphi, призначена для програмної реалізації нейронних мереж. Як приклад, створені компоненти реалізують нейромережеві парадигми.

Основним призначенням бібліотеки є інтеграція нейронних мереж в інформаційні системи, для розширення аналітичних можливостей систем. Реалізація нейронних мереж у вигляді компонентів, наявність відкритого коду дозволяє легко вбудовуватися в інші програми.

Об'єктно-орієнтоване виконання додає особливу гнучкість, досить переписати пару методів і можна отримати компонент, оптимізований під вирішення завдання.

Ієрархія класів. Існує три базових класи TNeuron, TLayer, TNeuralNet. Всі інші є похідними від них. На рис. 4.1 приведена ієрархія класів, суцільними лініями показано успадкування (стрілкою вказаний нащадок), пунктирними - показано в яких класах вони використовуються.

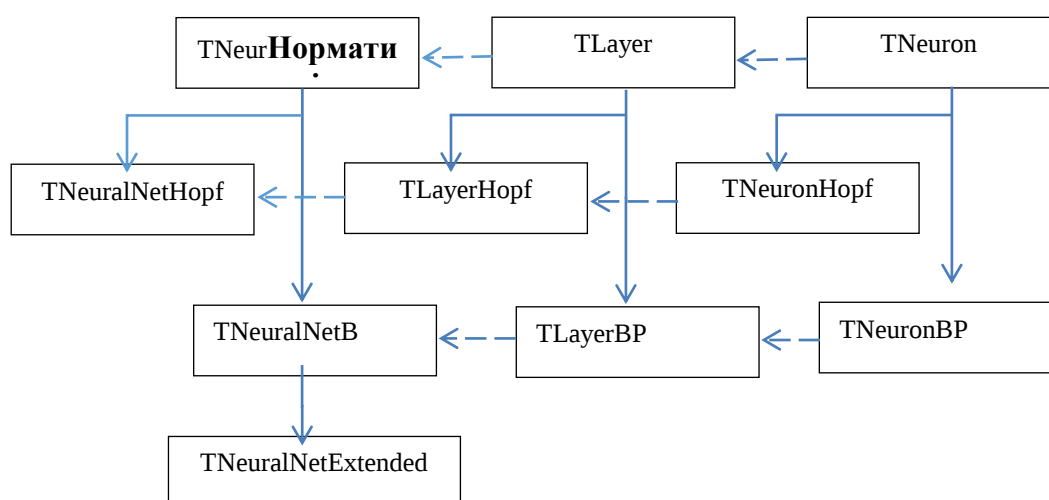


Рисунок 4.1 Ієрархія класів

TNeuron є базовим класом для нейронів, несе всю основну функціональність, має індексовані властивості Weights, що представляють собою вагові коефіцієнти (синапси), властивість Output, яке є виходом нейрона (результатом обчислень) і акумулятор, роль якого, виконує метод ComputeOut.

Наступним породженим класом, є TNeuronBP, службовець для програмної реалізації багатошарових нейронних мереж. Аббревіатура BP в імені класу використовується тому, що нейрон цього типу застосовується виключно в мережах учнів за алгоритмом зворотного поширення, цим підкреслюється, що в разі створення захисного шуму нейронна мережа навчається за цим алгоритмом.

Переписаний метод `ComputeOut`, який використовує тепер нелінійну активаційну функцію, яка реалізована у вигляді індексованої властивості процедурного типу `OnActivationF`. Крім того, додані дві важливі властивості, `Delta` - містить локальну помилку і індексовані властивості `PrevUpdate` - містить величину корекції вагових коефіцієнтів на попередньому кроці навчання мережі.

Основним призначенням базового класу `TLayer` і його нащадків `TLayerHopf` і `TLayerBP` є об'єднання нейронів в шар, для спрощення роботи з нейронами. Компонент `TNeuralNet` є базовим компонентом для всіх видів нейронних мереж. `TNeuralNet` забезпечує необхідну функціональність похідних компонентів. Цей компонент підтримує методи для роботи з шарами мережі (`AddLayer`, `DeleteLayer`) і методи для маніпуляцій з вихідними даними (`AddPattern`, `DeletePattern`, `ResetPatterns`). Метод `Init` служить для побудови нейронної мережі. Більшість методів оголошених в розділі `public` в базовому компоненті і його нащадків - віртуальні, що дозволяє легко перекривати їх.

Компонент `TNeuralNetBP` реалізує багат шарову нейронну мережу, Навчальні за алгоритмом зворотного поширення помилки.

Додатково включені наступні методи: `Compute` - обчислює вихід нейронної мережі, використовується після навчання мережі; `TeachOffLine` - навчає нейронну мережу. Компонент дозволяє в режимі `design-time`, у вікні `Object Inspector`, конструювати нейронну мережу, додаючи або видаляючи шари і нейрони в мережі. Для цього використовується редактор властивостей `NeuronsInLayer`, який має вигляд, зображений на рис. 4.2.

Сумісність з `Neural Network Wizard`. Наступним компонентом є `TNeuralNetExtended`, породжений від `TNeuralNetBP`, який забезпечує повну сумісність з `Neural Network Wizard`. Додатково включені наступні методи:

- для запису (`LoadPhase1`, `LoadPhase2`, `LoadPhase4`, `LoadNetwork`) і читання (`SavePhase1`, `SavePhase2`, `SavePhase4`, `SaveNetwork`) навченої нейронної мережі в форматі `*.net`;
- `LoadDataFrom` - завантажує дані з текстового файлу;

- метод `NormalizeData` нормалізації вхідних і вихідних даних;
- `Train` - для навчання нейронної мережі;
- `ComputeUnPrepData` - для обчислення виходу мережі, використовується в тому випадку, якщо вхідні значення ненормалізовані.

Компонент дозволяє в режимі `design-time`, у вікні `Object Inspector`, вибирати потрібні поля, а також задавати тип нормалізації полів. Для цих цілей використовується редактор властивостей.

Компонент `TNeuralNetExtended` один з найпотужніших в бібліотеці `NeuralBase`. Використовуючи цей компонент, практично за лічені хвилини можна отримати готовий повнофункціональний додаток.

Використання принципів і методів об'єктно-орієнтованого програмування сприяло значному скороченню часу на створення і налагодження комплексу.

Розроблено систему різних меню, використовується розрахований на багато користувачів інтерфейс, набір керуючих елементів і т.д.

Розроблений пакет прикладних програм є відкритою системою, кожен модуль якого може працювати як окремо, виконуючи певні завдання, так і в сукупності з іншими модулями. За отриманими в попередніх розділах результатами розроблені алгоритми, структури і діалогові процедури програмного комплексу.

Програмний комплекс направляє користувача при реєстрації результатів дослідження, допомагає скласти повний і професійно коректний протокол, а також висновок на його основі.

Це програмне забезпечення придатне для роботи з різного роду операційними системами, програмами та моделями мікропроцесорів.

4.5 Програмно – технічний комплекс

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

Для зручного користування програмою передбачено головне меню, яке складається: із інформації 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 головного меню програми системи діагностики технічного стану безпеки будівель (рис. 4.2).

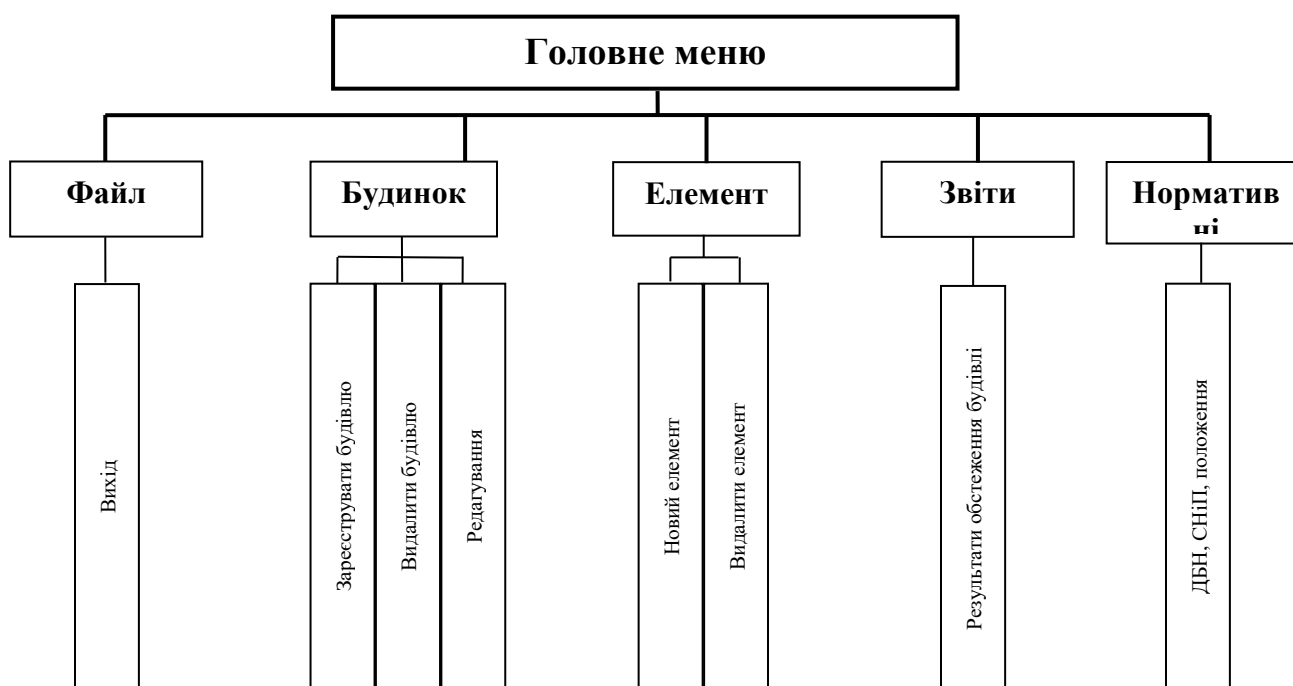


Рисунок 4.2 Структура головного меню програми системи діагностики технічного стану безпеки будівель

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 нашу систему обстеження технічного стану безпеки будівель у вигляді діаграми класів (рис. 4.3).

Основним будемо вважати клас “представлення розрахунків”, адже саме він є основною складовою системи обстеження технічного стану безпеки 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 безпеки 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. 4.4 – 4.7 представлені загальні вигляди меню програми інформаційної системи діагностики технічного стану безпеки будівель .

Під час проведення обстеження спочатку збираються загальні відомості про будівлю (рис. 4.4), наступним етапом є визначення типів елементів, надалі формуються списки пошкоджень та фізична оцінка стану елементів паралельно з нормативними документами (рис. 4.7 і рис. 4.5).

Кінцевим етапом є визначення технічного стану безпеки будівлі та формування звітів з діагностики технічного стану комплексної безпеки будівлі.

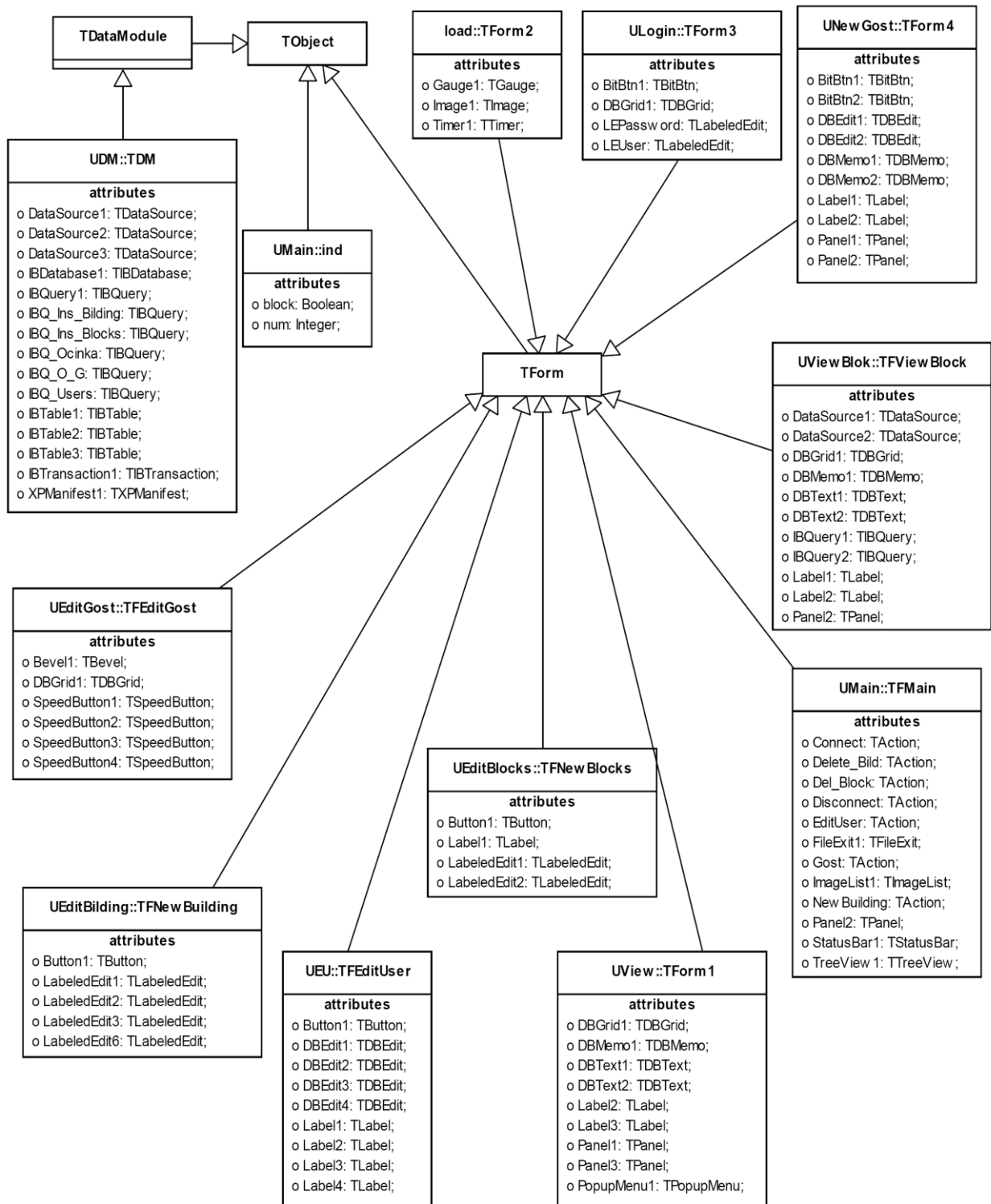


Рисунок 4.3 Діаграма класів системи діагностики
технічного стану безпеки будівель

Файл Будинок Елемент Звіт Нормативи

Будівлі

роор
мока

Інформація про будівлю мока

Адреса будинку м. Жлоб

Площа 3 Об'єм 700 Стан **Нормальний**

Рік зведення 1950 Ціна 70 Кількість поверхів 1

Оцінити вручну
Оцінити автоматично

Список елементів будівлі

Назва	Дата обстеження	Стан
Зовнішні стіни	16.04.2007	2
Фундаменти	11.02.2007	2
Внутрішні стіни і перегородки	16.04.2007	2
Перекриття	16.04.2007	2
Фундаменти	11.02.2007	2
Дах	16.04.2007	2
Покрівля	16.04.2007	2
Підлоги	16.04.2007	2/3
Вікна	16.04.2007	3

опис елемента
Цегляні; поштукатурені, побілені, пофарбовані, облицювання керамічною плиткою.

Новий елемент Видалити елемент

Список пошкоджень

Дефект	Категорія стану
Сліди замокання зовнішніх ст 2	
Відпадання записного штукатур 2	

опис пошкоджень
Сліди замокання зовнішніх стін, пошкодження побілки стін (лущення, утертість), пошкодження фарбувального шару стін (лущення, утертість).

рекомендації по їх виправленню
Ліквідувати сліди замокання зовнішніх стін, виконати необхідний ремонт побілення та фарбувального шару стін в місцях пошкодження

Рисунок 4.4 Головне меню програми інформаційної системи діагностики технічного стану безпеки будівель

Нормативи

Типи елементів				Конструктивні особливості	
Код	Назва	Конструкт. особливості	Пріоритет (0,1,2,3,4)		
5	Фундаменти	Стрічкові, з фундаментами	0		
6	Зовнішні стіни	Цегляні; бетонні. Опора	1		
7	Внутрішні стіни і перегородки	Цегляні; бетонні. Оздоба	2		
8	Сходові клітини	Металева. Із збірних за	4		
9	Перекриття	Залізобетонні плити пер	4		
11	Дах	Плоский, сумісний ПДес	4		
12	Покрівля	Рулонна руберойдна на	4		
13	Підлоги	Бетонні; лінолеумові; док	4		
14	Ганок	Бетонний; цегляний; дер	4		

Стрічкові, з фундаментних бетонних блоків; цегляні; блітові; пильові; свайні; виїщення - асфальтові, бетонне, відсутнє; цокль - штукатурка, обмазка бичком; побілка; облицювання плиткою.

Список дефектів			Особливості дефекту		Висновки та рекомендації	
Код	Пріоритет	Особливості дефекту				
858	2	Без суттєвих пошкоджень				
8771	0	Просідання фундаменту внаслідок протікання їх основ				
2800	3	Відсутність виїщення по периметру будівлі.				
6289	4	Тріщини між виїщенням і стінами.				
936	4	Відпадання штукатурного шару цоклю.				
2878	4	Тріщини штукатурного шару цоклю.				
6893	4	Пошкодження існуючого виїщення по периметру будівлі; за				

Пошкодження існуючого виїщення по периметру будівлі; заростання травом.

Провести ремонт існуючого пошкодженого виїщення навколо будівлі.

Рисунок 4.5 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 4.6 Додавання певного конструктивного елемента

Формування списку пошкоджень

Список нормативів
Відсутність вимощення по периметру будівлі.

Дефект
Відсутність вимощення по периметру будівлі.

Рекомендації
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 4.7 Відомості формування списку пошкоджень згідно нормативних документів та його фізична оцінка

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Гайна Г.А. Використання інформаційних технологій для діагностики технічного стану будівель /Терентьєв О.О., Ластівка Р.В., Полторак О.Б.// – К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 49/2008, НДІБВ, 2008. – С. 71–75.
3. Гайна Г.А. Інформаційна технологія управління життєвим циклом /Яцик П.М., Терентьєв О.О., Ластівка Р.В., Полторак О.Б.// – К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 1-2 (17-18)/2009, НДІБВ, 2009. – С. 132–134.
4. Григоровський П.Є. Інформаційна технологія роботи експертної системи діагностики технічного стану будівель /Терентьєв О.О.// - К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 29/2015, НДІБВ, 2015. – С. 3–9.
5. Інтелектуальна інформаційна технологія діагностики технічного стану будівель [Текст] : монографія /В.М. Михайленко, О.О. Терентьєв, М.І. Цюцюра // – К: ЦП «Компринт», 2015. – С. 162.
6. Михайленко В.М. Організація та технологія проведення обстеження технічного стану будівель на основі інформаційних технологій /Яцик П.М., Терентьєв О.О., Полторак О.Б.// - К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 50/2009, НДІБВ, 2009. - С. 23-29.
7. Михайленко В.М. Теоретико – множинна модель будівлі при обстеженні технічного стану /Яцик П.М., Терентьєв О.О., Полторак О.Б.// - К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 50/2009, НДІБВ, 2009. - С. 16-23.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

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

16. Терентьєв 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.

17. Терентьєв О.О. Експертна інформаційна система підтримки прийняття рішень для задачі діагностики технічного стану будівель /Шабала Є.Є, Гайдаржи І.О.// – К.: Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць, випуск 24/2015, КНУБА, 2015. – С. 131–136.

18. Терентьєв 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.

19. Терентьєв 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.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. Svitlana Tsiutsiura The Method of Assessing Risk Management at Various Stages of the Life Cycle for the Problem of Diagnostics of Technical Condition of Buildings /Olexander Terentyev// – International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 9, September 2015. – P. 588-590.