

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**О.О. ТЕРЕНТЬЄВ, І.В. РУСАН, Є.В. БОРОДАВКА,
Є.В. ГОРБАТЮК, К.І. КИЇВСЬКА**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ
ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

*Навчальний посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів,
які навчаються за спеціальністю 122. «Комп'ютерні науки»,
126. «Інформаційні системи і технології»*

Київ – 2019

УДК 69:002;72.025;721
ББК 30.2-5-05

Рецензенти:

С.Д. Бушуєв, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри управління проектами (Київського національного університету будівництва і архітектури);
А.О. Білощизький, д-р техн. наук, проф., факультет інформаційних технологій (Київського національного університету імені Тараса Шевченка);
А.Т. Свідерський, к-т техн. наук, проф., професор кафедри машин та обладнання технологічних процесів (Київського національного університету будівництва і архітектури)

Рекомендовано Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури як навчальний посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 122. «Комп'ютерні науки», 126. «Інформаційні системи і технології»,

Затверджено на засіданні Вченої ради Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № від грудня 2018 р.

Терентьєв О.О.

М 79 Інтелектуальні інформаційні системи і технології діагностики технічного стану будівель: навчальний посібник / О.О. Терентьєв, І.В. Русан, Є.В. Бородавка, Є.В. Горбатюк, К.І. Київська. – К.: 2019. – 121 с.:іл.

В навчальному посібнику запропоновано теоретико-множинний формалізований опис на основі використання моделей основних конструктивних елементів будівлі; моделі експертного оцінювання діагностики технічного стану будівель, що дають можливість вести процес спостереження та своєчасно приймати необхідні рішення щодо безпечної експлуатації будівель; запропоновано моделі та методи діагностики технічного стану будівель на основі апарату нечіткої логіки, що дало змогу створити та експериментально дослідити роботу експертної системи при проведенні обстеження технічного стану основних конструктивних елементів та будівлі в цілому, удосконалено математичну модель визначення стану будівлі на основі дослідження окремих конструкцій, що дозволило оцінювати технічний стан будівель, дістала подальшого розвитку концепція інформаційної системи управління технічного обслуговування і діагностики технічного стану будівель, що дозволило розробити структуру інформаційної технології для вирішення задач діагностики.

УДК 69:002;72.025;721
ББК 30.2-5-05

© Терентьєв О.О., І.В. Русан, Є.В. Бородавка, Є.В. Горбатюк, К.І. Київська
© КНУБА, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ	3
1.1 Інформаційна технологія управління життєвим циклом будівель	3
1.2 Способи подання інформації та моделей будівельного об'єкта в різних САХ-системах	7
1.3 Аналіз сучасних інформаційних технологій автоматизованої діагностики технічного стану будівель	14
1.4 Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень діагностики технічного стану будівель	22
1.5 Математичні моделі системи підтримки прийняття рішень діагностики технічного стану конструкцій будівель	23
1.6 Розрахунковий приклад інтелектуальної системи прийняття рішень діагностики технічного стану конструкцій будівель	27
1.7 Організація та технологія проведення обстеження технічного стану будівель	31
Висновки по розділу 1	39
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛІ І МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ	40
2.1 Теоретико – множинна модель будівлі	40
2.2 Моделі та методи формування експертної оцінки при обстеженні технічного стану будівель..	50
2.2.1 Приклад експертної оцінки обстеження технічного стану складської будівлі	53
2.3 Моделі структури властивостей будівлі при проведенні обстеження для вирішення задач діагностики	56
Висновки по розділу 2	64
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ	65
3.1 Основи організації нечіткого виведення	65
3.2 Етапи роботи експертної системи	72
3.3 Модель бази знань експертної системи	85
3.4 Дослідження ланцюгів логічного виведення роботи експертної системи	89
Висновки по розділу 3	98
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ОБСТЕЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ	99
4.1 Обробка експериментальних даних (результатів)	99
Висновки по розділу 4	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	112

ВСТУП

Серед будівель, які експлуатуються в Україні, достатньо велика частка має пошкоджені конструкції. При обстеженні технічного стану, відновленню та реконструкції таких будівель виникає задача діагностування пошкоджень, тобто визначення причин їх появи. Тому важливим є питання оцінювання технічного стану будівель в цілому, що дає можливість передбачити та не допустити обвалення конструкцій, їх аварії та переходу до стану непридатного до нормальної експлуатації або до стану аварійності.

Обстеження технічного стану будівель призначена для якісного і кількісного представлення показників, що характеризують властивості і стан об'єктів, вивчення процесів, що протікають в конструкціях, основах та обладнанні, а також виявлення фактичних експлуатаційних властивостей матеріалів, конструкцій та встановлення їх відповідності технічним вимогам.

Будівлі є системами, що складаються з великого числа елементів та працюють в умовах складних станів, що деформуються. Поведінка будівельних конструкцій і інженерного обладнання характеризується рядом чинників, що носять випадковий характер. Це відноситься до міцнісних характеристик матеріалів, навантаженням, діючим на елементи будівлі, діям чинників навколишнього середовища. Тому для обстеження технічного стану будівлі або інженерних систем необхідно прогнозувати можливість їх подальшої експлуатації з урахуванням взаємозв'язків і випадкового характеру формування властивостей.

Значні обсяги обстежень пов'язані з реконструкцією житлових та громадських будівель, розконсервацією і забудовою об'єктів незакінчених будівництвом. Необхідність проведення обстежень виникає при виявленні та усуненні дефектів, що з'являються внаслідок похибок проектування, виготовлення та порушень правил експлуатації будівель. Підвищенню ефективності процесу обстеження, зниженню ступеню 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 із методик обстежень, нормативів і стандартів, підвищить фаховий рівень прийняття таких рішень. Однак, залишається невирішеним ряд задач: відсутність єдиної державної інформаційної системи діагностики технічного стану будівель; відсутність підходів до створення інформаційної системи діагностики технічного стану; відсутність єдиної досконалої інформаційної нормативної бази даних на Україні з цього питання, що дала б можливість порівнювати результати обстежень, спостерігати динаміку старіння, робити обґрунтовані висновки.

Викладене обґрунтовує актуальність, економічну і соціальну вагомість наукових засад, що відкривають шлях до створення інтелектуальної інформаційної технології діагностики технічного стану будівель.

РОЗДІЛ 1

КЛАСИФІКАЦІЯ І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ

1.1 Інформаційна технологія управління життєвим циклом будівель

Концепція управління життєвого циклу базується на уявленні про об'єкт будівництва (будівлі) як єдиному інформаційному об'єкті, навкруги якого відбуваються різні процеси – проектування, будівництво, експлуатація, ремонт та діагностика технічного стану, кожний з яких використовує і додає ту або іншу інформацію про об'єкт.

Життєвий цикл об'єктів будівництва – перелік етапів, через які проходить об'єкт будівництва (будівля) за весь період свого існування. Включає етапи проектування, будівництва, експлуатації, реконструкції, ремонту та діагностики технічного стану будівель.

Одним із підходів управління життєвим циклом об'єктів будівництва, з використанням сучасних інформаційних технологій є CALS технології.

Реалізація CALS технологій припускає організацію єдиного інформаційного простору (інтегрованого інформаційного середовища), об'єднуючого автоматизовані системи, призначені як для ефективного вирішення задач інженерної діяльності, так і для планування і управління задачами в області діагностики технічного стану.

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

Цілісність даних підтримується в процесі управління конфігурацією проекту, а також тим, що не можна одночасно змінювати один і той же об'єкт різних розробників, кожний з них повинен працювати зі своєю робочою версією. Іншими словами, необхідне забезпечення синхронізації зміни даних, що розділяються багатьма користувачами.

Для цього виконується авторизація користувачів і розробляються засоби ведення багатьох версій проекту. По-перше, користувачі підрозділяються на класи і для кожного класу вводять певні обмеження, пов'язані з доступом до даних, що розділяються; по-друге, доступ регламентується по типах даних, що розділяються.

Управління даними в єдиному інформаційному просторі протягом всіх етапів життєвого циклу покладається на систему PLM (Product Lifecycle Management). Під PLM розуміють процес управління інформацією про об'єкт протягом всього його життєвого циклу. Система PLM трактується двояко: або

як інтегрована сукупність автоматизованих систем CAE/CAD/CAM/PDM та ERP/CRM або як сукупність тільки засобів інформаційної підтримки об'єкту і інтеграції автоматизованих систем, що практично співпадає з визначенням поняття CALS.

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

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

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

- інформаційна підтримка всіх етапів життєвого циклу;
- єдність уявлення і інтерпретації даних в процесах інформаційного обміну між АС і їх підсистемами, що обумовлює розробку онтологій додатків і відповідних мов представлення даних;
- доступність інформації для всіх учасників життєвого циклу у будь-який час і в будь-якому місці, що обумовлює застосування сучасних телекомунікаційних технологій;
- підтримка процедур суміщеного (паралельного) проектування об'єктів.

На рис. 1.1 представлені етапи життєвого циклу об'єктів будівництва (будівлі).

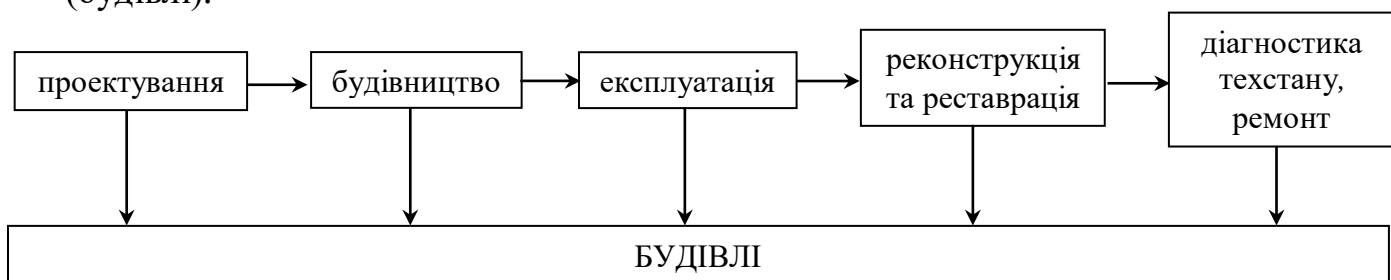


Рис. 1.1. Етапи життєвого циклу об'єктів будівництва (будівлі)

Єдина інформаційна система управління життєвим циклом складається з декількох систем, що вирішує круг задач відповідно до того або іншого етапу життєвого циклу, як специфічних для даного етапу, так і загальних, пов'язаних з управлінням та роботами на цьому етапі. На рис. 1.2 представлена архітектура єдиної інформаційної системи управління життєвим циклом будівель.

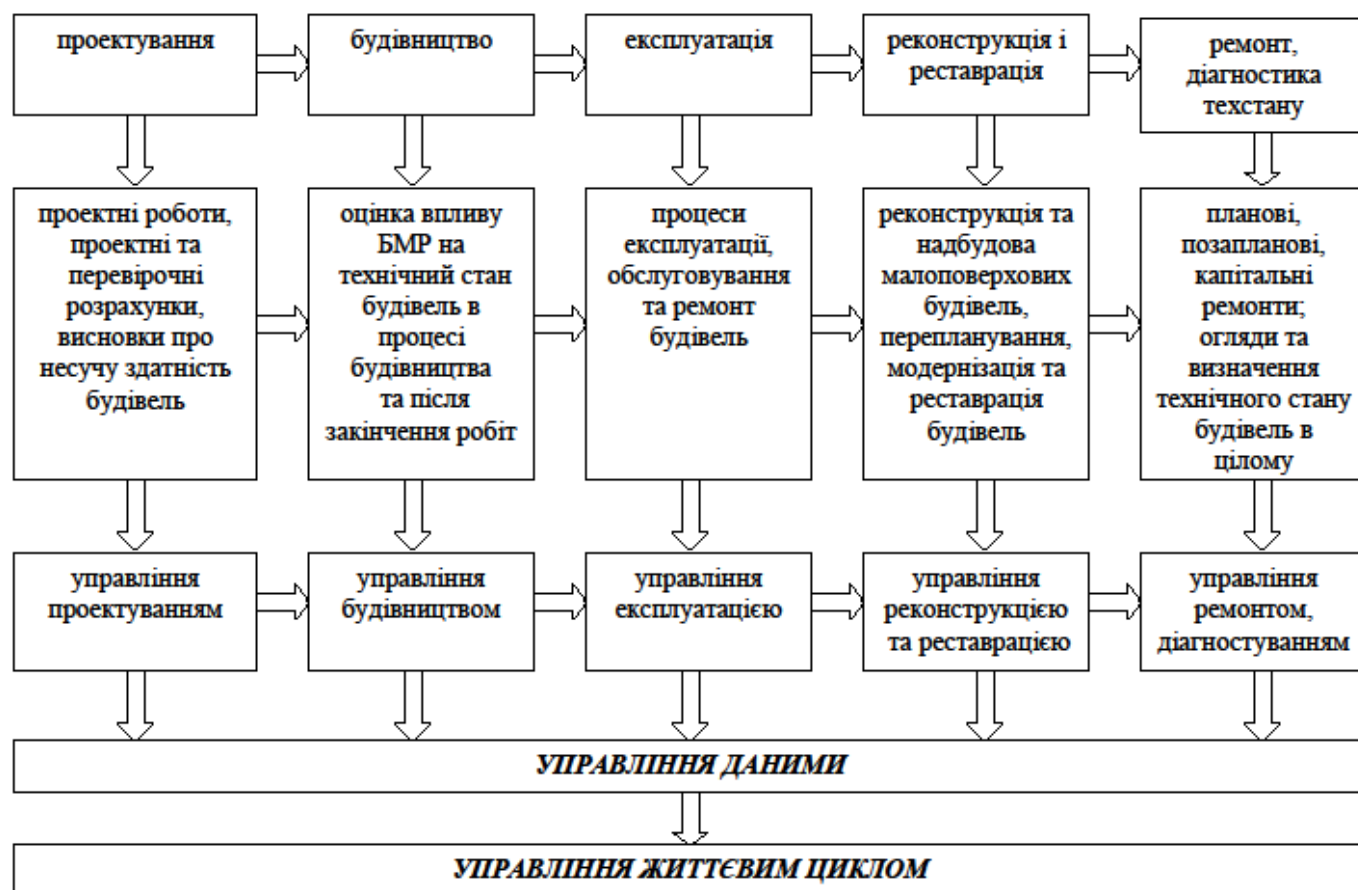


Рис. 1.2. Архітектура інформаційної системи управління життєвим циклом будівель

Концепція життєвого циклу об'єктів будівництва (будівлі) є комплексною, і її впровадження може зайняти досить тривалий час. Де експлуатація, там і обслуговування, ремонти та діагностика техстану. Тому розглянемо впровадження систем управління експлуатацією, обслуговуванням, ремонтами та діагностикою технічного стану будівель та споруд (ISU TOiDTC).

Розглянемо концепцію сучасних підходів опису систем управління TOiDTC, яке повністю витримане у концепції життєвого циклу.

Опис ISU TOiDTC.

ISU TOiDTC призначена для вирішення наступних задач:

Управління якістю TOiDTC:

- моніторинг стану об'єктів в експлуатації;
- планування, облік, контроль, аналіз та регулювання регламентних (планово-запобіжних) ремонтних робіт і/або ремонтів за станом об'єктів;
- управління конфігурацією об'єктів – комплектація, дислокація, умови експлуатації.

В концепцію ІСУ ТОіДТС закладені наступні базові принципи:

1. Об'єктом управління в системі є ремонтно-експлуатаційний паспорт (РЕП) обладнання. РЕП об'єднує інформацію про:

- технічний стан об'єкту (журнал записів по техстану) – дані моніторингу, проведених оглядів, вимірів, діагностик, випробувань, виявлені несправності і т.д.;
- операціях, проведених над об'єктом (експлуатаційних, ремонтних і т.д.) – дані по видах робіт, ресурсах і часі, що затрачують, показники умов і якості виконання.

2. Джерелом даних для управління ТОіДТС об'єкту є дані моніторингу технічного стану в експлуатації (самодіагностика, експертні оцінки і т.д.) та дані по раніше проведених роботах ТОіДТС зафіксованих в РЕП. На підставі цих даних проводиться аналіз поточного стану об'єкту та приймається рішення про необхідність проведення робіт ТОіДТС відповідно до тієї або іншої технології.

3. Управління роботами ТОіДТС відбувається за рахунок управління проходженням РЕП по ланцюжку технологічних операцій через точки збору інформації та контролю дотримання технологій робіт, що проводяться.

4. Для забезпечення достовірності і актуальності даних, що збираються, як при моніторингу стану в експлуатації, так і при проведенні робіт ТОіДТС використовується автоматизація введення даних за рахунок інтеграції з бортовим та наземним діагностичним і контрольним обладнанням, обладнанням АСУ ТП, контроллерами, засобами автоматичної ідентифікації.

Основою для реалізації цих принципів є дані про об'єкт будівництва – конструкторський – технологічні дані, ремонтні та експлуатаційні дані, характеристики, вимоги по експлуатації. Ці дані повинні формуватися на етапах проектування і будівництва та бути доступними на етапі ТОіДТС природним чином, без яких-небудь повторних введень. Неминучі процедури внесення змін в специфікації повинні охоплювати всі етапи а також ТОіДТС.

На рис. 1.3 розглянемо концепцію ІСУ ТОіДТС для будівель і споруд.

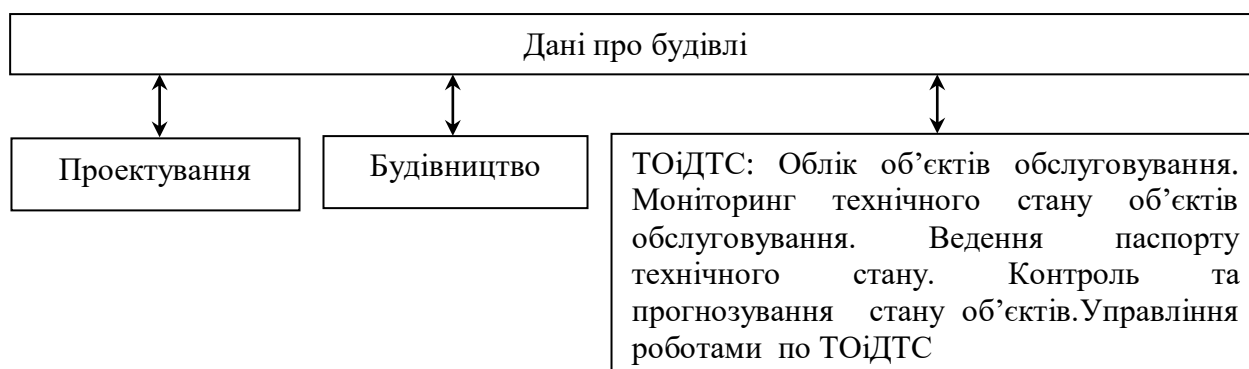


Рис. 1.3. Концепція ІСУ ТОіДТС для будівель і споруд

1.2 Способи подання інформації та моделей будівельного об'єкта в різних САХ-системах

Більшість сучасних САХ-систем прагнуть об'єднати в собі якомога більше функцій, щоб досягти максимально можливої уніфікації. Звичайно це позитивна тенденція, але окрім позитивних рис така тенденція має й іншу сторону. Уніфікація веде до збільшення функціональності і максимального ступеня інтеграції САХ-систем різного призначення, але в той же час це призводить до підвищення складності таких систем і необхідності використання спеціалістів більш високого класу для роботи з ними. Тому багато сучасних САХ-систем вузькоспеціалізовані і спрямовані на вирішення конкретних задач. З огляду на те, які саме задачі покликані вирішувати та чи інша САХ-система, вона оперує тією моделлю подання інформації, яка необхідна для вирішення цих задач. В даній роботі звуємо коло задач проектування і обмежимося засобами, що автоматизують процес проектування будівель. Потрібно проаналізувати, які саме способи подання моделі будівельного об'єкта використовуються в різних САХ-системах, що в них спільного і які між ними існують відмінності.

Спосіб подання моделі будівельного об'єкта напряму залежить від напрямку автоматизації проектних робіт. В залежності від того, які дані про будівлю необхідні для автоматизації конкретного етапу її проектування, створюється модель подання інформації про об'єкт будівництва. Для початку визначимо, які типи моделей будівельного об'єкта існують, а потім – які з них і в яких комбінаціях використовуються в САХ-системах різних напрямів.

Оскільки процес проектування будівлі, це процес, в результаті якого проектувальники прагнуть отримати об'єкт, що буде існувати в реальному світі, то цілком зрозуміле бажання візуально побачити його майбутній вигляд. Раніше для цього використовувалися малюнки об'єкта, що проектується, створені архітекторами, а також макети, що відображали майбутню будівлю в зменшеному вигляді. З появою комп'ютерів та розвитком комп'ютерної графіки необхідність в такому моделюванні відпала. Максимально наближений до реального вигляд будівельного об'єкта можна змоделювати на комп'ютері. Отже перший спосіб подання моделі будівельного об'єкта це віртуальна тривимірна модель або, так звана 3D-модель (M_{3D}). Така модель максимально інформативна, адже дозволяє отримати інформацію як про всю будівлю в цілому, так і про окремі елементи. Причому деталізація інформації про елементи залежить від поставлених задач проектування. Тривимірна модель для будівельних об'єктів може бути розділена на два підтипи: архітектурна (M_{3Da}) та розрахункова (M_{3Dc}). Обидві моделі є дещо спрощеними відносно повної тривимірної моделі. В архітектурній моделі можуть бути відсутні деякі дрібні конструкції, що не впливають на загальний вигляд будівлі та запропоновані архітектурно-планувальні рішення. Розрахункова модель містить лише несучі конструкції, а всі інші елементи

замінюються навантаженнями на них. Або взагалі, в ній всі конструктивні елементи замінюються їх поданням у вигляді скінченних елементів.

На основі повної тривимірної моделі завжди можна отримати модель об'єкта будівництва у вигляді двовимірних креслень планів, розрізів та елементів (M_{2D}). Хоча таке подання навряд чи можна назвати повноцінною моделлю, адже за відсутності моделі M_{3D} , на основі лише моделі M_{2D} не можливо здійснити автоматизацію більшості напрямів проектування будівлі. Проте багато сучасних АЕС САД використовують саме таку модель і лише її, оскільки це набагато простіше для розробника і дешевше для користувача. Звичайно, для будівельників, які виконують роботи по зведенню будівлі, двовимірні креслення є основними документами для проведення робіт і вони необхідні. Проте, як вже зазначалося, маючи тривимірну модель завжди можна отримати необхідний набір креслень. В загальному випадку зв'язок між цими моделями можна описати формулою перетворення:

$$M_{3D} \Rightarrow M_{2D} \quad (1.1)$$

Перші два способи подання моделі будівельного об'єкта використовували в своїй основі геометричну інформацію. Проте для деяких АЕС САД, що використовуються при проектування будівель, така інформація не обов'язкова і вона переважно не використовується на даному етапі розвитку засобів автоматизації проектних робіт. Наприклад, для розрахунку інженерних мереж цілком достатньою може бути топологічна модель мережі у вигляді графу (M_T). Це модель, що містить інформацію про взаємозв'язки між об'єктами безвідносно до їх реального розташування в просторі. Звичайно така модель потрібна лише для розрахунку, а для фактичного прокладання мереж необхідно мати хоча б модель M_{2D} , а в ідеалі, звичайно, модель M_{3D} . Проте, якщо засіб АЕС САД орієнтований на розрахунок мереж, а не на їх реальну топологію і прокладання, то такої моделі цілком достатньо. Хоча топологічну модель мережі можна отримати перетворенням її реальної тривимірної моделі:

$$M_{3D} \Rightarrow M_T \quad (1.2)$$

З точки зору кошторисів, будівельний об'єкт це об'єми робіт, які необхідно виконати, матеріали з яких побудована будівля та кошти, які на це необхідні. Все це в сукупності можна назвати нормативно-кошторисна об'ємна модель будівельного об'єкта (M_Q). Фактично таку модель можна назвати специфікацією елементів з їх прямими та супутніми об'ємними показниками, яка розширена кошторисними нормативами, що несуть цінову інформацію. Звичайно ці об'ємні показники могли бути отримані з моделі M_{3D} , що суттєво зменшило б витрати часу і трудових ресурсів для їх введення. Цю залежність можна описати за допомогою формули породження:

$$M_{3D} \Rightarrow M_Q \quad (1.3)$$

Як бачимо, розглянуті вище моделі, різними способами описують будівельний об'єкт виходячи із специфічних потреб та функціональності САх-систем, що їх використовують. Проте моделі M_{2D} , M_T і M_Q знаходяться в залежності від тривимірної моделі (M_{3D}) (1.1-1.3). Тобто маючи тривимірну модель будівельного об'єкта та його складових, можна отримати будь-яке інше подання у вигляді тієї моделі, що необхідна для вирішення конкретної задачі автоматизації проектування та частково управління. Це ще раз підтверджує правильність висновку про необхідність наявності тривимірного графічного ядра, що був зроблений в попередньому параграфі в результаті аналізу і класифікації сучасних АЕС САД та супутніх САх-систем.

Окрім розглянутих вище статичних моделей будівельного об'єкта та його складових, в сучасних умовах все більшого розвитку набувають динамічні моделі. Це моделі, де окрім кількісних і якісних характеристик об'єкта будівництва використовується також час. Звичайно це не новий підхід, адже часові показники використовуються в програмних засобах кошторисних розрахунків і, звичайно, в системах управління будівництвом, де вони є одними з основних показників. Але раніше часові характеристики використовувалися для розширення моделі M_Q , надаючи таким чином інформацію про ступінь завершеності будівництва об'єкта з одного боку, та ступінь завершеності фінансування – з іншого. Фактично це не самостійна модель (M_{Qt}), а лише розширення існуючої, тому що часові характеристики повинні бути прив'язані до кількісних характеристик будівельного об'єкта. В сучасних САх-системах часові характеристики використовуються для розширення тривимірної моделі, і такі моделі називають 4D-моделі (M_{4D}). В таких моделях, кожному атомарному елементу окрім геометричних характеристик присвоюється часова характеристика, за якої в кожен момент часу можна отримати інформацію про ступінь завершеності даного елемента. Часова характеристика в такому випадку впливає відповідним чином на підрахунок об'ємних характеристик елемента та його візуалізацію, якщо така можливість реалізована.

Новою тенденцією в проектуванні будівельних об'єктів є об'єднання розширеної геометричної тривимірної моделі (M_{4D}) та розширеної нормативно-кошторисної об'ємної моделі (M_{Qt}) в одну єдину модель – M_{5D} . Така модель об'єднує в собі геометричні, кошторисно-фінансові та часові характеристики кожного елемента будівлі, що забезпечує максимальну інтеграцію різних напрямків проектування.

Всі розглянуті типи моделей будівельного об'єкта, їх розширення та взаємозв'язки подані на схемі (рис. 1.4).

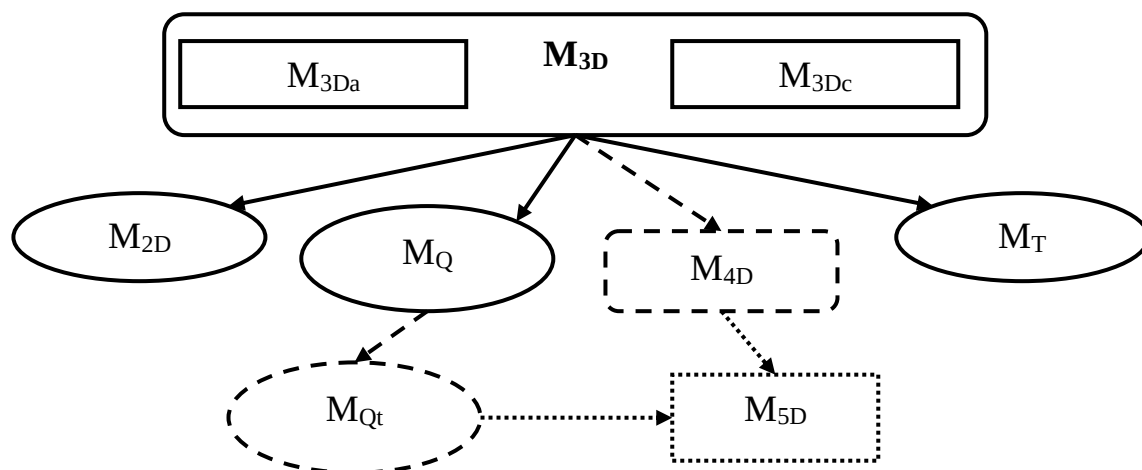


Рис. 1.4. Типи моделей будівельного об'єкта та їх взаємозв'язки

Далі проведемо класифікацію інформації, якою оперують розглянуті типи моделей. Для виокремлення типів інформації скористаємось методом декомпозиції. Тобто кожен із розглянутих типів моделей спробуємо розкласти на типи інформації, якими вони оперують.

Тривимірна модель (M_{3D}) перш за все містить геометричну інформацію (I_G) про елементи будівельного об'єкта. Це інформація про розміщення елементів у просторі, їх форму та розмірні характеристики:

$$I_G = \left\{ \sum_k \left[O_k(X, Y, Z, W), S_k \left(\sum_n G_{k,n} \left[\sum_i (x_i, y_i, z_i, w_i) \right] \right) \right] \right\}, \quad (1.4)$$

де O_k – точка прив'язки кожного k -го елемента в глобальних однорідних ($W \neq 1$) або звичайних координатах ($W=1$); S_k – геометрична форма кожного k -го елемента тривимірної моделі; $G_{k,n}$ – множина графічних примітивів з яких складається графічна форма кожного k -го елемента тривимірної моделі.

Наступний тип інформації, який обов'язково повинен бути присутнім в тривимірній моделі це топологічна інформація (I_T). Ця інформація описує різноманітні взаємозв'язки між елементами – які елементи геометрично зв'язані між собою, які є дочірніми для інших чи вирізають в них отвори і т.п.:

$$I_T = \left\{ \bigcup_i \bigcup_j [e_i(\cup | \propto | \cap) e_j]; e_i, e_j \in E, i \neq j \right\}, \quad (1.5)$$

де E – множина всіх елементів тривимірної моделі будівельного об'єкта.

В цілому, описаних вище типів інформації достатньо для побудови базової тривимірної моделі будівельного об'єкта. Проте, АЕС САД найчастіше використовують або архітектурне або розрахункове розширення тривимірної моделі. Тому для повноти моделі необхідно використати ще один тип інформації – атрибутивну (I_A). Атрибутами може бути будь яка

інформація: числова, текстова, графічна. Для будівельного об'єкта і його елементів важливими атрибутами є тип елемента, його матеріал та інші додаткові специфічні атрибути (наприклад розрахункові формули) в залежності від задач, що стоять перед конкретним засобом АЕС CAD:

$$I_A = \left\{ \sum_i \left[T_i, M_i, \sum_j P_{i,j} \right] \right\}, \quad (1.6)$$

де T_i – тип кожного i -го елемента тривимірної моделі будівельного об'єкта; M_i – матеріал кожного i -го елемента тривимірної моделі об'єкта будівництва (не обов'язковий елемент); $P_{i,j}$ – j -й специфічний параметр i -го елемента тривимірної моделі будівельного об'єкта.

Для двовимірної моделі (M_{2D}) характерні ті ж самі типи інформації, що і для тривимірної. Тобто головним тут є геометричний тип інформації (I_G), але в спрощеному вигляді. Формула 1.4 справедлива і для двоимірної моделі, при відсутності четвертої однорідної координати ($W=1$) і при наступних умовах:

$$(Z = 0; X, Y \in R) \vee (X = 0; Z, Y \in R) \vee (Y = 0; Z, X \in R). \quad (1.7)$$

Як і в тривимірній моделі, в двовимірній теж присутня топологічна інформація (I_T), що описує взаємозв'язки між елементами моделі (1.5). Також в моделі M_{2D} , як і в моделі M_{3D} , є бажаним присутність атрибутивної інформації (I_A), що наповнює модель змістом.

Окрім перерахованих вище типів інформації, ніяких інших не потрібно. Тому фактично, можна стверджувати, що модель M_{2D} оперує тими типами інформації, що і модель M_{3D} але в дещо спрощеному вигляді стосовно геометричної інформації.

Тепер розглянемо топологічну модель M_T , що використовує топологічну інформацію (I_T), оскільки для цієї моделі найважливішим є взаємозв'язки між елементами моделі. Звичайно елементи моделі повинні мати певні характеристики, тому цілком очевидним є необхідність використання в цій моделі атрибутивної інформації (I_A).

Фактично наведених типів інформації цілком достатньо для функціонування топологічної моделі. Проте для більшої виразності і зручності використання, топологічну модель часто використовують в поєднанні з двовимірною моделлю (M_{2D}), яка додає ще й геометричну інформацію (I_G), хоча формально в модель (M_T), геометрична інформація не входить.

Модель M_Q фактично складається з одного типу інформації – атрибутивної (I_A). Але класичного поняття атрибуту, що описується парою «ім'я – значення», недостатньо для повноцінного опису цієї моделі. Для опису моделі M_Q необхідна інформаційна структура, яка б дозволяла описувати матрицю параметрів. Такий тип інформації пропонується назвати параметрична (I_P). Тому фактично модель M_Q складається з одного типу

інформації – параметричної, що дозволяє будь-який елемент чи групу елементів будівельного об'єкта описувати матрицею атрибутів, що може розширюватися як у «висоту», так і в «ширину». Тут можна зробити зауваження, що атрибутивний тип інформації (I_A) є підмножиною інформації параметричного типу (I_P):

$$I_A \subseteq I_P. \quad (1.8)$$

Розширені моделі M_{4D} та M_{Qt} наслідують інформаційний склад своїх базовий моделей – M_{3D} та M_Q відповідно. Часові характеристики, що в них використовуються, легко можуть бути віднесені до атрибутивного типу інформації (I_A). Тому ніяких додаткових типів інформації вони не породжують і не використовують.

Таким чином ми визначили інформаційний склад всіх моделей будівельного об'єкта, застосувавши до них декомпозицію. Тепер для побудови класифікації типів інформації використаємо метод агрегації, тобто об'єднаємо типи інформації всіх моделей, будівельного об'єкта (I_B):

$$I_B = (I_G, I_T, I_A) \cup (I_G, I_T, I_A) \cup (I_T, I_A) \cup (I_P) = (I_G, I_T, I_A, I_P). \quad (1.9)$$

В результаті ми отримали чотири типи інформації, яка використовується в усіх поданнях моделі будівельного об'єкта (рис. 1.5).

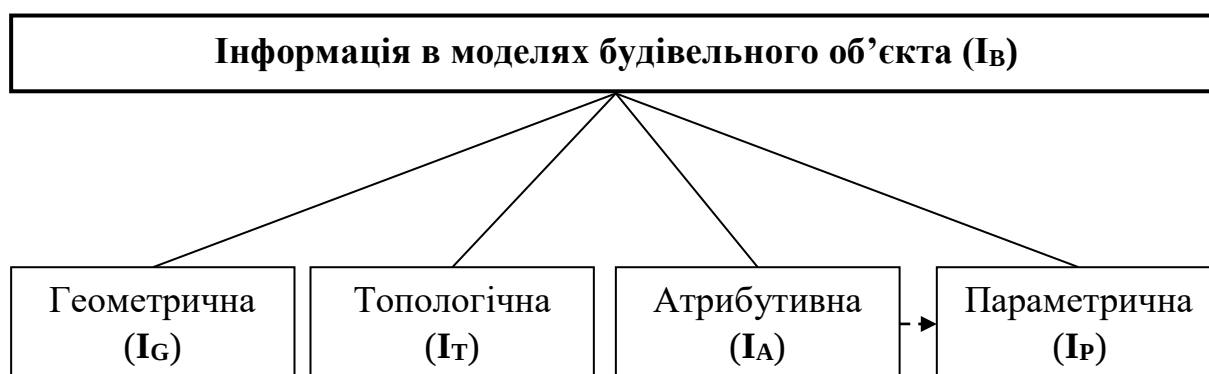


Рис. 1.5. Класифікація інформації, що використовується в поданнях моделі будівельного об'єкта

Таким чином, в результаті аналізу та дослідження моделей будівельного об'єкта, виявлено та класифіковано типи інформації, що використовуються в цих моделях.

Модель будівельного об'єкта в інформаційній технології автоматизації життєвого циклу будівельного об'єкта (ІТАЖЦБО) (M_B) – це буде об'єднання всіх моделей, що розглянуті вище або їх розширень, що є більш універсальним:

$$M_B = M_{2D} \cup M_{4D} \cup M_T \cup M_{Qt}. \quad (1.10)$$

Інформація, що циркулює в ІТАЖЦБО, поділяється на чотири типи, що були визначені вище. Але тут необхідно розглянути ще один аспект. Ми розглянули інформацію, як складову частину кожної моделі. Проте будь-який

тип інформації можна розділити на два види: інформація, яка знаходиться власне в конкретній моделі (**I_B**) та інваріантна (загальна) інформація (**I_I**), що може бути використана для будь-якої моделі будівельного об'єкта. Наприклад, в окремо взятому будівельному об'єкті використовуються елементи типу А і типу В, а елементи типу С і D не використовуються. Проте вони повинні бути десь описані необхідними типами інформації. Для ІТАЖЦБО склад інваріантної інформації (**I_I**) такий же, як і модельної інформації (**I_B**).

Виходячи з написаного вище, ми отримали розширення класифікації інформації, що була запропонована на початку. Тепер вся інформація розділяється на два види: модельна (**I_B**) та інваріантна (**I_I**). В свою чергу, кожен з цих видів, розділяється на чотири типи, що визначені раніше. Проте, слід зауважити, що розроблювана методологія створення ІТАЖЦБО повинна бути розширюваною. Оскільки розширюваність є важливою складовою будь-якої сучасної системи чи технології, необхідно розглянути методи її забезпечення в розрізі інформації. Щоб забезпечити розширюваність ІТАЖЦБО без втручання розробників, необхідно забезпечити можливість породження нових інформаційних об'єктів. Тобто необхідно мати такий тип інформації, що дозволяє породжувати інформаційні об'єкти одного з чотирьох типів, що описані вище. Це робиться за допомогою широко відомого методу, а саме використання метаінформації (**I_M**). Цей тип інформації віднесемо до виду інваріантної інформації, оскільки він теж є загальним для моделей всіх можливих об'єктів будівництва.

В сучасних САХ-системах реалізація розширювання заснована на різних методах. Досить поширеним є метод застосування плагінів (Plug-In) – невеликих застосунків, що розширюють функціональність основної програми. Ще один метод – використання скриптів, що написані на одній із скриптових мов програмування (JScript, VBScript). В AutoCAD використовується метод написання надбудов над основною функціональністю, що реалізуються на внутрішніх мовах системи – AutoLISP та Visual Basic. В ArchiCAD використовується метод написання аддонів (Add-On) – спеціалізованих DLL на мові C++, що вмонтовуються в середовище виконання основного застосунку. Але хоча вказані методи і використовуються для розширювання функціональності основних застосунків без допомоги розробників, все ж вони вимагають навичок програмування і виконуються професійними програмістами. Тому їх не можна назвати методами розширення без втручання в програмний код. Це засоби реалізації механізму відкритості, що є невід'ємною частиною сучасних САХ-систем. Реальна розширюваність – це надання користувачу інструментарію, для породження нових інформаційних об'єктів, що задовольняють його специфічні потреби в проектуванні в цілому, і будівельних об'єктів зокрема без потреби втручання в програмний код існуючого застосунку чи написання

своїх додаткових застосунків або бібліотек. Інформаційною основою такого інструментарію, як вже зазначалося є метайнформація (метадані).

З урахуванням необхідності інваріантності та розширюваності, модифікуємо схему класифікації інформації, що використовується в моделях будівельного об'єкта (див рис. 1.5). Кінцева схема класифікації інформації буде виглядати наступним чином (рис. 1.6).

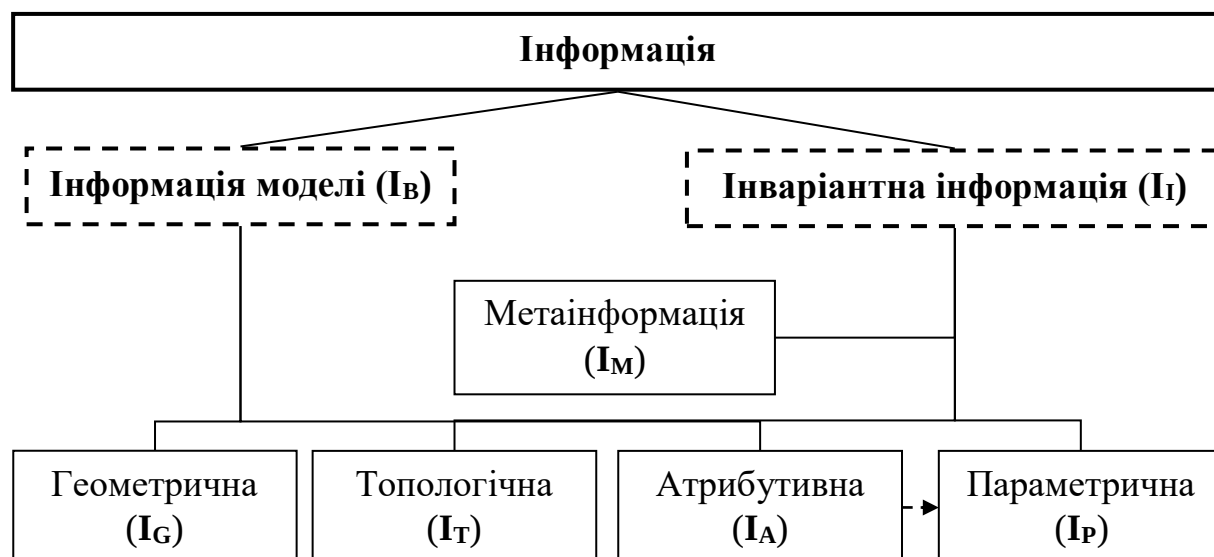


Рис. 1.6. Ієрархічна класифікація інформації, що використовується в поданнях моделі будівельного об'єкта

1.3 Аналіз сучасних інформаційних технологій автоматизованої діагностики технічного стану будівель

Інформаційні технології є однією з найважливіших системних складових питань пов'язаних з обстеженням, діагностикою технічного стану будівель. Це досягається за рахунок застосування розвинутих інтерактивних засобів взаємодії, підтримки користувачів різного рівня підготовки, формування багатовіконних макетів екранів, структур меню, діалогових послідовностей. Інформація може отримуватись від різних джерел і досліджуватися на різних рівнях деталізації. Збільшення потужності системи може бути забезпечено за рахунок застосування відкритої архітектури і можливості масштабування системи з підключенням як власних так і зовнішніх застосувань, організації модульності прикладних програм, гнучкої підтримки необхідної конфігурації, підтримки відкритих стандартів.

На рис. 1.7 представлена схема сучасних інформаційних технологій автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель.

На рис. 1.8 представлена схема роботи інформаційної системи управління для діагностики технічного стану будівель.

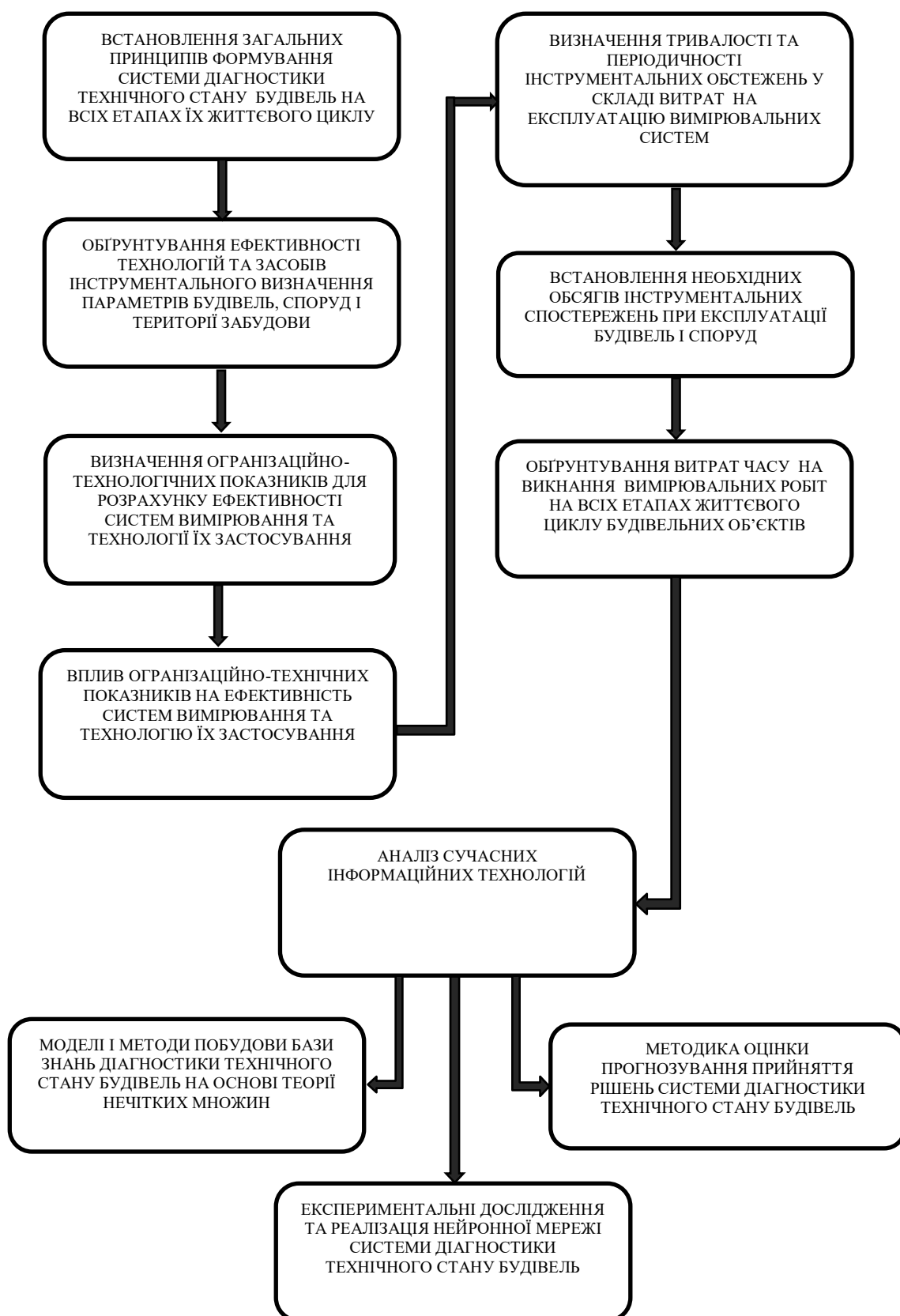


Рис. 1.7. Структурна схема сучасних інформаційних технологій автоматизованої системи діагностики технічного стану будівель

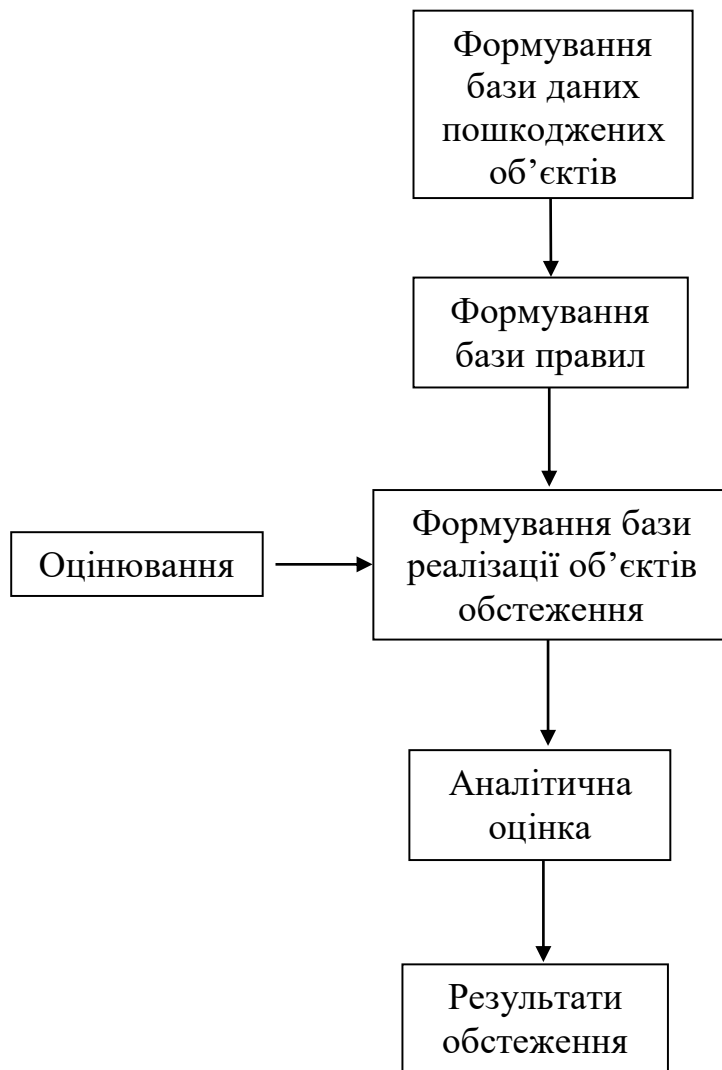


Рис. 1.8. Схема роботи інформаційної системи управління для діагностики технічного стану будівель

Існують наступні інформаційні технології діагностики технічного стану будівель: експертні системи, нечіткі системи, нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі, інформаційно-довідкові системи, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень та інші, що зображені на рис. 1.9.

В табл. 1.1 представлена порівняльна характеристика (переваги та недоліки) методів інформаційних технологій.

Експертні системи дозволяють вирішувати задачі створення експертних методів та моделей діагностики технічного стану будівель; проведення досліджень інформаційних та експертних систем; розробка формування бази знань та нечітких правил; дослідження інтелектуальної технології при реалізації інформаційної системи управління обстеження та діагностики технічного стану будівель; дослідження ланцюгів виведення для діагностики стану об'єктів.

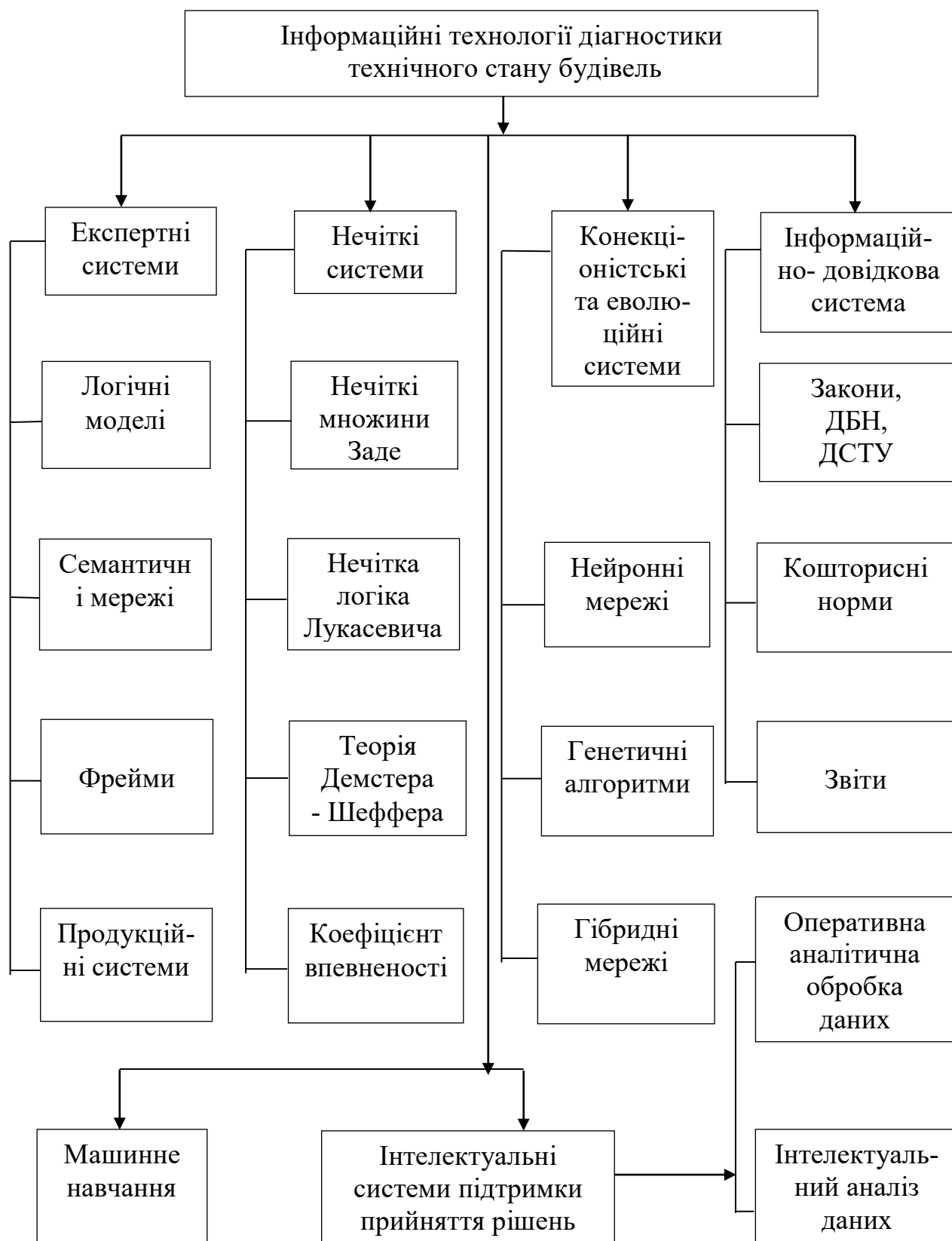


Рис. 1.9. Структурна схема інформаційних технологій діагностики технічного стану будівель

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика методів інформаційних технологій

Характеристика	Переваги	Недоліки
Метод		
1	2	3
Експертні системи	Створення експертних методів та моделей обстеження та діагностики технічного стану будівель; проведення досліджень інформаційних та експертних систем; розробка бази знань та нечітких правил; дослідження ланцюгів логічного виведення для діагностики технічного стану	Складність представлення глибинних знань експерта щодо обстеження та діагностики технічного стану будівель; складність організації навчання на досвіді спеціаліста
Нечіткі системи	Дозволяють вирішувати задачі інформаційної технології для підтримки діагностики технічного стану будівель, розробка бази знань для будівель, розробка системи нечіткого виведення; дослідження та реалізація на основі апарату нечіткої логіки моделей діагностики технічного стану будівель	Суб'єктивність обстеження та діагностики технічного стану будівель; не дозволяє навчатися
Нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі	Можливість отримання інформації щодо обстеження будівель у формі деякого прогнозу; побудова нейронних мереж обстеження та діагностики технічного стану будівель здійснюється за допомогою їх навчання на основі наявної і доступної інформації; дозволяє розробляти і представляти моделі систем у формі правил нечітких продукцій, які мають наглядність і простоту змістовну інтерпретацію	Представлення знань щодо обстеження та діагностики технічного стану будівель в спеціальному вигляді, який може суттєво відрізнятися від можливої змістовної інтерпретації існуючих взаємозв'язків і відносин
Генетичні алгоритми	Використовуються для пошуку оптимуму декілька точок одночасно, а не переходять від точки до точки, що дозволяє уникнути небезпеки попадання у	Працюють зі числовою інформацією, не працюють зі символічною інформацією

	локальний оптимум; не потрібно в процесі роботи ніякої додаткової інформації, що збільшує швидкість роботи алгоритму; використовують детерміновані і ймовірнісні правила	
Інформаційно – довідкова система	Наявність законів, нормативних документів, кошторисних норм, ДБН, ДСТУ, положень, тощо	Відсутність необхідності розробки і застосування інформаційної системи, що дозволяє в автоматичному режимі узагальнювати і аналізувати інформацію; вибирати оптимальну технологію за наявності баз даних та способах їх виконання
Машинне навчання	Рішення задач навчання базується або на лабіринтній моделі, яка передбачає пошук напрямку руху в лабіринті можливих варіантів, або встановлення асоціативних зв'язків у нейроподібних структурах	Проблеми узагальнення, накопичення досвіду вирішення задач і застосування цих проблем у вирішенні нових задач
Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень	Використання можливостей інформаційних систем обстеження технічного стану будівель; сучасні бази даних включають у свій склад ряд механізмів і технологій, які підвищують інтелектуальні можливості; інтелектуальні інформаційні системи обстеження технічного стану об'єктів будівництва об'єднують в собі можливості СУБД, які знаходяться в основі інформаційних систем, завдяки цьому збереження інформації щодо обстеження поєднується з її обробкою і підготовкою для використання при прийнятті рішень	Складність представлення різнобічної інформації

Експертні системи застосовуються та реалізовані в таких як: *MYCIN*, *NEOMYCIN*, *EMYCIN*, *PROSPECTOR*, *ДІАГЕН*, *ГЕНПОСТ*, *INTERNIST-I*, *SPHINX*, *PHEO-ATTENDING* (медичні експертні системи), *EXSYS* (призначена для побудови прикладних експертних систем класифікаційного типу), *1st-Class*, *Personal Consultant Plus*, *ПІЭС* (програмний інструментарій експертних систем), *GURU* (інтегроване середовище розробки експертних систем).

Нечіткі системи дозволяють вирішувати задачі інформаційної технології для підтримки діагностики технічного стану будівель, розробки бази знань для об'єктів будівництва, розробки системи нечіткого виводу; досліджувати та реалізовувати на основі апарату нечіткої логіки моделі діагностики стану будівель.

Нечіткі системи застосовуються та реалізовані в таких системах як: *MOŠ/MIS* (*Mestská a Obecná Štatistika/Mestský Informačný Systém* – Міська і муніципальна статистика/міська інформаційна система, використовуються як початкова база для розвитку заснованої на знаннях системи. Система “Система-Р” – модуль суміщеного навігаційного супутникового приймача (МСНП) призначеного для застосування в корпоративних інтегрованих навігаційно-зв'язних системах управління і контролю. (*CAD/CAPP*) – технологія, що об'єднує єдиний комплекс рішення задач автоматизації проектування, (*SAM/АСУТП*) – управління технологічними процесами.

Нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі – покликані об'єднати в собі переваги нейронних мереж і систем нечіткого виводу. Вони дозволяють отримувати інформацію щодо обстеження технічного стану будівель у формі деякого прогнозу; побудова нейронних мереж обстеження технічного стану будівель здійснюється за допомогою їх навчання на основі наявної і доступної інформації; розробляти та представляти моделі систем у формі правил нечітких продукцій, які володіють наочністю і простотою змістовної інтерпретації. Відзначимо, що апарат гібридних мереж повсюдно визнається фахівцями як один з найперспективніших для вирішення погано або слабоструктурованих задач прикладного системного аналізу.

Нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі застосовуються та реалізовані в таких системах як: *Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System* – *ANFIS* – адаптивна нейро-нечітка система висновків. Система *RAISON* – це інтегрована система, заснована на знаннях, що включає нейронну мережу, базу даних, геоінформаційну систему, картографічний аналізатор, графічні та програмно-мовні компоненти.

Генетичні алгоритми використовуються для пошуку оптимуму декілька точок одночасно, а не переходять від точки до точки, що дозволяє уникнути небезпеки попадання у локальний оптимум; не потрібно в процесі роботи ніякої додаткової інформації, що збільшує швидкість роботи алгоритму; використовують детерміновані і імовірнісні правила.

Інформаційно-довідкова система – це пакети нормативних документів,

кошторисних норм, законів, СНіПів, ДБН, реєстри аварійнонебезпечних об'єктів (РАНО). На даний час вже створено спеціальну інформаційну технологію РАНО як комп'ютерної бази даних. Вона забезпечує ведення бази даних, підтримання її в актуальному стані, формування широкої різноманітності різнопланових аналітичних документів щодо всієї бази даних або будь-яких вибірок з неї. Це програмне забезпечення регулярно супроводжується та постійно розвивається і вдосконалюється з огляду на поповнення різновидів обслуговуваних видів інформації, аспектів її аналізу та форм надання аналітичних документів. До аспектів інформаційної технології можна віднести питання створення і розвитку програмного забезпечення, постійну адаптацію його до потреб користувачів, які еволюціонують, забезпечення зручності і швидкості в прийманні та аналізі інформації, підтриманні її в актуальному стані, формуванні і наданні користувачам аналітичних зведень, тощо.

Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень – одним з напрямків робіт в області створення інтелектуальних систем є використання можливостей інформаційних систем обстеження технічного стану будівель; сучасні бази даних включають у свій склад цілий ряд механізмів і технологій, які підвищують інтелектуальні можливості. Інтелектуальні інформаційні системи обстеження технічного стану об'єктів будівництва об'єднують у собі можливості системи управління бази даних, які знаходяться в основі інформаційних систем, завдяки цьому збереження інформації щодо обстеження поєднується з її обробкою і підготовкою для використання при прийнятті рішень. Найбільш відомими засобами, які використовуються в сучасних базах даних для отримання змістовної інформації є системи на основі оперативної аналітичної обробки даних і системи інтелектуального аналізу даних. Оперативна аналітична обробка даних дозволяє обробляти інформацію, яка зберігається в сховищах даних. Інтелектуальний аналіз даних використовується для опису відкриття знань у базах даних. Головна задача здобуття знань полягає у виявленні у великих наборах даних прихованих закономірностей, залежностей і взаємозв'язків, які корисні при прийнятті рішень на різних рівнях управління. Такі закономірності представляються у вигляді моделей різного типу, які дозволяють проводити класифікацію ситуацій або об'єктів, прогнозувати їхню поведінку.

Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень застосовуються та реалізовані в таких системах як: *OLAP (Discovery System та OLAP Affinity System)* – призначені для інтелектуального аналізу багатовимірних агрегованих даних. Інтелектуальна система *CAAPP* – призначена для підтримки прийняття рішень у задачах проектування та планування гнучких складальних систем. За допомогою розробленої інтелектуальної системи розв'язано практичну задачу групування конструкційних модулів, складальних вузлів і частин виробів.

1.4 Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень діагностики технічного стану будівель

Завдання системи управління технічного стану будівель і їх будівельних конструкцій зазнають в теперішній час істотних суттєвих змін. Для ремонтно-відновлювальних робіт спостерігаються тенденції, основні з яких приведені на рис. 1.10.

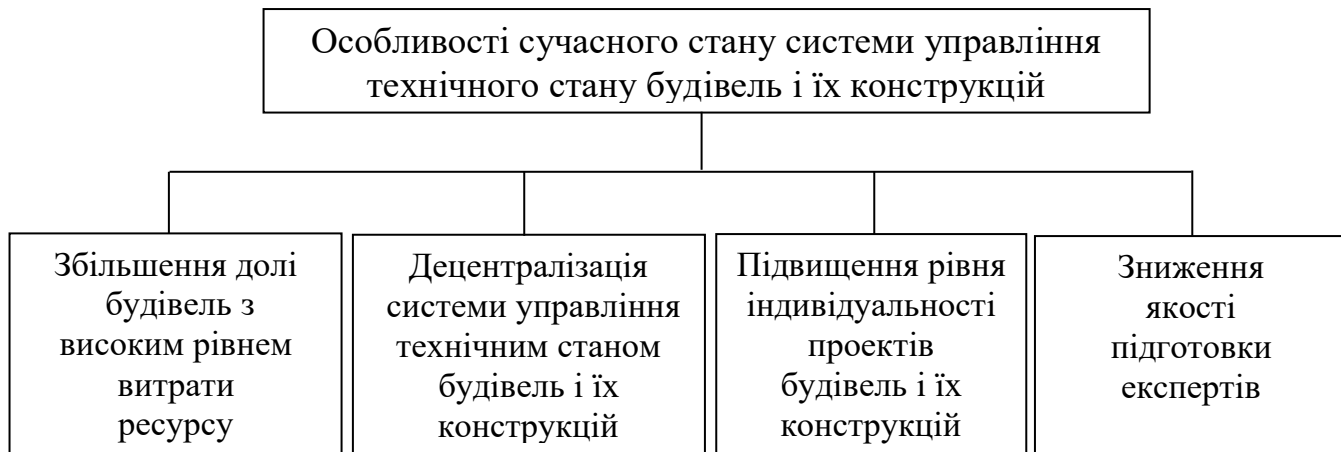


Рис. 1.10. Особливості стану системи управління технічного стану будівель і їх конструкцій

Представлені на рис. 1.10 особливості які є причинами того, що зростає рівень невизначеності прийняття відповідних рішень системи управління технічного стану будівель і будівельних конструкцій.

Система управління технічного стану будівель і будівельних конструкцій обумовлює:

- неповною відповідністю розрахункових схем, що враховуються на етапі проектування і розрахункових ситуацій в роботі будівельних конструкцій;
- неоднорідністю міцнісних, деформаційних, структурних, теплозахисних, акустичних, хімічних та інших властивостей матеріалів, що використовуються в будівельних конструкціях будівель, а також властивостей, що визначають їх стійкість до зовнішніх дій і довговічність;
- невизначеністю і можливою мінливістю умов експлуатації будівлі, залежних від технологічних процесів, які здійснюються від зовнішніх чинників;
- відсутністю достатнього об'єму статистичних даних про властивості нових матеріалів і будівельних конструкцій будівель, що проявляються в процесі будівництва;

Всі ці особливості необхідно враховувати при плануванні робіт експертам, які відповідають при виконанні робіт та при визначенні фактичного стану будівель.

Одним з найбільш перспективним напрямків в підвищенні ефективності системи управління технічного стану будівельних конструкцій та будівель в цілому в умовах невизначеності є застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Під інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень розуміють таку систему, в якій використовуються методи штучного інтелекту. Розглядається варіант побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в рамках якого застосовуються методи, що ґрунтуються на застосуванні задач нечіткої логіки при оцінюванні стану будівельних конструкцій та будівель в цілому. Основними відмінностями розглянутого підходу від відомих є спільний облік двох чинників невизначеності - нечіткості прийняття рішення по управлінню на основі ретроспективних даних про технічний стан будівельних конструкцій будівель і нечіткості отримання поточної інформації при застосуванні інструментальних і експертних методів оцінок поточного технічного стану конструкцій будівель. Це дозволяє понизити загальний рівень невизначеності ситуації та отримати рішення про технічний стан будівель.

Такий підхід є актуальним для сучасного стану системи експлуатації будівель, що дозволяє підвищити ефективність процесу прийняття рішень щодо проведення необхідних дій в порівнянні з іншими відомими методами.

Об'єктом розгляду виступають конструкції будівель. Предметом дослідження являється процес формування прийняття рішень системи управління технічного стану будівель та їх основних конструкцій із застосуванням інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

1.5 Математичні моделі системи підтримки прийняття рішень діагностики технічного стану конструкцій будівель

Підвищити точність формування дій, можливо при спільному використанні накопиченої інформації, результатів поточного контролю і моніторингу стану основних конструкцій, а також результатів експертного висновку щодо ефективності заходів по забезпеченню довговічності основних конструкцій і будівель в цілому. Узагальнення різномірної інформації і отримання логічних висновків можливо на основі застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Розглянемо модель прийняття рішення з управління системи діагностики конструкцій і будівлі в цілому.

Припустимо, що стан конструкції будівлі характеризує один параметр (показник властивості). Позначимо його через x . Припустимо, що параметр стану x основної конструкції доступний для спостереження і виміру інструментальними та експертними методами.

Припустимо, що для параметра x встановлена множина його станів, які складають вектор $X = x_1, x_2, \dots, x_n$. Наприклад, для основних конструкцій згідно

нормативних документів прийнято п'ять рівнів стану – від працездатного до аварійного (ВСН 57-88(р). Положення щодо технічного обстеження житлових будівель). Нехай заходи щодо дії на досліджену конструкцію є вектор $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. Кожному із станів $x_i (i = 1(1)n)$ повинно бути зіставлені одно або декілька можливих дій $y_j, y_j \in Y (j = 1(1)m)$. Відповідність технічного стану конструкції заходам $y_j (j = 1(1)m)$ має бути задане деяким правилом P .

На рис. 1.11 встановлені експертні правила відповідності дій на конструкцію.

Таким чином, можна сформувати множину керованих дій $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$, до складу якого входять елементи структури вибору конкретної дії при зафіксованому в ході контролю стані x_f конструкції. Рішення системи управління $u_i (i = 1(1)n)$ повинні формуватися системою підтримки прийняття рішень. Припустимо, що невідомість ситуації управління характеризується вектором $\Omega = (W_1, W_2)$ умов невизначеності. Умова W_1 характеризує невизначеність відповідності кожного $u_i (i = 1(1)K)$ конкретному стану x через обмеженість початкових даних для опису зміни стану конструкції в умовах експлуатації будівлі і його реакції на можливі дії. Умова W_2 характеризує невизначеність фактичного стану x_f параметру x при виконанні інструментального або експертного контролю конструкції при моніторингу технічного стану будівлі експертами.

Врахуємо невизначеність типу W_1 введенням нечіткого опису технічного стану конструкції будівлі за допомогою лінгвістичної змінної $\tilde{X}$.

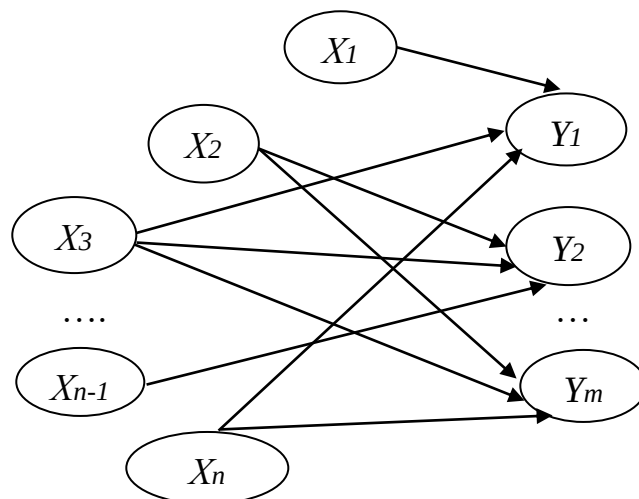


Рис. 1.11. Експертні правила відповідності дій на конструкцію

Лінгвістична змінна дорівнює:

$$\tilde{X} = \{X, \mu_x\}, \quad (1.11)$$

де μ_x – функція приналежності лінгвістичної змінної $\tilde{X}$.

У співвідношенні з виразом (1.11) пропонується відповідність P знанням, що визначаються продукційними правилами типу “ЯКЩО, ТО”.

Таким чином, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень по управлінню за технічним станом конструкції представляє собою операцію імплікації:

$$u^*: (\ddot{x} \rightarrow \ddot{y}) / P. \quad (1.12)$$

Розглянемо ситуацію, що пов'язана з фактором W_2 . Припустимо, що через особливості системи контролю отримати точну кількісну оцінку x_f поточного стану конструкції немає можливості. При цьому результат контролю q_f конструкції представляє собою один із термів q множини Q термів значення контрольованого параметру. Наприклад, якщо нечітке значення $\dot{X}$ контрольованого параметру x має значення “високий”, то терми q вказаного значення можуть мати вигляд “помірно високий”, “порівняно високий”, “не дуже високий”, “дуже високий”. В цьому випадку параметр x конструкції може бути оцінений за непрямыми ознаками, наприклад, у вигляді: “значення параметру досить високе”, при цьому вказується рівень приналежності результату контролю до одного з термів. Тому для кожного терма q лінгвістичної змінної x необхідно за результатами ретроспективної інформації побудувати функцію приналежності (ФП). При зроблених допущеннях, модель прийняття рішення, згідно використання заходу y_f по управлінню за технічним станом конструкції будівлі можна представити таким чином:

$$u^*(y_f) = W(q_f, P, y_f, / w_1, w_2), \quad (1.13)$$

де P – правило відповідності дії y_f фактичному стану q_f конструкції з урахуванням невизначеності двох типів.

В цьому випадку результат оцінки z_f технічного стану конструкції по контрольованому параметру x з урахуванням двох видів невизначеності є результатом перетину двох функцій приналежності – ФП параметра x_f , що характеризує продукційне правило (1.12) і ФП результату q_f поточного контролю технічного стану конструкції.

Максимальне значення отриманого в ході цього об'єднання ФП нечіткої змінної z_f буде представляти собою значення підсумкової ФП оцінки фактичного стану конструкції.

Цей висновок представлений співвідношенням:

$$\mu(\check{z}_f) = \text{height}(\check{g}_f \cap \check{x}_f) = \sup \min(\mu(\check{g}_f), \mu(\check{x}_f)). \quad (1.14)$$

Значення показника, що представлено у виразі (1.14), будемо називати a – рівнем результату $\check{z}_f$ контролю стану конструкції. Після цього у відповідності з продукційним правилом (вираз 1.13) і управління u^* необхідно визначити вигляд керованої дії y_f на конструкцію по параметру x . Управління u^* для конструкції повинно відповідати фактичному стану x_f конструкції будівлі, що досліджена.

Послідовність дій щодо прийняття рішення про керовані дії системи діагностики конструкції і будівлі в цілому, що характеризується параметром x , представлена на рис. 1.12.

Таким чином, при отриманні рішення системи управління діагностики конструкції використовуються елементи штучного інтелекту, тому система що реалізовує цю процедуру може бути віднесена до класу інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Надалі розглянемо розрахунковий приклад, що характеризує застосовність розробленої методики.

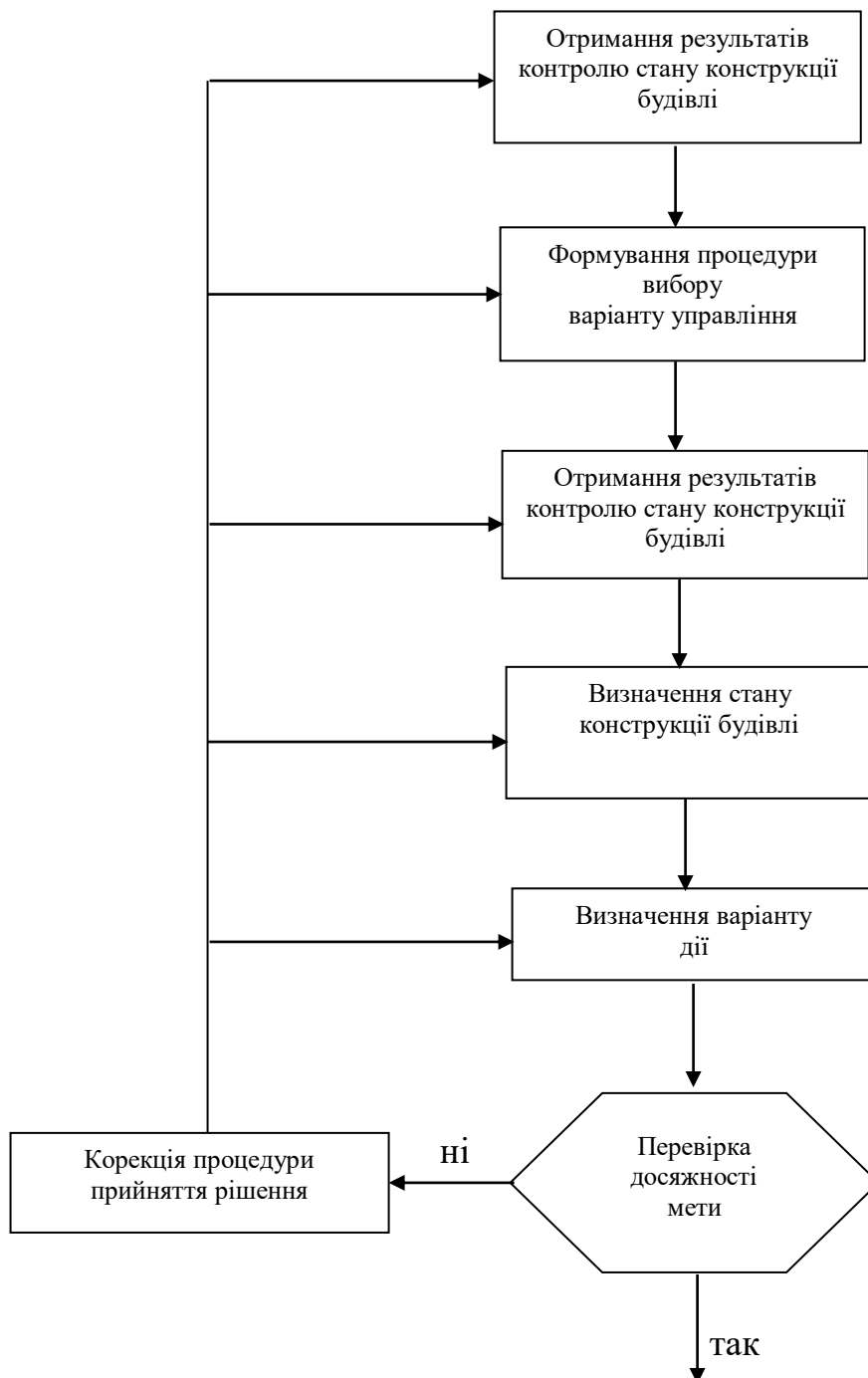


Рис. 1.12. Етапи підготовки прийняття рішення системи діагностики конструкції і будівлі в цілому

1.6 Розрахунковий приклад інтелектуальної системи прийняття рішень діагностики технічного стану конструкцій будівель

Постановка задачі. Ця будівля є прикладом порушення правил експлуатації, що виражається в несвоєчасному захисті стіни будівлі від зволоженості та викликане пошкодженням покрівлі (рис. 1.13).



Рис. 1.13. Фрагмент пошкодженої стіни будівлі

Параметром x її стану являється залишковий ресурс надійності в роках експлуатації. До множин дій відносяться зміцнення конструкції, розбирання частини стіни будівлі, знос будівлі. Передбачається, що за результатами аналізу ретроспективної інформації, передбачені границі зміни параметру x , які знаходяться в межах інтервалу $\{0,4\}$ років. При цьому експерт описує даний параметр як лінгвістичну зміну “залишковий ресурс”.

Для числового опису даного параметру використовується дзвоникоподібна функція приналежності з показниками $b=2,2$ роки і $c=0,4$.

Експертне виведення припускає для нечіткої величини керовану дію, яка має дзвоникоподібну функцію приналежності з параметрами $b=100$ і $c=50$. Рівень дій в даному випадку може визначатися вартістю заходів, наприклад, в долях відсотків від вартості повної заміни конструкції.

Тоді значення нечіткої змінної, що характеризує управління за технічним станом конструкції, може мати границі зміни $\{0;100\}$.

Особливості системи контролю конструкції будівлі не дозволяють отримати точне значення параметру x . Поточне значення параметру конструкції оцінюється експертно за непрямыми ознаками. Для кожного з можливих станів конструкції вводяться терми q , що мають вигляд: “залишковий ресурс дуже низький”, “залишковий ресурс низький”, “залишковий ресурс задовільний” Для кожного з вказаних термів експертним способом визначена на основі ретроспективної інформації відповідна ФП.

При дослідженні поточного стану стіни, експерти отримали висновок, що $q_f=1,8$ роки, де q_f – оцінка значення залишкового ресурсу конструкції. Для розрахунків використовуються припущення, що терму “залишковий ресурс низький” відповідає дзвоникоподібна ФП з наступними показниками: координата максимального значення ФП рівна 1,8 року; коефіцієнт концентрації дорівнює 0,1.

Необхідно.

Підготувати обґрунтований варіант рішення щодо системи інтелектуального управління технічного стану конструкції (пошкодженої стіни будівлі).

Рішення задачі.

Розглянемо два варіанти постановки завдання.

Перший варіант завдання полягає в тому, що результат q_f контролю конструкції розглядається як чітке число. Прийняття рішення для цього результату приведені на графіку (рис. 1.14). Синя стрілка показує спосіб реалізації продукційного правила P для даного результату контролю.

Ідея здійснення процедури інтелектуального вибору рішення, представлена на графіку (рис. 1.15).

Червона стрілка на графіку (рис. 1.15) визначає дію, яка експертно встановлена прийнятним рівнем витрат, що здійснена на управління при зафіксованому поточному стані конструкції. Цей стан виражений чітким значенням q_f параметру, рівним 1,8 року.

Розглянемо другий варіант рішення задачі.

Параметр стану стіни представляє собою нечітку величину з декількома термами. Як і в першому прикладі, зміна параметра x “залишковий ресурс” знаходиться в межах інтервалу $\{0; 4\}$ роки. Проте тепер результат q_f оцінювання технічного стану конструкції характеризується термом “залишковий ресурс низький”, що має відповідну ФП. Цей результат представлений на рис. 1.16.

Отримаємо тепер оцінку z_f на основі реалізації правила перетину двох нечітких великих кількостей відповідно до виразу (1.14). Дана дія відображена на рис. 1.16.

Значення ФП результату контролю, представляють собою мінімальне значення для двох даних ФП при одних і тих же числових значеннях параметру стану конструкції. Підсумкова ФП представляє на рис. 1.18 вигляд залежності, що представлено на графіку червоним кольором. Максимальне значення цієї підсумкової ФП відповідає рівню a . Для вибору дії, початкова ФП (див. рис. 1.15) відсікається на рівні a . Підсумкова ФП інтелектуального рішення представлена на рис. 1.18 (графік зеленого кольору).

Для визначення чіткого аргументу по управлінню за технічним станом конструкції можна скористатися методом “центру тяжіння”. В даному випадку, точка “А” на рис. 1.17 – 1.18 відповідає “центру тяжіння” ФП прийнятого рішення. Синя стрілка, початок якої знаходиться в “центрі

тяжіння”, визначає доцільне рішення по управлінню за технічним станом конструкції. Порівняння ФП отримуваних рішень для двох варіантів завдання по управлінню за станом конструкції показує, що зниження рівня визначеності контролю стану приводить до підвищення ціни необхідних дій.

Це відповідає реальній ситуації експертного оцінювання стану конструкції, коли знижується впевненість експерта у формулюванні виводу при “розмиванні” умов отримання експертного висновку і він вважає за краще “підстрахуватися”, вибираючи найбільш ефективніший спосіб впливу на конструкцію, яка являється при цьому найбільш дорожчим.

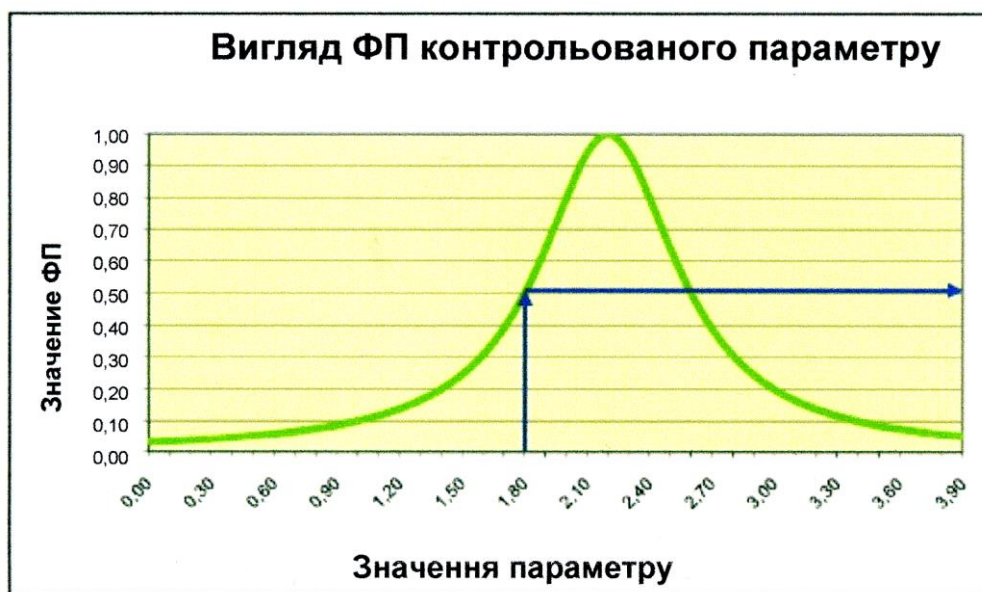


Рис. 1.14. Вид ФП для значення параметру стану “залишковий ресурс”



Рис. 1.15. Вигляд ФП для можливих керівних дій

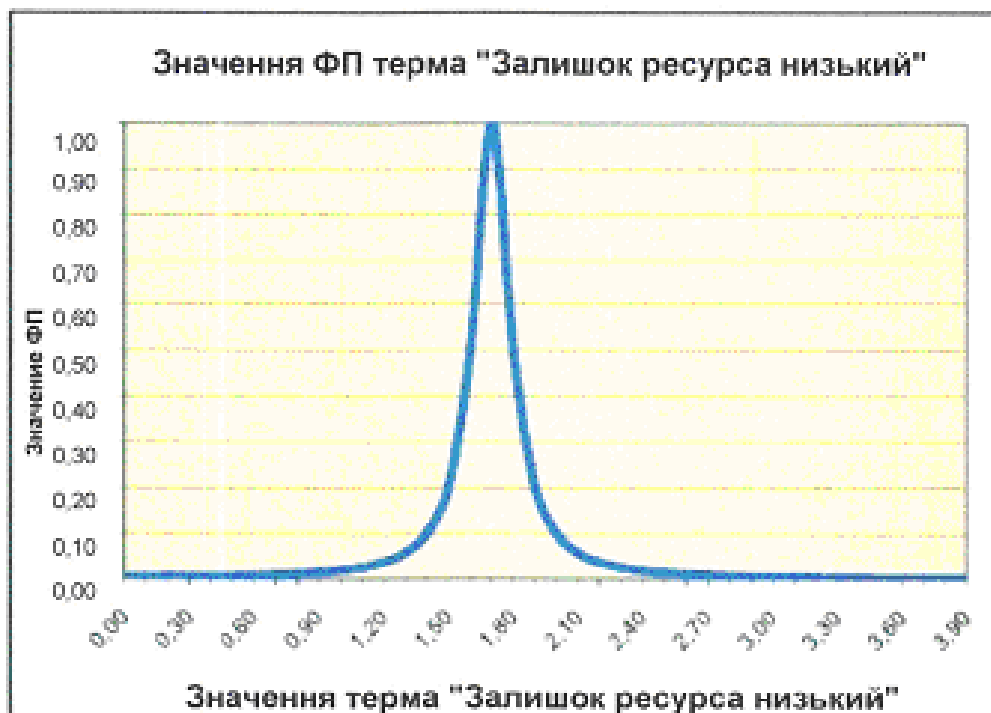


Рис. 1.16. Вигляд ФП для значення q_f терма “залишковий ресурс низький”



Рис. 1.17. Вигляд ФП для оцінки стану конструкції при нечіткому контролі

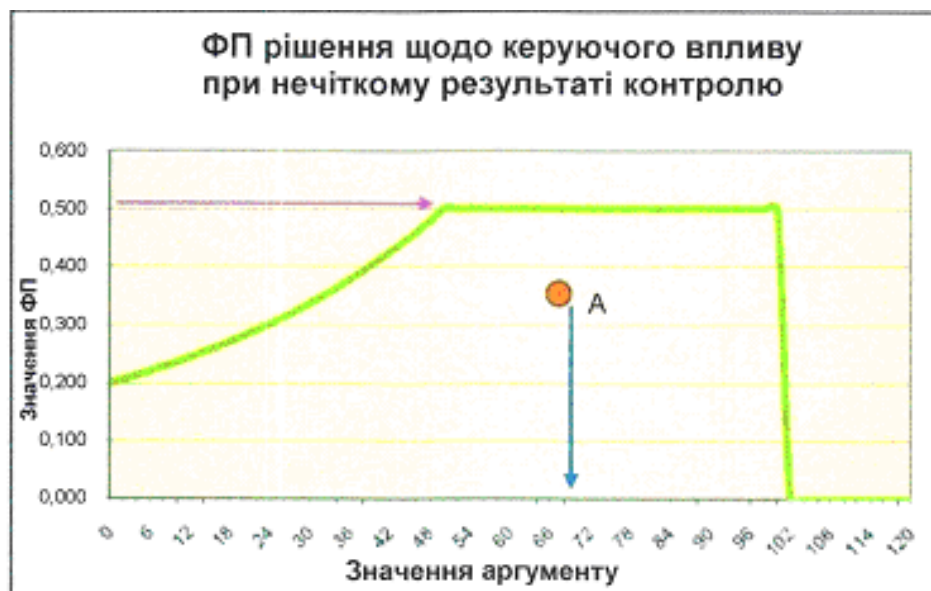


Рис. 1.18. Вигляд підсумкової ФП для прийняття рішення по управлінню за технічним станом конструкцій при нечіткому контролі

Використовуючи апарат нечіткої логіки можна побудувати модель інтелектуального прийняття рішення технічного стану конструкцій будівель. Основними елементами моделі є описи нечіткого продукційного виведення і нечіткого контролю стану конструкцій будівлі при формуванні яких використовуються інструментальні засоби і знання експертів. Отримані при моделюванні рекомендації дозволяють точніше визначити витрати на експлуатацію будівель за рахунок обліку істотних невизначеностей, характерних для даного типу об'єктів. Виходом є вдосконалення систем підтримки прийняття рішень в напрямі узагальнення знань і досвіду експертів за результатами інструментального і візуального контролю конструкцій.

1.7 Організація та технологія проведення обстеження технічного стану будівель

Головною метою організації проведення обстежень 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'єкту; візуальне обстеження; обмірочні роботи; інструментальні тести будівельних конструкцій і матеріалів; перевірочні розрахунки; аналіз результатів обстеження; рекомендацій щодо подальшої експлуатації експлуатаційних якостей конструкцій, будівель.

На рис. 1.19 наведена структурна схема організації проведення і виконання робіт з обстеження будівель.

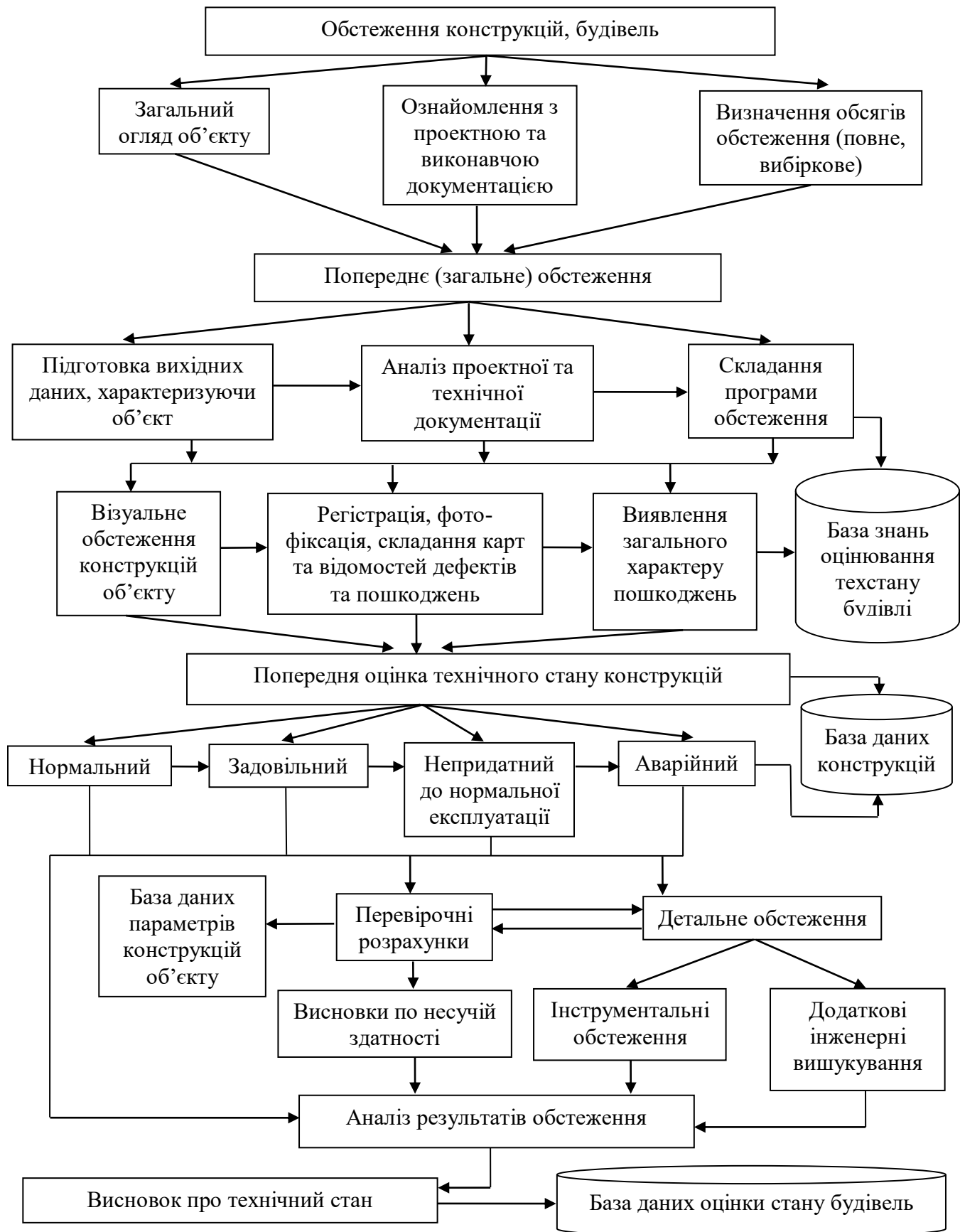


Рис. 1.19. Структурна схема організації проведення і виконання робіт з обстеження будівель

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;
- перевірочні 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'єкту 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. 1.20 наведена експертна інформаційна технологія проведення обстеження технічного стану 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 об'ємі 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.

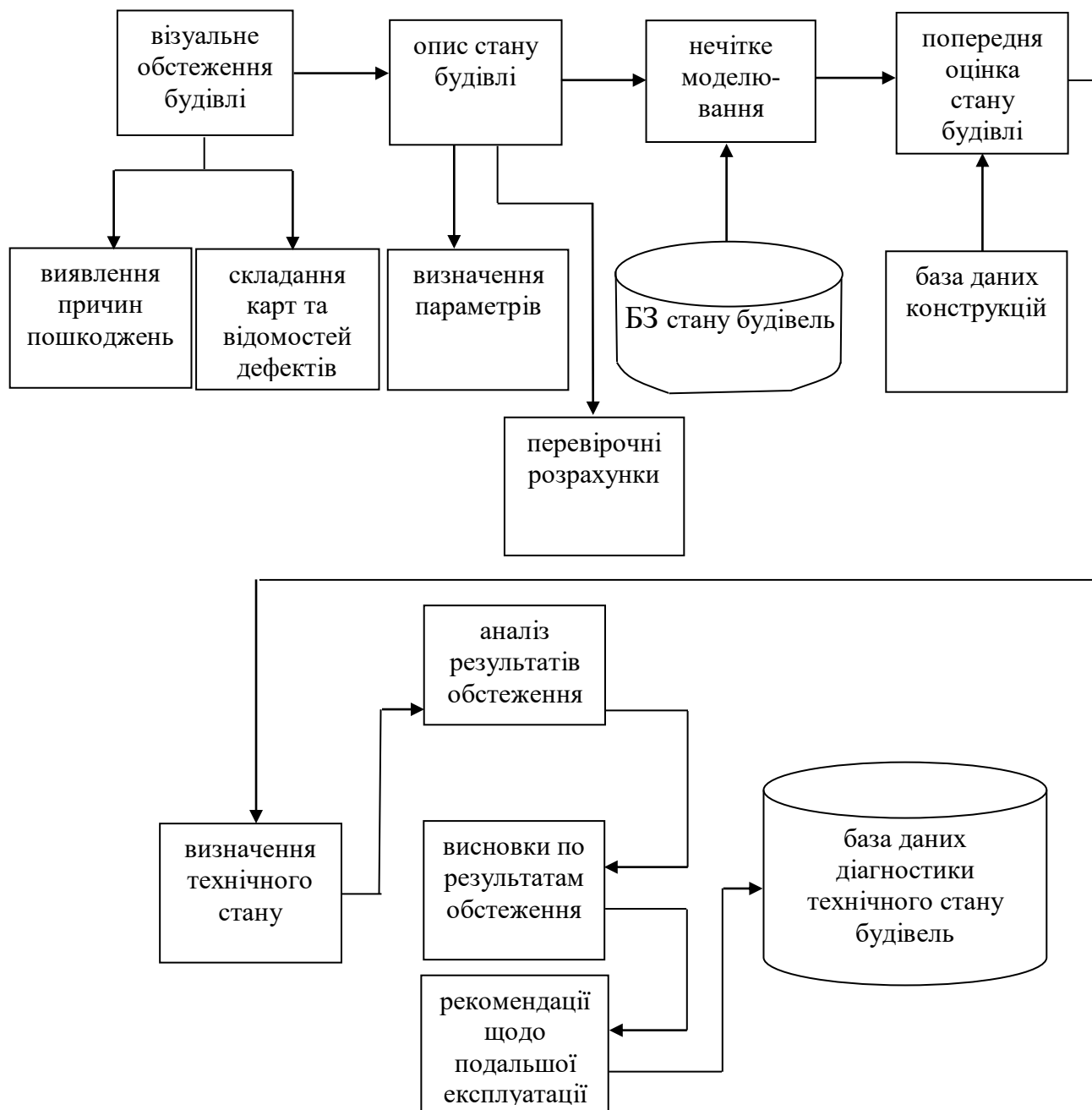


Рис. 1.20. Експертна інформаційна технологія проведення обстеження технічного стану будівель

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 оточуючого 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. 1.21 представлені етапи проведення обстеження технічного стану будівель.

Обстеженню будівлі передуює 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 виконуються для установлення фактичних фізико-технічних, міцнісних, конструктивних і інших характеристик, а також у випадках проведення перевірочних 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.

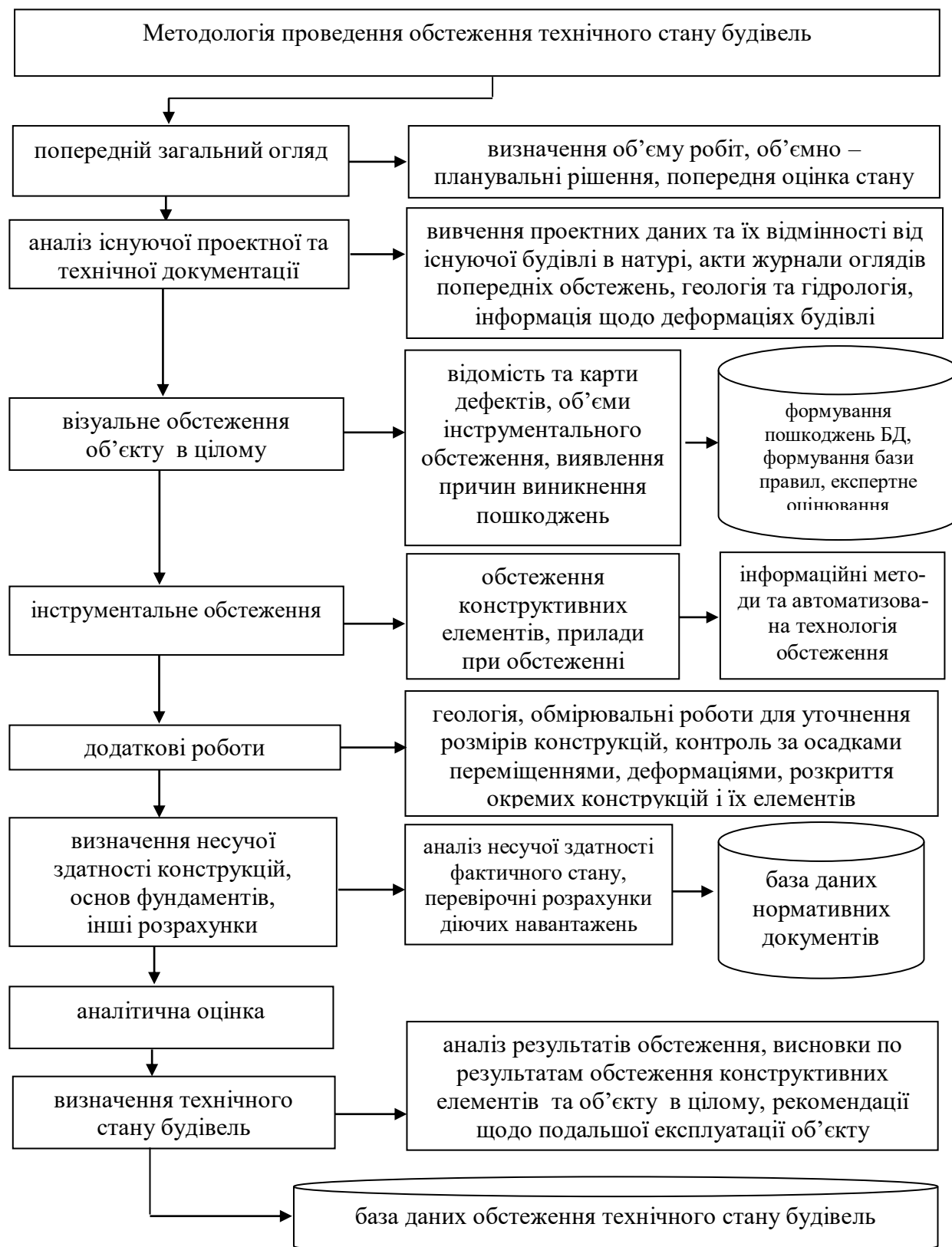


Рис. 1.21. Етапи проведення обстеження технічного стану будівель

Необхідність у проведенні зазначених видів робіт з'являється у випадках недоліку даних для проведення різних перевірочних 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, по завершенню збору інформації про будівлю, виконуються визначення несучої здатності конструкцій і інші перевірочні розрахунки, що в свою чергу виготовлюється паралельно з проробленням проектної і технічної документації.

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

Виділення загальних для всіх випадків обстеження блоків або окремих 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. 1.22 наведена структурна схема процесу та умов проведення обстеження на різних етапах рішення.

На рис. 1.23 представлена технологія проведення обстеження технічного стану будівель.

Таким чином можна сформулювати основну задачу в цій області – створення інтелектуальної інформаційної технології діагностики технічного стану будівель

Напрямки наукових досліджень в цій області, як показав аналіз, полягають в наступному:

1. формування моделей та створення експертних методів діагностики технічного стану будівель;
2. розробка моделей діагностики технічного стану будівель з застосуванням апарату нечітких множин;
3. дослідження на основі апарату нечіткої логіки моделей діагностики технічного стану, формування бази знань експертної системи.

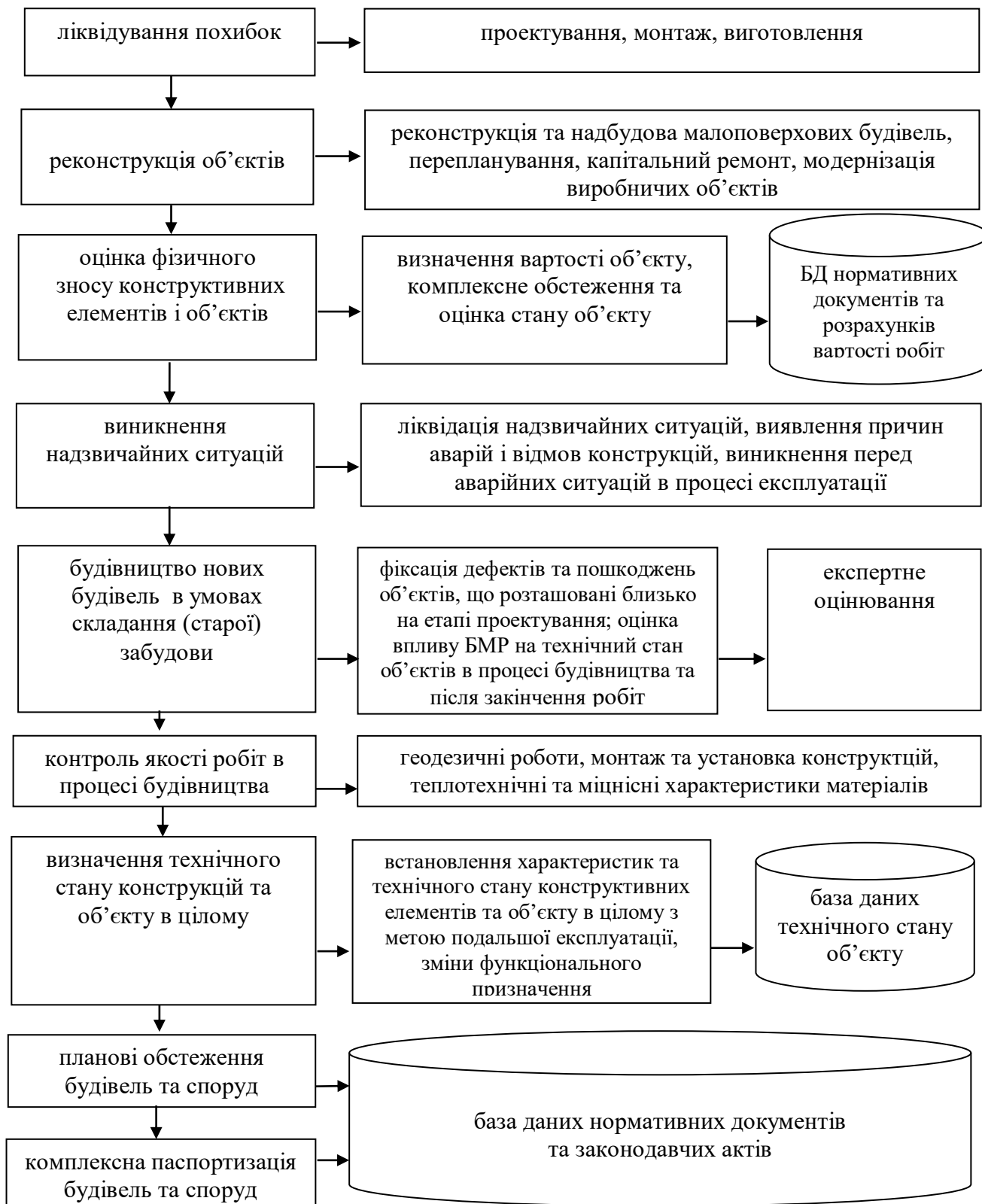


Рис. 1.22. Структурна схема процесу та умов проведення обстеження на різних етапах рішення



Рис. 1.23. Технологія проведення обстеження технічного стану будівель

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1

1. Запропонована концепція управління життєвим циклом об'єктів будівництва (будівель) з використанням сучасних інформаційних технологій.
2. Проаналізовані основні дефекти та пошкодження, які впливають на технічний стан будівель, проведений аналітичний огляд інформаційних систем управління для діагностики технічного стану будівель.
3. Проведено аналіз та класифікація інформаційних технологій, що дозволило розробити структуру інформаційної технології для вирішення задач діагностики. Головною метою є об'єднання інформаційних систем в єдину систему, що дозволить оперативно вирішувати задачі обстеження будівель з урахуванням фактичних характеристик конструкцій.
4. Отримала подальший розвиток концепція інформаційної системи управління технічного обслуговування і діагностики технічного стану будівель.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛІ І МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

2.1 Теоретико – множинна модель будівлі

Для надійної роботи будівельних конструкцій протягом усього часу, передбаченого проектом, необхідна їх технічна експлуатація. Умови проведення спостереження за будівлями, проведення підтримуючих, чергових і капітальних ремонтів та прийняття необхідних заходів щодо підсилення конструкцій регламентуються нормативними документами. Так, під час експлуатації виробничих будівель слід керуватися вимогами «Положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд», яке подане в «Нормативних документах з питань обстежень, паспортизації та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд».

Це положення має на меті забезпечити збереження виробничих будівель шляхом належного догляду за ними, вчасного та якісного проведення їх ремонту, а також запобігання виникненню аварійних ситуацій. Воно передбачає правила експлуатації та ремонту виробничих будівель разом з інженерними комунікаціями, санітарно-технічними пристроями, включаючи вводи водопроводу і каналізаційні випуски, електричне освітлення, планування прилеглої безпосередньо до будівлі території і вимощення навколо будівель, у тому числі заводських та під'їзних залізничних і автомобільних доріг, водопровідно-каналізаційних споруд, мереж теплофікації та газозабезпечення, електрозабезпечення і зв'язку, а також різних естакад, відкритих складів і інших споруд.

Положення є обов'язковим при проведенні планово-запобіжних ремонтів виробничих будівель. Система планово-запобіжних ремонтів виробничих будівель – це сукупність організаційно-технічних заходів із спостереження, догляду та усіх видів ремонтів, що здійснюються в плановому порядку.

Перед інженерами-будівельниками стоїть завдання обстеження технічного стану та надійності, розв'язання питання про можливість їх подальшої нормальної експлуатації або реконструкції і підсилення. Розв'язання поставлених завдань пов'язане з обстеженням конструкцій будівель, результати якого дають змогу підготувати відповідні рекомендації. На їх основі інженери-проектувальники розробляють необхідні конструктивні рішення.

Важливою складовою частиною комплексу робіт з діагностики технічного стану конструкцій та будівель в цілому є обстеження. Метою обстеження є встановлення реальної несучої здатності й експлуатаційної придатності будівельних конструкцій та основ для використання цих даних при визначенні їх надійності, необхідності підсилення і розробленні проекту

реконструкції. При обстеженні також повинен вестися пошук оптимального варіанта конструктивно-планувального рішення, способу можливого підсилення несучих конструкцій з урахуванням його технологічності, забезпечення мінімуму трудовитрат, матеріальних ресурсів та часу на виконання робіт із реконструкції.

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

Обстеження будівельних конструкцій складається з трьох основних етапів:

- початкове ознайомлення з проектною документацією, робочими та виконавчими кресленнями, актами на приховані роботи;
- візуальний огляд об'єкта, складання плану обстеження будівлі, проведення комплексу досліджень не руйнуючими методами;
- аналіз стану будівлі і розроблення рекомендацій до усунення виявлених дефектів.

Метою натурного огляду будівель є:

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

На рис. 2.1 представлена загальна структурна схема проведення обстеження технічного стану будівель.

На рис. 2.2 представлена схема послідовності визначення технічного стану будівлі при проведенні обстеження, що описуються в табл. 2.1 – 2.5.

В табл. 2.1 представлений формалізований опис моделей основних конструктивних елементів будівлі.

Першим етапом обстеження є попередній огляд, в процесі якого визначається обсяг виконуваних робіт, встановлюються основні типи конструктивних елементів, що підлягають обстеженню (табл. 2.2).

В процесі обстеження формуються відомості та карти дефектів, виявляються причини виникнення основних дефектів та пошкоджень (табл. 2.3).

Наступним етапом є надання рекомендацій за результатами обстеження технічного стану конструктивних елементів будівлі (табл. 2.4).

Передостаннім етапом обстеження є визначення категорії технічного стану конструктивних елементів будівлі (табл. 2.5).

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

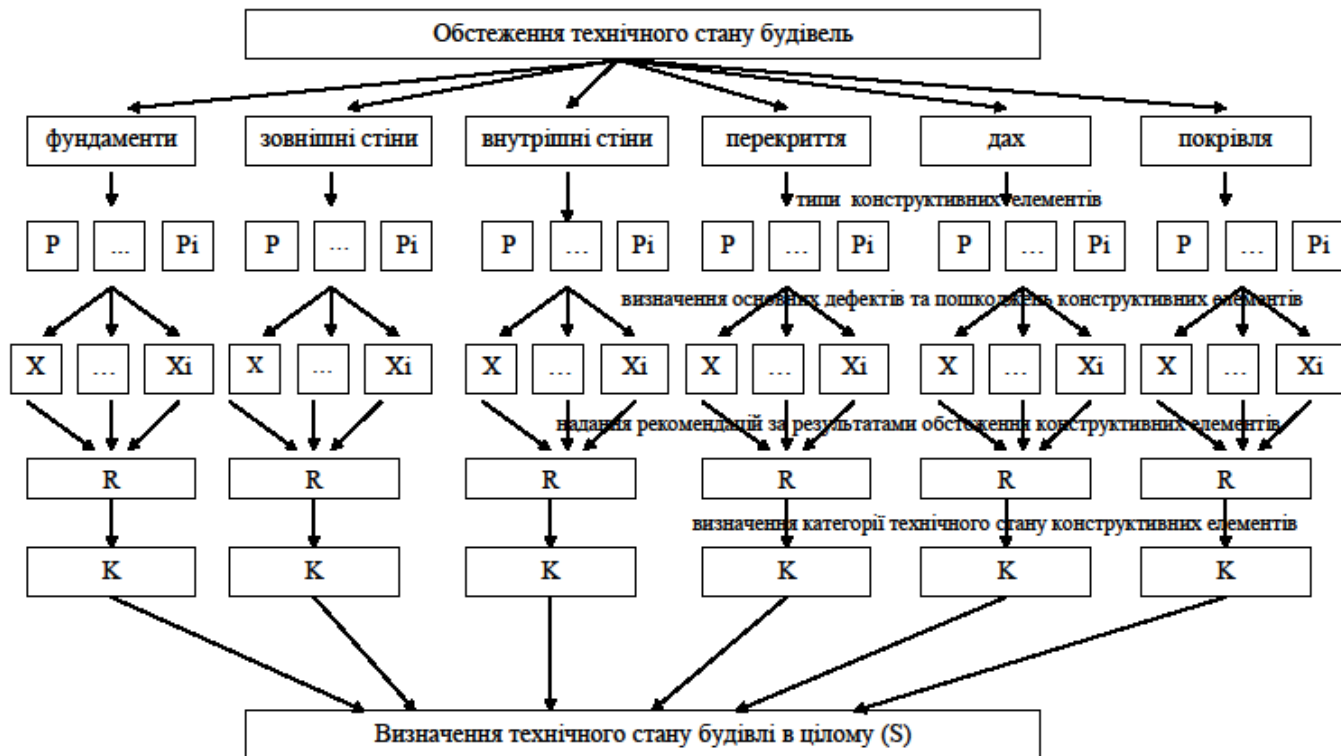


Рис. 2.1. Загальна структурна схема проведення обстеження технічного стану будівель

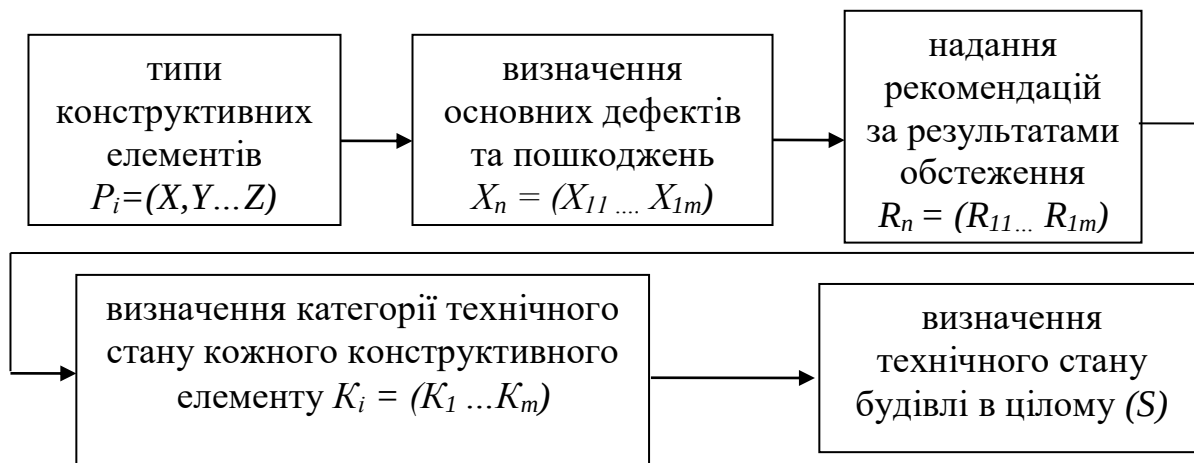


Рис. 2.2. Схема послідовності визначення технічного стану будівлі при проведенні обстеження

В табл. 2.1 представлений формалізований опис моделей основних конструктивних елементів при проведенні обстеження технічного стану будівель.

Таблиця 2.1

Формалізований опис конструктивних елементів будівель

Конструктивний елемент	Формалізований опис
1	2
Фундаменти (F)	P_i (типи конструктивних елементів) $\rightarrow X_n$ (основні дефекти та пошкодження в залежності від типів конструктивних елементів) $\rightarrow R_n$ (рекомендації по результатам обстеження) $\rightarrow K_i$ (категорія технічного стану конструктивного елементу) $P(X, Y, Z) \rightarrow (X_F, Y_F, Z_F) \rightarrow R(Rx_F, Ry_F, Rz_F) \rightarrow K(K2, K2/3, K3, K3/4, K4);$ $X_F = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16});$ $Y_F = (Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16});$ $Z_F = (Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16});$ $Rx_F = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15});$ $Ry_F = (R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{25});$ $Rz_F = (R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34}, R_{35}).$
Зовнішні стіни (ZS)	$P(X, Y, Z, V, L) \rightarrow (X_{ZS}, Y_{ZS}, Z_{ZS}, V_{ZS}, L_{ZS}) \rightarrow R(Rx_{ZS}, Ry_{ZS}, Rz_{ZS}, Rv_{ZS}, Rl_{ZS}) \rightarrow K(K2, K2/3, K3, K3/4, K4);$ $X_{ZS} = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18});$ $Y_{ZS} = (Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17}, Y_{18});$ $Z_{ZS} = (Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16}, Z_{17}, Z_{18});$ $V_{ZS} = (V_{11}, V_{12}, V_{13}, V_{14}, V_{15}, V_{16}, V_{17}, V_{18});$ $L_{ZS} = (L_{11}, L_{12}, L_{13}, L_{14}, L_{15}, L_{16}, L_{17}, L_{18});$ $Rx_{ZS} = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15}, R_{16});$ $Ry_{ZS} = (R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{25}, R_{26});$ $Rz_{ZS} = (R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34}, R_{35}, R_{36});$ $Rv_{ZS} = (R_{41}, R_{42}, R_{43}, R_{44}, R_{45}, R_{46});$ $Rl_{ZS} = (R_{51}, R_{52}, R_{53}, R_{54}, R_{55}, R_{56}).$
Внутрішні стіни (VS)	$P(X, Y, Z, V, L) \rightarrow (X_{VS}, Y_{VS}, Z_{VS}, V_{VS}, L_{VS}) \rightarrow R(Rx_{VS}, Ry_{VS}, Rz_{VS}, Rv_{VS}, Rl_{VS}) \rightarrow K(K2, K2/3, K3, K3/4, K4);$ $X_{VS} = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16});$ $Y_{VS} = (Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16});$ $Z_{VS} = (Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}, Z_{15}, Z_{16});$ $V_{VS} = (V_{11}, V_{12}, V_{13}, V_{14}, V_{15}, V_{16});$ $L_{VS} = (L_{11}, L_{12}, L_{13}, L_{14}, L_{15}, L_{16});$ $Rx_{VS} = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15});$ $Ry_{VS} = (R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{25});$ $Rz_{VS} = (R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34}, R_{35});$ $Rv_{VS} = (R_{41}, R_{42}, R_{43}, R_{44}, R_{45});$ $Rl_{VS} = (R_{51}, R_{52}, R_{53}, R_{54}, R_{55}).$
Перекриття (П)	$P(X, Y) \rightarrow (X_{\Pi}, Y_{\Pi}) \rightarrow R(Rx_{\Pi}, Ry_{\Pi}) \rightarrow K(K2, K2/3, K3, K3/4, K4);$ $X_{\Pi} = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15});$ $Y_{\Pi} = (Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15});$ $Rx_{\Pi} = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14});$ $Ry_{\Pi} = (R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}).$

Дах (D)	$P(X, Y) \rightarrow (X_D, Y_D) \rightarrow R(R_{x_D}, R_{y_D}) \rightarrow K(K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4);$ $X_D = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14});$ $Y_D = (Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14});$ $R_{x_D} = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14});$ $R_{y_D} = (R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}).$
Покрівля (P)	$P(X, Y, Z, V, L, H, T) \rightarrow (X_P, Y_P, Z_P, V_P, L_P, H_P, T_P) \rightarrow$ $R(R_{x_P}, R_{y_P}, R_{z_P}, R_{v_P}, R_{l_P}, R_{h_P}, R_{t_P}) \rightarrow K(K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4);$ $X_P = (X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14});$ $Y_P = (Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14});$ $Z_P = (Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{14});$ $V_P = (V_{11}, V_{12}, V_{13}, V_{14});$ $L_P = (L_{11}, L_{12}, L_{13}, L_{14});$ $H_P = (H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{14});$ $T_P = (T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14});$ $R_{x_P} = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14});$ $R_{y_P} = (R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24});$ $R_{z_P} = (R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34});$ $R_{v_P} = (R_{41}, R_{42}, R_{43}, R_{44});$ $R_{l_P} = (R_{51}, R_{52}, R_{53}, R_{54});$ $R_{h_P} = (R_{61}, R_{62}, R_{63}, R_{64});$ $R_{t_P} = (R_{71}, R_{72}, R_{73}, R_{74}).$

На першому етапі визначаємо типи конструктивних елементів будівлі (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Типи конструктивних елементів будівлі

Конструктивні елементи	Типи конструктивних елементів
1	2
Фундаменти (F)	- стрічкові $P(X)$; - стовбчасті $P(Y)$; - пальові $P(Z)$.
Зовнішні стіни (ZS)	- дерев'яні $P(X)$; - цегляні $P(Y)$; - блочні $P(Z)$; - панельні $P(V)$; - рубані $P(L)$.
Внутрішні стіни (VS)	- дерев'яні $P(X)$; - цегляні $P(Y)$; - гіпсобетонні $P(Z)$; - панельні $P(V)$; - фібролітові $P(L)$.
Перекрыття	- дерев'яні $P(X)$;

(II)	- залізобетонні $P(Y)$.
Дах (D)	- дерев'яні $P(X)$; - залізобетонні $P(Y)$.
Покрівля (P)	- рулонна руберойдна $P(X)$; - хвильові азбестоцементні листи $P(Y)$; - мастичні $P(Z)$; - сталеві $P(V)$; - черепиця $P(L)$; - дранкові $P(H)$; - тесові $P(T)$.

На другому етапі визначаємо основні дефекти та пошкодження конструктивних елементів будівлі (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Основні дефекти та пошкодження елементів будівлі

Конструктивні елементи	Основні дефекти та пошкодження
1	2
Фундаменти (F)	- наявність тріщин, скривлення рядів кладки стін підвальних приміщень $X_F = (X_{11})$, $Y_F = (Y_{11})$, $Z_F = (Z_{11})$; - відхилення стіни від вертикалі $X_F = (X_{12})$, $Y_F = (Y_{12})$, $Z_F = (Z_{12})$; - наявність вогкості, випадіння окремих каменів кладки фундаментів і стін в підвальних приміщеннях $X_F = (X_{13})$, $Y_F = (Y_{13})$, $Z_F = (Z_{13})$; - наявність ґрунтових вод або ознак руйнування або підлоги в підвальних приміщеннях, наявність тріщин між цоколем будівлі і вимощенням $X_F = (X_{14})$, $Y_F = (Y_{14})$, $Z_F = (Z_{14})$; - відшарування штукатурного шару кам'яних стін та руйнування залізобетонних стінових панелей в підвальних приміщеннях $X_F = (X_{15})$, $Y_F = (Y_{15})$, $Z_F = (Z_{15})$; - течі в системі водопроводу, каналізації або теплофікації $X_F = (X_{16})$, $Y_F = (Y_{16})$, $Z_F = (Z_{16})$.
Зовнішні стіни (ZS)	- ураження гниллю відливної дошки, обшивки кутів і стиків внутрішніх стін $X_{ZS} = (X_{11})$, $Y_{ZS} = (Y_{11})$, $Z_{ZS} = (Z_{11})$, $V_{ZS} = (V_{11})$, $L_{ZS} = (L_{11})$; - продувність та сліди промерзання стін

	$X_{ZS} = (X_{12}), Y_{ZS} = (Y_{12}), Z_{ZS} = (Z_{12}), V_{ZS} = (V_{12}), L_{ZS} = (L_{12});$ - наявність тріщин в місцях сполучення цегляних стін та несучих конструкцій перекриття $X_{ZS} = (X_{13}), Y_{ZS} = (Y_{13}), Z_{ZS} = (Z_{13}), V_{ZS} = (V_{13}), L_{ZS} = (L_{13});$ - руйнування та випадіння або вивітрювання розчину із кладки стін $X_{ZS} = (X_{14}), Y_{ZS} = (Y_{14}), Z_{ZS} = (Z_{14}), V_{ZS} = (V_{14}), L_{ZS} = (L_{14});$ - відпадиння штукатурного шару стін $X_{ZS} = (X_{15}), Y_{ZS} = (Y_{15}), Z_{ZS} = (Z_{15}), V_{ZS} = (V_{15}), L_{ZS} = (L_{15});$ - сліди замокання стін $X_{ZS} = (X_{16}), Y_{ZS} = (Y_{16}), Z_{ZS} = (Z_{16}), V_{ZS} = (V_{16}), L_{ZS} = (L_{16});$ - відшарування облицювання плитки стін від кладки $X_{ZS} = (X_{17}), Y_{ZS} = (Y_{17}), Z_{ZS} = (Z_{17}), V_{ZS} = (V_{17}), L_{ZS} = (L_{17});$ - масове відшарування, вивітрювання розчині із стиків; пошкодження облицювання або фактурного шару панелей $X_{ZS} = (X_{18}), Y_{ZS} = (Y_{18}), Z_{ZS} = (Z_{18}), V_{ZS} = (V_{18}), L_{ZS} = (L_{18}).$
Внутрішні стіни (VS)	- масові сколи та наскрізні тріщини в місцях примикання к перекриттям $X_{VS} = (X_{11}), Y_{VS} = (Y_{11}), Z_{VS} = (Z_{11}), V_{VS} = (V_{11}), L_{VS} = (L_{11});$ - вибоїни, руйнування захисного шару панелей, тріщини по всій панелі $X_{VS} = (X_{12}), Y_{VS} = (Y_{12}), Z_{VS} = (Z_{12}), V_{VS} = (V_{12}), L_{VS} = (L_{12});$ - тріщини на поверхні, глибокі тріщини в місцях сполучення зі суміжними конструкціями $X_{VS} = (X_{13}), Y_{VS} = (Y_{13}), Z_{VS} = (Z_{13}), V_{VS} = (V_{13}), L_{VS} = (L_{13});$ - тріщини та відпадиння штукатурки стін $X_{VS} = (X_{14}), Y_{VS} = (Y_{14}), Z_{VS} = (Z_{14}), V_{VS} = (V_{14}), L_{VS} = (L_{14});$ - сліди замокання стін $X_{VS} = (X_{15}), Y_{VS} = (Y_{15}), Z_{VS} = (Z_{15}), V_{VS} = (V_{15}), L_{VS} = (L_{15});$ - зволоження деревини перегородок, ураження гниллю $X_{VS} = (X_{16}), Y_{VS} = (Y_{16}), Z_{VS} = (Z_{16}), V_{VS} = (V_{16}), L_{VS} = (L_{16}).$
Перекриття (П)	- ураження верхнього шару деревини, грибкові утворення, тріщини, часткове сколювання в вузлах сполучення балок з настилом, прогин балок і прогонів $X_{П} = (X_{11}), Y_{П} = (Y_{11});$ - усадкові тріщини, відпадиння та

	відшарування штукатурки, сліди замокання $X_{II} = (X_{12})$, $Y_{II} = (Y_{12})$; - усадкові тріщини в нижніх плитах $X_{II} = (X_{13})$, $Y_{II} = (Y_{13})$; - тріщини в плитах $X_{II} = (X_{14})$, $Y_{II} = (Y_{14})$; - зсув плит відносно одна іншої по висоті внаслідок деформації $X_{II} = (X_{15})$, $Y_{II} = (Y_{15})$.
Дах (D)	- ураження гниллю деревини, крокв, обрешітці, зволоження деревини $X_D = (X_{11})$, $Y_D = (Y_{11})$; - розсихання дерев'яних фронтонів даху $X_D = (X_{12})$, $Y_D = (Y_{12})$; - тріщини в залізобетонних крокв'яних балках і плитах протечки даху $X_D = (X_{13})$, $Y_D = (Y_{13})$; - тріщини в панелях, пробоїни, промерзання, прогини панелей $X_D = (X_{14})$, $Y_1 = (Y_{14})$;
Покрівля (P)	- вздуття поверхні, тріщини, розриви верхнього шару покрівлі $X_P = (X_{11})$, $Y_P = (Y_{11})$, $Z_P = (Z_{11})$, $V_P = (V_{11})$, $L_P = (L_{11})$, $H_P = (H_{11})$, $T_P = (T_{11})$; - відсутність окремих листів, відколи та тріщини, послаблення кріплення листів к обрешітці $X_P = (X_{12})$, $Y_P = (Y_{12})$, $Z_P = (Z_{12})$, $V_P = (V_{12})$, $L_P = (L_{12})$, $H_P = (H_{12})$, $T_P = (T_{12})$; - пошкодження окремих черепиць, пробоїни та ржавина в підвісних жолобах $X_P = (X_{13})$, $Y_P = (Y_{13})$, $Z_P = (Z_{13})$, $V_P = (V_{13})$, $L_P = (L_{13})$, $H_P = (H_{13})$, $T_P = (T_{13})$; - тріщини в дошках верхнього та нижнього ряду, наявність ржавини в металевих жолобах $X_P = (X_{14})$, $Y_P = (Y_{14})$, $Z_P = (Z_{14})$, $V_P = (V_{14})$, $L_P = (L_{14})$, $H_P = (H_{14})$, $T_P = (T_{14})$.

Третім етапом є визначення рекомендацій по результатам обстеження технічного стану конструктивних елементів будівлі (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Рекомендації по результатам обстеження елементів будівлі

Конструктивні елементи	Рекомендації по результатам обстеження
1	2
Фундаменти (F)	- розшивка тріщин, закладення вибоїн $R_{xF} = (R_{11})$, $R_{yF} = (R_{21})$, $R_{zF} = (R_{31})$; - ремонт штукатурки стін в підвалі $R_{xF} = (R_{12})$, $R_{yF} = (R_{22})$, $R_{zF} = (R_{32})$; - проведення підсилення фундаментів $R_{xF} = (R_{13})$, $R_{yF} = (R_{23})$, $R_{zF} = (R_{33})$; - ремонт горизонтальної та вертикальної гідроізоляції і вимощення $R_{xF} = (R_{14})$, $R_{yF} = (R_{24})$, $R_{zF} = (R_{34})$; - ремонт оголовків крокв $R_{xF} = (R_{15})$, $R_{yF} = (R_{25})$, $R_{zF} = (R_{35})$.
Зовнішні стіни (ZS)	- заміна відливної дошки, обшивки кутів та стиків $R_{xZS} = (R_{11})$, $R_{yZS} = (R_{21})$, $R_{zZS} = (R_{31})$, $R_{vZS} = (R_{41})$, $R_{lZS} = (R_{51})$; - ремонт штукатурки або розшивка швів $R_{xZS} = (R_{12})$, $R_{yZS} = (R_{22})$, $R_{zZS} = (R_{32})$, $R_{vZS} = (R_{42})$, $R_{lZS} = (R_{52})$; - ремонт цегляної кладки стін $R_{xZS} = (R_{13})$, $R_{yZS} = (R_{23})$, $R_{zZS} = (R_{33})$, $R_{vZS} = (R_{43})$, $R_{lZS} = (R_{53})$; - ремонт облицювання плитки стін $R_{xZS} = (R_{14})$, $R_{yZS} = (R_{24})$, $R_{zZS} = (R_{34})$, $R_{vZS} = (R_{44})$, $R_{lZS} = (R_{54})$; - ліквідувати причину замокання стін $R_{xZS} = (R_{15})$, $R_{yZS} = (R_{25})$, $R_{zZS} = (R_{35})$, $R_{vZS} = (R_{45})$, $R_{lZS} = (R_{55})$; - ремонт облицювання або фактурного шару, герметизація стиків $R_{xZS} = (R_{16})$, $R_{yZS} = (R_{26})$, $R_{zZS} = (R_{36})$, $R_{vZS} = (R_{46})$, $R_{lZS} = (R_{56})$.
Внутрішні стіни (VS)	- закладення та розшивка тріщин, посилення ослаблених місць перегородок $R_{xVS} = (R_{11})$, $R_{yVS} = (R_{21})$, $R_{zVS} = (R_{31})$, $R_{vVS} = (R_{41})$, $R_{lVS} = (R_{51})$; - розчищення поверхні та розшивка тріщин $R_{xVS} = (R_{12})$, $R_{yVS} = (R_{22})$, $R_{zVS} = (R_{32})$, $R_{vVS} = (R_{42})$, $R_{lVS} = (R_{52})$; - ремонт штукатурки стін $R_{xVS} = (R_{13})$, $R_{yVS} = (R_{23})$, $R_{zVS} = (R_{33})$, $R_{vVS} = (R_{43})$, $R_{lVS} = (R_{53})$; - ліквідувати причину замокання стін $R_{xVS} = (R_{14})$, $R_{yVS} = (R_{24})$, $R_{zVS} = (R_{34})$, $R_{vVS} = (R_{44})$, $R_{lVS} = (R_{54})$;

	- заміна згнилої деревини $R_{xVS} = (R_{15})$, $R_{yVS} = (R_{25})$, $R_{zVS} = (R_{35})$, $R_{vVS} = (R_{45})$, $R_{lVS} = (R_{55})$.
Перекриття (II)	- посилення балок, розборка та ремонт частин перекриття $R_{xII} = (R_{11})$, $R_{yII} = (R_{21})$; - затірка тріщин та відновлення штукатурного шару $R_{xII} = (R_{12})$, $R_{yII} = (R_{22})$; - заділка тріщин в плитах $R_{xII} = (R_{13})$, $R_{yII} = (R_{23})$; вирівнювання поверхні стелі $R_{xII} = (R_{14})$, $R_{yII} = (R_{24})$.
Дах (D)	- зміна мауерлата, частини крокв'яних ніг та суцільної обрешітки під настінним жолобом, часткова зміна рядової обрешітки $R_{xD} = (R_{11})$, $R_{yD} = (R_{21})$; - ремонт дерев'яних фронтонів даху $R_{xD} = (R_{12})$, $R_{yD} = (R_{22})$; - посилення залізобетонних крокв'яних балок та плит $R_{xD} = (R_{13})$, $R_{yD} = (R_{23})$; - заділка тріщин, посилення окремих плит $R_{xD} = (R_{14})$, $R_{yD} = (R_{24})$.
Покрівля (P)	- ремонт покрівлі місцями з відновленням верхнього захисного шару $R_{xP} = (R_{11})$, $R_{yP} = (R_{21})$, $R_{zP} = (R_{31})$, $R_{vP} = (R_{41})$, $R_{lP} = (R_{51})$, $R_{hP} = (R_{61})$, $R_{tP} = (R_{71})$; - ремонт листів кріплення, відновлення листів шиферу в місцях відсутності та пошкодження $R_{zP} = (R_{12})$, $R_{yP} = (R_{22})$, $R_{zP} = (R_{32})$, $R_{vP} = (R_{42})$, $R_{lP} = (R_{52})$, $R_{hP} = (R_{62})$, $R_{tP} = (R_{72})$; - перекладка з заміною окремих черепиць, ремонт підвісних жолобів $R_{xP} = (R_{13})$, $R_{yP} = (R_{23})$, $R_{zP} = (R_{33})$, $R_{vP} = (R_{43})$, $R_{lP} = (R_{53})$, $R_{hP} = (R_{63})$, $R_{tP} = (R_{73})$; - перестилання верхнього ряду з додаванням нового тесу $R_{xP} = (R_{14})$, $R_{yP} = (R_{24})$, $R_{zP} = (R_{34})$, $R_{vP} = (R_{44})$, $R_{lP} = (R_{54})$, $R_{hP} = (R_{64})$, $R_{tP} = (R_{74})$.

Четвертим етапом є визначення категорії технічного стану конструктивних елементів будівлі (K_i) (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Категорія визначення технічного стану елементів будівлі (K_i)

Конструктивні елементи (P_i)	Категорія (K_i)
1	2
Фундаменти (F)	($K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4$)
Зовнішні стіни (ZS)	($K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4$)
Внутрішні стіни (VS)	($K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4$)
Перекриття (Π)	($K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4$)
Дах (D)	($K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4$)
Покрівля (P)	($K_2, K_2/3, K_3, K_3/4, K_4$)

Кінцевим етапом за результатами обстеження технічного стану конструктивних елементів будівлі є визначення стану будівлі в цілому.

Стан будівлі визначається за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n P_i * K_p, \quad (2.1)$$

де S – стан будівлі; P_i – типи конструктивних елементів; K_p – категорія технічного стану.

2.2 Моделі та методи формування експертної оцінки при обстеженні технічного стану будівель

Існують декілька підходів до вирішення задач, які базуються на експертній обробці даних та побудові моделей та методів діагностики технічного стану будівель.

Одним з напрямків, що базуються на експертній обробці даних, в реалізації комплексу задач по безпечній експлуатації будівель є моделі та методи формування експертної оцінки при обстеженні технічного стану будівель. Перевага цього підходу полягає в задачі створення системи діагностики технічного стану будівель; дослідженні інтелектуальної технології при реалізації інформаційної системи управління обстеження та діагностики технічного стану будівель; проведення досліджень експертних систем.

В зв'язку з цим розглянемо підхід експертної оцінки обстеження технічного стану об'єктів будівництва. При такому підході з'являється можливість отримання результатів ознак пошкодження при різних варіантах і при різних ознаках та співставлення результатів заданими спочатку. Це дозволяє вести процес спостереження та своєчасно приймати необхідні

рішення щодо безпечної та надійної експлуатації будівель і створення нормальних умов перебування обслуговуючого персоналу, враховуючи результати обстеження будівель.

При побудові експертної оцінки формується експертна група, яка після проведення попереднього огляду будівлі та визначення необхідних обсягів робіт, на другому етапі обстеження, визначають дефекти та пошкодження основних конструктивних елементів будівлі.

Метод формування експертної оцінки при обстеженні технічного стану будівель (етапи):

1. Формування ознак пошкоджень (ранжування) – (m).
2. Формування експертної групи:
 - призначається кількість експертів (h);
 - в залежності від відповідей експертів формується матриця-рядок по кожній j -тій ознаці пошкодження:

$$Y_j = |a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{hj}| \quad (2.2);$$

- знаходиться середнє значення оцінок групи по j -тій ознаці пошкодження:

$$A_j = (\sum_{t=1}^h a_{tj})/h \quad (2.3);$$

- визначається відхилення оцінки кожного експерта від середнього значення оцінок групи по всім j -тим ознакам пошкодження $\Delta_{tj} = |a_{tj} - A_j|$, в результаті формується матриця відхилень:

$$D = ||D_j|| = \left| \begin{array}{cccc} \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{h1} \\ \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{h2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{1m} & \Delta_{2m} & \dots & \Delta_{hm} \end{array} \right| \quad (2.4);$$

- знаходиться середнє відхилення оцінок кожного експерта за всіма ознакам пошкодження від середнього значення оцінок групи:

$$\bar{\Delta} = \left(\sum_{j=1}^m \bar{\Delta} \right) / m \quad (2.5);$$

в результаті отримана матриця-рядок:

$$\bar{D} = |\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2, \dots, \bar{\Delta}_h| \quad (2.6);$$

- експерти нумеруються за ступенем віддаленості їх оцінок від середнього значення оцінок групи. В підсумку встановлюється кортеж компетентності експертів:

$$\bar{D}^* = |\bar{\Delta}_1^*, \bar{\Delta}_2^*, \dots, \bar{\Delta}_h^*| \quad (2.7);$$

- визначається середнє значення коефіцієнта впевненості. Коефіцієнт впевненості визначається в залежності від ознак фізичного

зношення та правил оцінки технічного стану основних конструктивних елементів будівлі, як правило, приймається рівним 0,5 ($F=0,5$). При $F < 0,5$ експертну групу переформовують шляхом виключення із списку останніх номерів експертів, в яких спостерігається різке відхилення відповідей від середньої думки групи.

3. Формування правил роботи експертної групи (табл. 2.6):

- впорядковуються ознаки пошкодження, починаючи з найменшого важливого $x_1 < x_2 < \dots < x_m$ (2.8);

- приписуються ранги a_i ($a_1=1; a_2=1; \dots a_m=1$) (2.9);

- визначаються вагові коефіцієнти ознак пошкодження a_j ($j = \overline{1, m}$) за формулою:

$$a_j = \sum_{t=1}^h a_{jt} / \left(\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^h a_{jt} \right) \quad (2.10).$$

Таблиця 2.6

Формування правил роботи експертної групи

Номер ознаку пошкодження	Умовні позначення ознаку пошкодження	Номер експерта					Вагові коефіцієнти
		1	2	...	...	j	
1	m_1	h_{11}	h_{12}	...	...	h_{1j}	a_1
2	m_2	h_{21}	h_{22}	...	...	h_{2j}	a_2
...	...	...	...	...	...	...	...
n	m_i	h_{i1}	h_{i2}	...	...	h_{ij}	a_j

4. Оцінка ступеню узгодженості думок експертів (табл. 2.7):

- результати ранжування представляються у вигляді матриці рангів;
- визначається відповідно сума рангів по кожній j-тій ознаці пошкодження і середня сума рангів:

$$Q_j = \sum_{t=1}^h a_{jt}, \quad (2.11),$$

де Q_j – сума рангів;

$$T = \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^h a_{jt} / m, \quad (2.12),$$

де T – середня сума рангів.

- розраховується сума квадратів відхилень:

$$S_E = \sum_{j=1}^m \delta_j^2 = \sum_{j=1}^m (Q_j - T)^2 \quad (2.13);$$

- визначається коефіцієнт впевненості:

$$F = 12S_E / \left\{ h^2 (m^3 - m) \right\} \quad (2.14).$$

Таблиця 2.7

Оцінка ступеню узгодженості думок експертів

Номер ознаку пошкодження	Умовні позначення ознаку пошкодження	Номер експерта					Сума рангів	Відхилення суми рангів	Квадрат відхилення
		1	2	...	...	j			
1	m_1	h_{11}	h_{12}	...	...	h_{1j}	Q_1	$Q_1 - T$	$(Q_1 - T)^2$
2	m_2	h_{21}	h_{22}	...	...	h_{2j}	Q_2	$Q_2 - T$	$(Q_2 - T)^2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	m_i	h_{i1}	h_{i2}	...	...	h_{ij}	Q_j	$Q_j - T$	$(Q_j - T)^2$
Середня сума рангів							T		
Сума квадратів відхилень									S_E

Якщо $F > 0,5$, то існує достатня ступінь узгодженості між думками експертів. Якщо $F < 0,5$, то група експертів корегується шляхом виключення останнього експерта в кортежі, перераховується коефіцієнт впевненості і таке інше, до отримання необхідного ступеню узгодженості.

Якщо експерт не може вказати порядок спадання двох або декількох ознак пошкодження, він приписує кожному із них однаковий ранг.

В цьому випадку коефіцієнт впевненості розраховують за залежності:

$$F = S_E / \left(\frac{1}{12} h^2 (m^3 - m) - h \sum_{t=1}^h T_t \right) \quad (2.15),$$

$$T_t = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^m (Z_j^3 - Z_j) \quad (2.16),$$

де Z_j – число однакових рангів в t -м ранжуванні.

2.2.1 Приклад експертної оцінки обстеження технічного стану складської будівлі

При формуванні експертної оцінки обстеженню технічного стану будівель можуть підлягати об'єкти громадського (житлові, адміністративні та громадські організації) та виробничого призначення (промислові підприємства, виробничі цехи, заводи, фабрики, гаражі).

Основними ознаками пошкодження при обстеженні будь-якої будівлі є: тріщина в цоколі фундаменту (m_1), тріщина в стіні (m_2), тріщина в плиті перекриття (m_3), тріщина в залізобетонних кроквяних балках даху (m_4), тому прийемо ці ознаки пошкодження в якості основних при оцінці.

На рис. 2.3. представлений зовнішній вигляд складської будівлі та виявленні ознаки пошкодження при обстеженні.

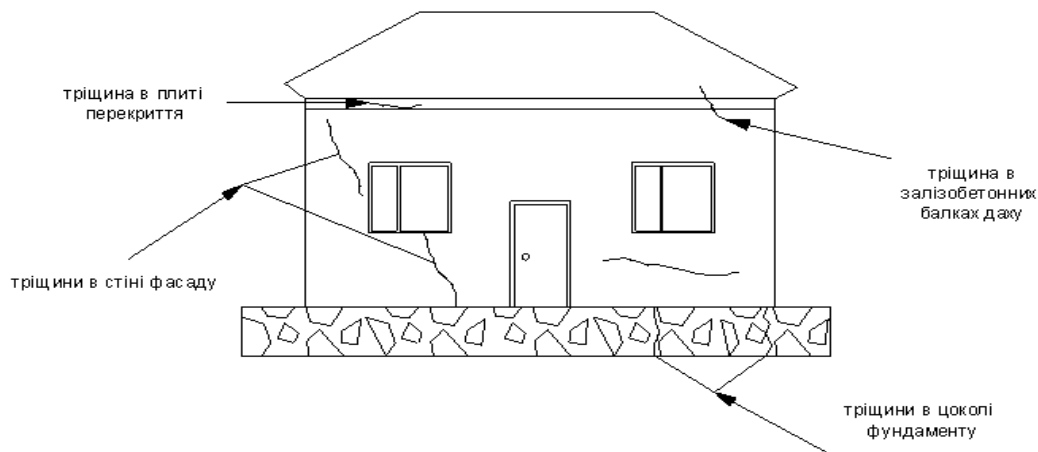


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд складської будівлі, виявленні ознаки пошкодження

При обстеженні технічного стану будівель в спеціалізованих організаціях, що займаються питаннями обстеження, існують підрозділи в яких, як правило формуються експертна група з 2 – 5 чоловік, тому на основі проведеного опитування експертної групи (сформована із п'яти спеціалістів):

- I – експерт – завідуючий відділом, канд. техн. наук;
- II – експерт – головний інженер;
- III – експерт – інженер I – ої категорії;
- IV – експерт – інженер;
- V – експерт – мол. наук. співробітник.

складені матриці рядку оцінок експертів по кожній j -тій ознаці пошкодження згідно виду (2.2):

$$V_1 = | 0,41 \quad 0,37 \quad 0,05 \quad 0,44 \quad 0,33 | ;$$

$$V_2 = | 0,21 \quad 0,33 \quad 0,11 \quad 0,23 \quad 0,30 | ;$$

$$V_3 = | 0,10 \quad 0,08 \quad 0,33 \quad 0,13 \quad 0,05 | ;$$

$$V_4 = | 0,16 \quad 0,17 \quad 0,21 \quad 0,06 \quad 0,21 | ;$$

Середнє значення оцінок групи по кожній ознаці пошкодження відповідно будуть становлять згідно виду (2.3):

$$A_1 = (0,41 + 0,37 + 0,05 + 0,44 + 0,33)/5 = 0,320;$$

$$A_2 = (0,21 + 0,33 + 0,11 + 0,23 + 0,30)/5 = 0,236;$$

$$A_3 = (0,10 + 0,08 + 0,33 + 0,13 + 0,05)/5 = 0,138;$$

$$A_4 = (0,16 + 0,17 + 0,21 + 0,06 + 0,21)/5 = 0,162.$$

Після визначення відхилень оцінок кожного експерта від середнього значення оцінок групи Δ_{ij} по кожній ознаці пошкодження отримана матриця відхилень згідно виду (2.4):

$$\Delta_{11} = (0,41 - 0,32) = 0,09; \Delta_{21} = (0,37 - 0,32) = 0,05; \Delta_{31} = (0,05 - 0,32) = 0,27; \Delta_{41} = (0,44 - 0,32) = 0,12; \Delta_{51} = (0,33 - 0,32) = 0,01;$$

$$\Delta_{12} = 0,026; \Delta_{22} = 0,094; \Delta_{32} = 0,126; \Delta_{42} = 0,006; \Delta_{52} = 0,064;$$

$$\Delta_{13} = 0,038; \Delta_{23} = 0,058; \Delta_{33} = 0,192; \Delta_{43} = 0,008; \Delta_{53} = 0,088;$$

$$\Delta_{14} = 0,002; \Delta_{24} = 0,008; \Delta_{34} = 0,048; \Delta_{44} = 0,102; \Delta_{54} = 0,048;$$

$$D = \begin{vmatrix} 0,090 & 0,050 & 0,270 & 0,120 & 0,010 \\ 0,026 & 0,094 & 0,126 & 0,006 & 0,064 \\ 0,038 & 0,058 & 0,192 & 0,008 & 0,088 \\ 0,002 & 0,008 & 0,048 & 0,102 & 0,048 \end{vmatrix}$$

Обчислені середні відхилення оцінок кожного експерта по всім ознакам пошкодження від середнього значення оцінок групи мають наступні значення згідно виду (2.5):

$$\overline{\Delta_1} = (0,090 + 0,026 + 0,038 + 0,002) / 4 = 0,039;$$

$$\overline{\Delta_2} = (0,050 + 0,094 + 0,058 + 0,008) / 4 = 0,053;$$

$$\overline{\Delta_3} = (0,270 + 0,126 + 0,192 + 0,048) / 4 = 0,159;$$

$$\overline{\Delta_4} = (0,120 + 0,006 + 0,008 + 0,102) / 4 = 0,059;$$

$$\overline{\Delta_5} = (0,010 + 0,064 + 0,088 + 0,048) / 4 = 0,052.$$

В результаті встановлена матриця – рядок згідно виду (2.6):

$$\overline{D} = [0,039 \ 0,053 \ 0,159 \ 0,059 \ 0,052].$$

Аналіз отриманих результатів дозволяє скласти кортеж компетентності експертів згідно виду (2.7): $\overline{D}^* = \langle 1,5,2,4,3 \rangle$.

Проведені експертами ранжування ознак пошкодження по важливості та значення вагових коефіцієнтів ознак пошкодження a_j представлені в табл. 2.8 згідно виду (2.8 – 2.10).

Таблиця 2.8

Результати ранжування ознак пошкодження експертами та значення вагових коефіцієнтів

Номер ознаку пошкодження	Умовні позначення ознаку пошкодження	Номер експерта					Вагові коефіцієнти
		1	5	2	4	3	
1	m_1	5	5	5	5	1	0,350
2	m_2	4	4	4	4	2	0,300
3	m_3	1	2	1	2	2	0,133
4	m_4	3	1	3	3	3	0,217

При оцінці ступеню узгодженості думок експертів були використані залежності четвертого етапу. Результати розрахунків зведені в табл. 2.9 згідно виду (2.11 – 2.14).

Таблиця 2.9

Оцінка ступеню узгодженості експертів

Номер ознаку пошкодження	Умовні позначення ознаку пошкодження	Номер експерта					Сума рангів	Відхилення суми рангів	Квадрат відхилення
		1	5	2	4	3			
1	m_1	5	5	5	5	1	21	9	81
2	m_2	4	4	4	4	2	18	6	36
3	m_3	1	2	1	2	2	8	- 4	16
4	m_4	3	1	3	3	3	13	1	1
Середня сума рангів							12		
Сума квадратів відхилень									134

Оскільки ні один із експертів не поставив двом або більше ознакам пошкодження однакові ранги, то для знаходження коефіцієнта впевненості використовуємо вираз згідно виду (2.14):

$$F = 12 * 134 / 5^2 * (4^3 - 4) = 1608 / 1500 = 1,072.$$

Так як $F > 0,5$, то існує достатня узгодженість між експертами і отримані результати приймаються в якості кінцевих.

Основні ознаки пошкодження приймають кількісну оцінку:

- тріщина в цоколі фундаменту = 0,350;
- тріщина в стіні = 0,300;
- тріщина в плиті перекриття = 0,133;
- тріщина в залізобетонних кроквяних балках даху = 0,217.

Таким чином, при такому підході з'являється можливість отримання результатів ознак пошкодження при різних варіантах і при різних ознаках і співставлення результатів заданими спочатку. Це дозволяє вести процес спостереження та своєчасно приймати необхідні рішення щодо безпечної та надійної експлуатації будівель, враховуючи результати обстеження.

2.3 Моделі структури властивостей будівлі при проведенні обстеження для вирішення задач діагностики

Знос будівель прискорюється при прояві дефектів, що були допущені в ході дослідження та вибору ділянок для будівництва, при проектуванні і зведенні будівель, а також через порушення правил експлуатації.

Дефекти будівель в нормальних умовах є наслідком або недостатньої кваліфікації дослідників, проектувальників, працівників, що приймають будівлі в експлуатацію, або недбалості цих осіб. Дефекти можуть виникати також в процесі проектування та будівництва будівель при здійсненні в них виробництва робіт по новій технології, зведенні в маловивчених в будівельному відношенні районах та в інших складних умовах.

Найбільш небезпечні дефекти в основах і фундаментах, в стінах, тобто в основних конструкціях, оскільки їх прояв веде до деформацій і руйнування всієї будівлі. Менш небезпечні дефекти в перегородках та інших ненесучих конструкціях.

При експлуатації будівель важливо оцінити характер і небезпеку пошкоджень. Причини, що викликають пошкодження наступні: дії зовнішніх чинників; дії внутрішніх чинників, обумовлених технологічним процесом; прояв дефектів, допущених при дослідженнях, проектуванні, зведенні будівлі; недоліки і порушення правил експлуатації будівель.

Тому побудова моделей структури властивостей в області проведення обстеження технічного стану будівель повинні привести до покращення всього спектру кількісних та якісних показників даної системи.

Існують декілька підходів до вирішення задач, які базуються на експертній обробці даних та побудові моделей структури властивостей при проведенні обстеження для вирішення задач діагностики.

Розглянемо функціонування даної системи, де h – кількість експертів. В залежності від ситуації система характеризується властивостями $I_i = \{1, 2, \dots, n\}$ (категорія технічного стану) та $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$ (ширина розкриття тріщин).

Маючи в якості вихідних даних вектори I_i (категорія технічного стану) і V_i (ширина розкриття тріщин) по всіх ситуаціях h_i (кількість експертів), можна для кожної з них визначити вектор вагових коефіцієнтів $\Delta_i = \{\lambda_{i1}, \lambda_{i2}, \dots, \lambda_{in}\}$, який представляє собою n – мірний вектор, де компоненти його пов'язані відношеннями:

$$\left| \begin{array}{l} 0 \leq \lambda_{iq} \leq 1, \quad q = \overline{1, n}; \\ \sum_{q=1}^n \lambda_{iq} = 1. \end{array} \right. \quad (2.17)$$

Складові λ_{iq} вектора Δ_i мають зміст вагових коефіцієнтів, що визначають відносну перевагу q -ї властивості над іншими. Знаходяться вони за допомогою залежності:

$$\lambda_{iq} = \frac{\prod_{l=1}^n v_{il}}{\sum_{q=1}^n \prod_{l=q}^n v_{il}}, \quad q = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.18)$$

В результаті розрахунків значень вагових коефіцієнтів по кожній типовій ситуації знаходиться матриця виду:

$$A = \begin{vmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{m1} & \lambda_{m2} & \dots & \lambda_{mn} \end{vmatrix}, \quad (2.19)$$

де λ_{kj} – вага j -ї властивості в k -ї типовій ситуації функціонування системи.

Для того, щоб сформувати структуру властивостей системи, враховуючи різні типові ситуації її функціонування, необхідно отримати узагальнені ваги λ_j^* ($j=\overline{1,n}$) кожної властивості, що найбільш повно враховують інформацію, закладену в матрицю A .

На основі матриці A визначається рівень кожної властивості:

$$H_j = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_{ij} \ln \lambda_{ij}, \quad (i=\overline{1,m}, j=\overline{1,n}). \quad (2.20)$$

Оскільки $0 \leq H_j \leq 1$ ($j=\overline{1,n}$), то логічно знайти рівень змінюваності j – ої властивості в межах задачі, що розглядається:

$$d_j = 1 - H_j \quad (j=\overline{1,n}). \quad (2.21)$$

Тоді узагальнені ваги властивостей можна обчислити за формулою:

$$\alpha_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad j=\overline{1,n}, \quad (2.22)$$

яка справедлива при умові, що всі ситуації вважаються однаково значущими, тобто немає експертних оцінок їх пріоритету. Якщо відомі ці оцінки, то доцільно знайти комплексну вагомість:

$$\lambda_j^* = \frac{\overline{\alpha_j} \alpha_j}{\sum_{j=1}^n \overline{\alpha_j} \alpha_j}, \quad j=\overline{1,n}. \quad (2.23)$$

Тут вектор $\overline{\alpha} = \{\overline{\alpha_1}, \overline{\alpha_2}, \dots, \overline{\alpha_n}\}$ можна визначити за матрицею експертних оцінок кожної ситуації. Якщо провести групову експертизу, в якій кожний із s членів експертної комісії призначає свої значення коефіцієнтів, що задовольняють умовам:

$$\sum_{j=1}^n \overline{\alpha_{kj}} = 1, \quad \overline{\alpha_{kj}} \geq 0, \quad j=\overline{1,n}, \quad k=\overline{1,s}, \quad (2.24)$$

то в результаті буде отримана матриця експертних оцінок:

$$A = \begin{vmatrix} \bar{\alpha}_{11} & \bar{\alpha}_{12} & \dots & \bar{\alpha}_{1n} \\ \bar{\alpha}_{21} & \bar{\alpha}_{22} & \dots & \bar{\alpha}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{\alpha}_{m1} & \bar{\alpha}_{m2} & \dots & \bar{\alpha}_{mn} \end{vmatrix}, \quad (2.25)$$

де $\bar{\alpha}_{kj}$ – експертна оцінка відносної значимості j -ї ситуації, запропонована k -м експертом.

Для визначення оптимально - компромісних вагових коефіцієнтів $\bar{\alpha}^*$, що виражають “колективну думку”, задається схема компромісу $F(A, \bar{\alpha}^*)$ і вирішується екстремальна задача:

$$F(A, \bar{\alpha}^*) = \min_{\bar{\alpha} \in D} F(A, \bar{\alpha}), \quad (2.26)$$

де вектор D має наступний вигляд:

$$D = \left\{ \bar{\alpha} \left| \sum_{j=1}^n \bar{\alpha}_j = 1, \bar{\alpha}_j \geq 1, j = \overline{1, n} \right. \right\}. \quad (2.27)$$

Дана схема компромісу $F(A, \bar{\alpha})$ є деякою мірою зближення між довільним вектором $\bar{\alpha} \in D$ та елементами матриці A . В якості міри зближення $F(A, \bar{\alpha})$ може слугувати функція:

$$F(A, \bar{\alpha}) = \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n (\bar{\alpha}_{kj} - \bar{\alpha}_j)^2. \quad (2.28)$$

Тоді оптимальним вирішенням задачі (2.28) буде вектор середніх значень по елементам стовбчиків матриці A :

$$\bar{\alpha}_j^* = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s \bar{\alpha}_{kj}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.29)$$

Для врахування кваліфікації експертів доцільно ввести коефіцієнти їх компетентності:

$$h_k > 0, \quad k = \overline{1, s}, \quad \sum_{k=1}^s h_k = 1. \quad (2.30)$$

Значення $\bar{\alpha}_j^*$ розраховуються за формулою:

$$\bar{\alpha}_j^* = \sum_{k=1}^s \bar{\alpha}_{kj} h_k. \quad (2.31)$$

Отриманий вектор $\Lambda^* = \{\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_n^*\}$, використовується в якості вихідної інформації для формування структури властивостей системи, оскільки вага λ_j^* вказує положення j -ї властивості в загальній структурі властивостей.

Процедуру побудови моделей структури властивостей для експертної системи можливо розглянути на прикладі обстеження технічного стану складської будівлі.

В організаціях, які займаються обстеженням, існують підрозділи в яких, як правило, формуються експертна група з 2 – 5 чоловік, що проводить обстеження технічного стану будівель (рис. 2.4).

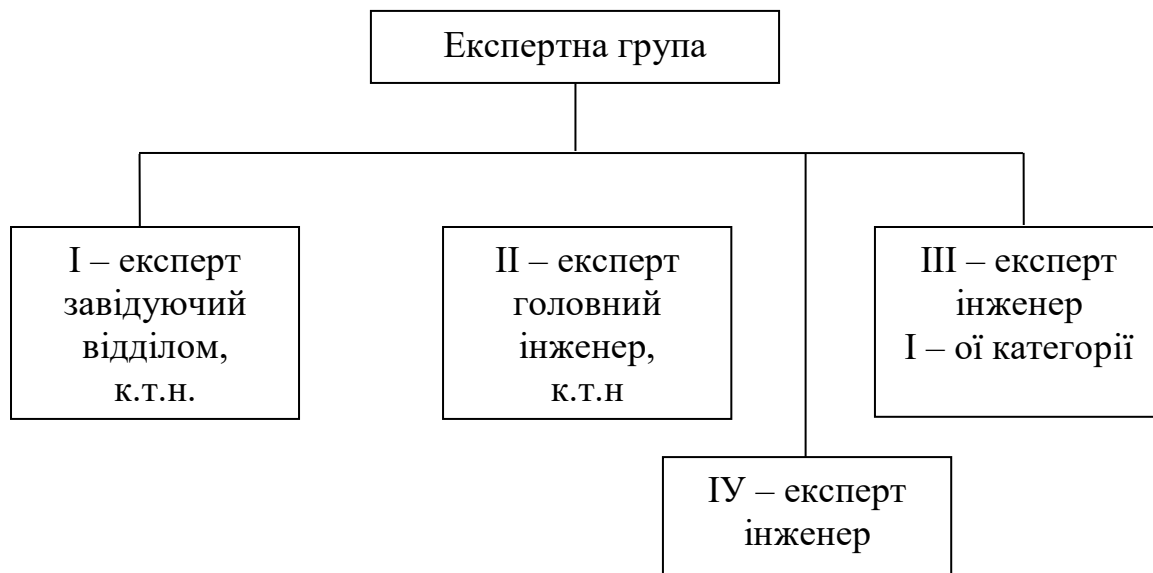


Рис. 2.4. Структурна схема експертної групи, що формується в спеціалізованих організаціях

На рис. 2.5 представлені п'ять суттєвих ознак пошкодження основних конструктивних елементів будівлі, що розглядається.



Рис. 2.5. Схема ознак пошкодження конструктивних елементів складської будівлі

Кожен з чотирьох експертів при проведенні обстеженні п'яти конструктивних елементів визначає ширину розкриття тріщини елемента та ставить у відповідність категорію технічного стану даного обстежуемого конструктивного елемента (2, 2/3, 3, 3/4, 4).

Результати експертних оцінок (H) категорії технічного стану (I), ширини розкриття тріщин (V) та ознак пошкодження (M) зведені в табл. 2.10.

По залежності (2.18) знайдені компоненти вагового вектора λ_{ij} для кожного з чотирьох експертів, тобто:

I – експерт

$$\begin{aligned}\lambda_{11} &= V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 = \\ &= 1.5 * 2.5 * 3.5 * 2.0 * 2.7 / 1.5 * 2.5 * 3.5 * 2.0 * 2.7 + 2.5 * 3.5 * 2.0 * 2.7 + \\ &\quad + 3.5 * 2.0 * 2.7 + 2.0 * 2.7 + 2.7 = 70.88 / 145.13 = 0.488;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{12} &= V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 = \\ &= 2.5 * 3.5 * 2.0 * 2.7 / 145.13 = 0.325;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{13} &= V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 = \\ &= 3.5 * 2.0 * 2.7 / 145.13 = 0.130;\end{aligned}$$

Таблиця 2.10

Значення компонент вагових векторів

Експерти		Ознаки пошкодження				
		m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
h_1	I	2	3	3/4	2/3	2/3
	V	1.5	2.5	3.5	2.0	2.7
	λ	0.488	0.325	0.130	0.037	0.018
h_2	I	3	4	2/3	3	2
	V	3.0	3.9	2.2	2.8	2.0
	λ	0.679	0.226	0.058	0.026	0.009
h_3	I	4	3/4	2	2	3/4
	V	4.0	3.0	1.8	2.0	3.5
	λ	0.713	0.179	0.059	0.033	0.016
h_4	I	2/3	2	4	4	3
	V	2.0	1.5	4.0	3.5	2.7
	λ	0.515	0.258	0.172	0.043	0.012

$$\begin{aligned}\lambda_{14} &= V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 = \\ &= 2.0 * 2.7 / 145.13 = 0.037;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{15} &= V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 = \\ &= 2.7 / 145.13 = 0.018.\end{aligned}$$

II – експерт

$$\lambda_{21} = V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 3.0 * 3.9 * 2.2 * 2.8 * 2.0 / 3.0 * 3.9 * 2.2 * 2.8 * 2.0 + 3.9 * 2.2 * 2.8 * 2.0 +$$

$$+ 2.2 * 2.8 * 2.0 + 2.8 * 2.0 + 2.0 = 144.14 / 212.11 = 0.679;$$

$$\lambda_{22} = V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 3.9 * 2.2 * 2.8 * 2.0 / 212.11 = 0.226;$$

$$\lambda_{23} = V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 2.2 * 2.8 * 2.0 / 212.11 = 0.058;$$

$$\lambda_{24} = V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 2.8 * 2.0 / 212.11 = 0.026;$$

$$\lambda_{25} = V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 2.0 / 212.11 = 0.009.$$

III – експерт

$$\lambda_{31} = V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 4.0 * 3.0 * 1.8 * 2.0 * 3.5 / 4.0 * 3.0 * 1.8 * 2.0 * 3.5 + 3.0 * 1.8 * 2.0 * 3.5 +$$

$$+ 1.8 * 2.0 * 3.5 + 2.0 * 3.5 + 3.5 = 151.20 / 212.10 = 0.713;$$

$$\lambda_{32} = V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 3.0 * 1.8 * 2.0 * 3.5 / 212.10 = 0.179;$$

$$\lambda_{33} = V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 1.8 * 2.0 * 3.5 / 212.10 = 0.059;$$

$$\lambda_{34} = V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 2.0 * 3.5 / 212.10 = 0.033;$$

$$\lambda_{35} = V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 3.5 / 212.10 = 0.016.$$

IV – експерт

$$\lambda_{41} = V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 2.0 * 1.5 * 4.0 * 3.5 * 2.7 / 2.0 * 1.5 * 4.0 * 3.5 * 2.7 + 1.5 * 4.0 * 3.5 * 2.7 +$$

$$+ 4.0 * 3.5 * 2.7 + 3.5 * 2.7 + 2.7 = 113.40 / 220.05 = 0.515;$$

$$\lambda_{42} = V_2 V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 1.5 * 4.0 * 3.5 * 2.7 / 220.05 = 0.258;$$

$$\lambda_{43} = V_3 V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 4.0 * 3.5 * 2.7 / 220.05 = 0.172;$$

$$\lambda_{44} = V_4 V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 3.5 * 2.7 / 220.05 = 0.043;$$

$$\lambda_{45} = V_5 / V_1 V_2 V_3 V_4 V_5 + V_2 V_3 V_4 V_5 + V_3 V_4 V_5 + V_4 V_5 + V_5 =$$

$$= 2.7 / 220.05 = 0.012.$$

На основі матриці λ визначається рівень кожної властивості H_j , які зведені в табл. 2.11 згідно виду (2.20 – 2.24):

Таблиця 2.11

Результати розрахунків вагових коефіцієнтів

	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
H_j	0.300	0.340	0.225	0.116	0.058
d_j	0.700	0.660	0.775	0.884	0.942
a_j	0.177	0.167	0.196	0.223	0.238
α_j^*	0.410	0.266	0.078	0.166	0.123
$\alpha_j^0 = \lambda_j^*$	1.84	1,11	0.379	0.934	0.732

$$\begin{aligned}
H_1 &= -1/4 [\lambda_{11} \ln \lambda_{11} + \lambda_{21} \ln \lambda_{21} + \lambda_{31} \ln \lambda_{31} + \lambda_{41} \ln \lambda_{41}] = \\
&= -1/4 [0.488*(-0.717) + 0.679*(-0.387) + 0.713*(-0.338) + 0.515* \\
&\quad * (-0.663)] = -1/4 [-0.350-0.263-0.241-0.341] = -1/4 * (-1.200) = 0.300 ; \\
H_2 &= -1/4 [\lambda_{21} \ln \lambda_{21} + \lambda_{22} \ln \lambda_{22} + \lambda_{32} \ln \lambda_{32} + \lambda_{42} \ln \lambda_{42}] = \\
&= -1/4 [0.325*(-1.120) + 0.226*(-1.490) + 0.179*(-1.720) + 0.258* \\
&\quad * (-1.350)] = -1/4 * (-1.360) = 0.340 ; \\
H_3 &= -1/4 [\lambda_{31} \ln \lambda_{31} + \lambda_{23} \ln \lambda_{23} + \lambda_{33} \ln \lambda_{33} + \lambda_{43} \ln \lambda_{43}] = \\
&= -1/4 [0.130*(-2.04) + 0.058*(-2.85) + 0.059*(-2.83) + 0.172*(-1.76)] = \\
&= -1/4 * (-0.900) = 0.225 ; \\
H_4 &= -1/4 [\lambda_{41} \ln \lambda_{41} + \lambda_{24} \ln \lambda_{24} + \lambda_{34} \ln \lambda_{34} + \lambda_{44} \ln \lambda_{44}] = \\
&= -1/4 [0.037*(-3.30) + 0.026*(-3.65) + 0.033*(-3.41) + 0.043*(-3.15)] = \\
&= -1/4 * (-0.464) = 0.116 ; \\
H_5 &= -1/4 [\lambda_{51} \ln \lambda_{51} + \lambda_{25} \ln \lambda_{25} + \lambda_{35} \ln \lambda_{35} + \lambda_{45} \ln \lambda_{45}] = \\
&= -1/4 [0.018*(-4.02) + 0.009*(-4.71) + 0.016*(-4.13) + 0.012*(-4.42)] = \\
&= -1/4 * (-0.233) = 0.058 . \\
d_1 &= 1 - H_1 = 1 - 0.300 = 0.700; d_2 = 1 - H_2 = 1 - 0.340 = 0.660; \\
d_3 &= 1 - H_3 = 1 - 0.225 = 0.775; d_4 = 1 - H_4 = 1 - 0.116 = 0.884; \\
d_5 &= 1 - H_5 = 1 - 0.058 = 0.942.
\end{aligned}$$

Подальше розраховуємо узагальнені ваги, тобто:

$$\begin{aligned}
a_1 &= d_1 / d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 = 0.700 / 0.700 + 0.660 + 0.775 + \\
&\quad + 0.884 + 0.942 = 0.700 / 3.961 = 0.177; \\
a_2 &= d_2 / d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 = 0.660 / 0.700 + 0.660 + 0.775 + \\
&\quad + 0.884 + 0.942 = 0.660 / 3.961 = 0.167; \\
a_3 &= d_3 / d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 = 0.775 / 0.700 + 0.660 + 0.775 + \\
&\quad + 0.884 + 0.942 = 0.775 / 3.961 = 0.196; \\
a_4 &= d_4 / d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 = 0.884 / 0.700 + 0.660 + 0.775 + \\
&\quad + 0.884 + 0.942 = 0.884 / 3.961 = 0.223; \\
a_5 &= d_5 / d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 = 0.942 / 0.700 + 0.660 + 0.775 + \\
&\quad + 0.884 + 0.942 = 0.942 / 3.961 = 0.238.
\end{aligned}$$

Враховуючи експертну інформацію про значимість властивостей, визначається комплексна значимість λ_j^* , яка зведена в таблиці 2.11 згідно виду (2.25 – 2.31):

$$A = \begin{vmatrix} 0.41 & 0.21 & 0.10 & 0.16 & 0.12 \\ 0.37 & 0.33 & 0.08 & 0.17 & 0.282 \\ 0.50 & 0.26 & 0.03 & 0.15 & 0.04 \\ 0.44 & 0.23 & 0.13 & 0.14 & 0.06 \\ 0.33 & 0.30 & 0.05 & 0.21 & 0.11 \end{vmatrix};$$

$$\begin{aligned} \lambda_1^* &= \bar{a}_1 a_1 / 1/5 [\bar{a}_1 a_1 + \bar{a}_2 a_2 + \bar{a}_3 a_3 + \bar{a}_4 a_4 + \bar{a}_5 a_5] = 0.177 * 0.41 / \\ &/ 0.2 * [0.177 * 0.41 + 0.167 * 0.266 + 0.196 * 0.078 + 0.223 * 0.166 + 0.238 * 0.123] = 1.84; \\ \lambda_2^* &= \bar{a}_2 a_2 / 1/5 [\bar{a}_1 a_1 + \bar{a}_2 a_2 + \bar{a}_3 a_3 + \bar{a}_4 a_4 + \bar{a}_5 a_5] = 0.167 * 0.266 / \\ &/ 0.2 * [0.177 * 0.41 + 0.167 * 0.266 + 0.196 * 0.078 + 0.223 * 0.166 + 0.238 * 0.123] = 1.11; \\ \lambda_3^* &= \bar{a}_3 a_3 / 1/5 [\bar{a}_1 a_1 + \bar{a}_2 a_2 + \bar{a}_3 a_3 + \bar{a}_4 a_4 + \bar{a}_5 a_5] = 0.196 * 0.078 / \\ &/ 0.2 * [0.177 * 0.41 + 0.167 * 0.266 + 0.196 * 0.078 + 0.223 * 0.166 + 0.238 * 0.123] = 0.379; \\ \lambda_4^* &= \bar{a}_4 a_4 / 1/5 [\bar{a}_1 a_1 + \bar{a}_2 a_2 + \bar{a}_3 a_3 + \bar{a}_4 a_4 + \bar{a}_5 a_5] = 0.223 * 0.166 / \\ &/ 0.2 * [0.177 * 0.41 + 0.167 * 0.266 + 0.196 * 0.078 + 0.223 * 0.166 + 0.238 * 0.123] = 0.934; \\ \lambda_5^* &= \bar{a}_5 a_5 / 1/5 [\bar{a}_1 a_1 + \bar{a}_2 a_2 + \bar{a}_3 a_3 + \bar{a}_4 a_4 + \bar{a}_5 a_5] = 0.238 * 0.123 / \\ &/ 0.2 * [0.177 * 0.41 + 0.167 * 0.266 + 0.196 * 0.078 + 0.223 * 0.166 + 0.238 * 0.123] = 0.732. \end{aligned}$$

Запропоновані моделі та методи діагностики технічного стану будівель, які були підтверджені на прикладах експертної оцінки обстеження технічного стану, дозволяють вести процес спостереження та своєчасно приймати необхідні рішення щодо безпечної та надійної експлуатації будівель.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 2

1. З метою визначення категорії технічного стану конструктивних елементів та будівлі в цілому при проведенні обстеження запропонована схема проведення обстеження технічного стану будівель.

2. Розроблений теоретико - множинний формалізований опис на основі використання моделей основних конструктивних елементів будівлі при проведенні обстеження технічного стану, удосконалена математична модель визначення стану будівлі на основі дослідження окремих конструкцій.

3. Запропоновані та досліджені моделі і методи діагностики технічного стану будівель.

4. Розглянуті моделі та методи для діагностики технічного стану будівель, що були підтверджені на прикладах експертної оцінки обстеження технічного стану будівлі. Це дозволяє вести процес спостереження та своєчасно приймати необхідні рішення щодо безпечної та надійної експлуатації будівель.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Основи організації нечіткого виведення

Нечіткі системи дозволяють вирішувати задачі інформаційної технології для підтримки діагностики технічного стану будівель, розробки бази знань для об'єктів будівництва, розробки системи нечіткого виведення; досліджувати та реалізовувати на основі апарату нечіткої логіки моделі діагностики технічного стану будівель. Недоліком нечітких систем є суб'єктивність оцінювання технічного стану будівель.

Нечіткий вывод займає центральне місце в нечіткій логіці і системах нечіткого управління. Процес нечіткого виводу представляє собою деяку процедуру або алгоритм отримання нечітких висновків на основі нечітких умов або передумов з використанням розглянутих понять нечіткої логіки. Цей процес включає в себе всі основні концепції теорії нечітких множин: функція належності, лінгвістичний змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації і нечіткої композиції. Системи нечіткого виводу призначені для реалізації процесу нечіткого виводу і служать концептуальним базисом всієї сучасної нечіткої логіки. Системи нечіткого виводу дозволяють вирішувати задачі автоматизованого управління, класифікації даних, розпізнавання образів, ухвалення рішень і багато інших задач. Оскільки розробка та застосування систем нечіткого виводу має міждисциплінарний характер, дана проблематика досліджень тісно взаємозв'язана з цілим рядом інших науково-прикладних напрямків, таких як, нечітке моделювання, нечіткі експертні системи, нечітка асоціативна пам'ять, нечіткі логічні контролери, нечіткі регулятори і просто нечіткі системи.

Базова архітектура систем нечіткого виводу.

Системи нечіткого виводу є окремим випадком продукційних нечітких систем або систем нечітких правил продукцій, в яких умови і висновки окремих правил формулюються у формі нечітких висловлювань щодо значень тих або інших лінгвістичних змінних.

Нечіткі лінгвістичні висловлювання. Нечітким лінгвістичним висловлюванням називаються висловлювання наступних видів:

1. Висловлювання " $\beta \in \alpha$ ", де β – найменування лінгвістичної змінної, а α – її значення, якому відповідає окремий лінгвістичний терм з базової терм-множини T лінгвістичної змінної β .
2. Висловлювання " $\beta \in \Delta \alpha$ ", де Δ – модифікатор, відповідний таким словам, як: ДУЖЕ, БІЛЬШ АБО МЕНЬШ, БАГАТО БІЛЬШЕ.
3. Складові висловлювання, утворені з висловлювань виглядів 1 і 2 та нечітких логічних операцій у формі зв'язок І, АБО, ЯКЩО-ТО, НІ.

Оскільки в системах нечіткого виводу нечіткі лінгвістичні висловлювання займають центральне місце їх називають просто нечіткі висловлювання.

Розглянемо приклади нечіткого висловлювання. Перше з них – *"Тріщина стіни Наскрізна"* представляє собою нечітке висловлювання першого вигляду, в рамках якого лінгвістична змінна *"Тріщина стіни"* привласнюється значення *"Наскрізна"*. При цьому передбачається, що на універсальній множині X змінної *"Тріщина стіни"* визначений відповідний лінгвістичний терм *"Наскрізна"*, який задається у формі функції належності деякої нечіткої множини (рис. 3.1).

Нечітке висловлювання другого вигляду – *"Тріщина стіни ДУЖЕ Наскрізна"* означає, що лінгвістична змінна *"Тріщина стіни"* привласнюється значення *"Наскрізна"* з модифікатором ДУЖЕ, який змінює значення відповідного лінгвістичного терма *"Наскрізна"* на основі використання деякої розрахункової формули, наприклад $\mu(x) = \mu_A(x)^2$, ($\forall x \in X$) для операції концентрації $\text{Con}(A)$ нечіткої множини A для терма *"Наскрізна"*.

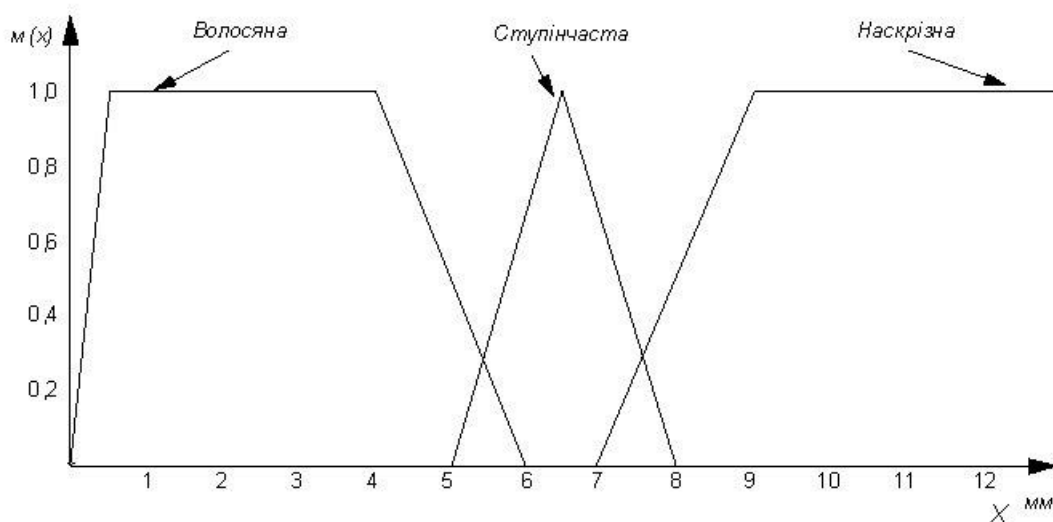


Рис. 3.1. Графіки функцій належності нечіткої множини A_1, A_2, A_3 , відповідним нечітким змінним $\alpha_1 = \text{"Тріщина стіни Волосяна"}$, $\alpha_2 = \text{"Тріщина стіни Ступінчаста"}$, $\alpha_3 = \text{"Тріщина стіни Наскрізна"}$ для лінгвістичної змінної $\beta = \text{"Тріщина стіни"}$

Нечітке висловлювання другого вигляду – *"Тріщина стіни БІЛЬШ АБО МЕНЬШ Наскрізна"* означає, що лінгвістичної *"Тріщина стіни"* привласнюється значення *"Наскрізна"* з модифікатором БІЛЬШ АБО МЕНЬШ, який змінює значення відповідного лінгвістичного терма *"Наскрізна"* на основі використання деякої розрахункової формули,

наприклад $\mu(x) = \mu_A(x)^{0.5}$, ($\forall x \in X$) для операції розтягування $DIL(A)$ нечіткої множини A для терма "Наскрізна".

На рис. 3.2 і 3.3 наведені приклади функцій належності після застосування модифікаторів ДУЖЕ і БІЛЬШ АБО МЕНЬШ до терма – множини "Ступінчаста" лінгвістичній змінній "Тріщина стіни" (рис. 3.1).

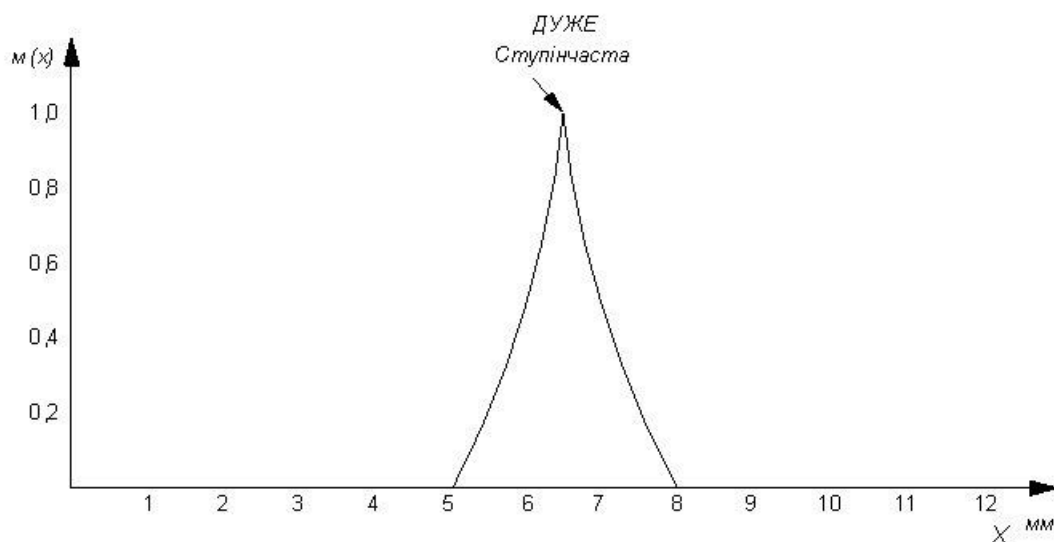


Рис. 3.2. Застосування модифікатора ДУЖЕ до терма "Тріщина стіни Ступінчаста"

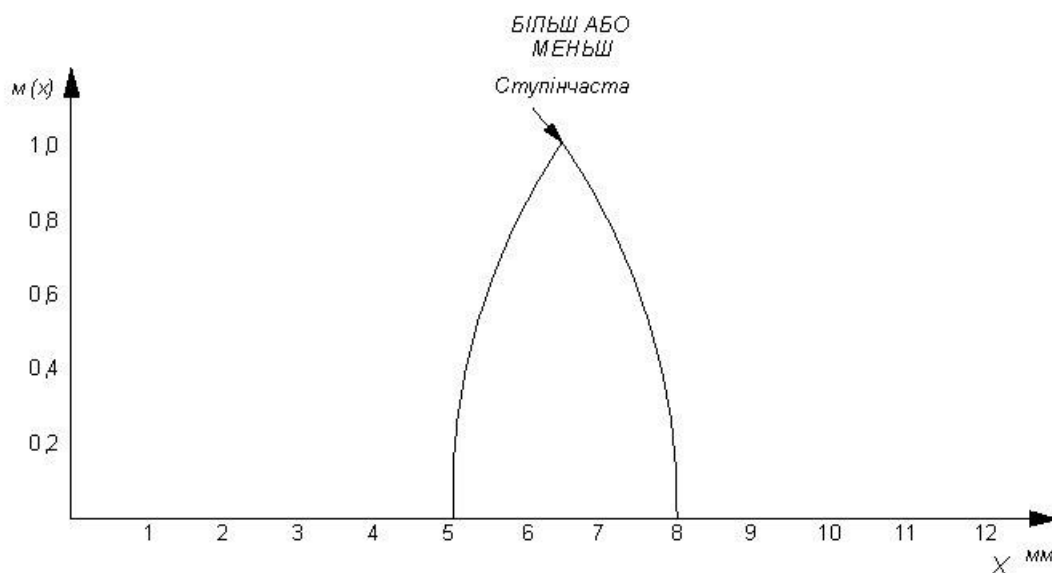


Рис. 3.3. Застосування модифікатора БІЛЬШ АБО МЕНЬШ до терма "Тріщина стіни Ступінчаста"

Нечітке висловлювання третього вигляду – *"Тріщина стіни Наскрізна і Категорія технічного стану стіни Непридатне до нормальної експлуатації (категорія III)"* означає, що однієї лінгвістичної змінної *"Тріщина стіни"* привласнюється *"Наскрізна"*, а іншої лінгвістичної змінної *"Категорія технічного стану стіни"* привласнюється значення *"Непридатний до нормальної експлуатації (категорія III)"*. Ці нечіткі висловлювання першого вигляду з'єднані логічною операцією нечітка кон'юнкція (операцією нечітке І).

Правила нечітких продукцій в системах нечіткого виводу.

Системи нечіткого виводу є окремим випадком продукційних нечітких систем або систем нечітких правил продукцій. Основна особливість нечітких правил, що використовуються в системах нечіткого виводу, умови та висновки окремих нечітких правил формулюються у формі нечіткого висловлювання вигляду 1-3 щодо значень тих або інших лінгвістичних змінних.

Під правилами нечітких продукцій або просто – нечіткою продукцією, розуміють вираз наступного вигляду: $(i) : Q; P; A \Rightarrow B, S, F, N$, в якому всі компоненти визначені, за винятком того, що умова ядра (антецедент) A і висновок ядра (консеквент) B представляють собою нечіткі лінгвістичні висловлювання вигляду 1 – 3.

Найпростіший варіант правила нечітких продукцій, який найбільш часто використовується в системах нечіткого виводу, має вигляд:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle : \text{ЯКЩО } "\beta_1 \in \alpha' ", \text{ ТО } "\beta_2 \in \alpha" " \quad (3.1).$$

Тут нечітке висловлювання $"\beta_1 \in \alpha' "$ – умова даного правила нечіткої продукції, а нечітке висловлювання $"\beta_2 \in \alpha" "$ – нечіткий висновок даного правила. При цьому вважається, що $\beta_1 \neq \beta_2$.

Система нечітких правил продукцій. Система нечітких правил продукцій (продукційна нечітка система) представляє собою деяку злагоджену множину окремих нечітких продукцій або правил нечітких продукцій у формі *"ЯКЩО A , ТО B "*, де A і B – нечіткі лінгвістичні висловлювання вигляду 1, 2 або 3. Два останні випадки нечіткого висловлювання вимагають додаткового пояснення.

Розглянемо варіант використання в якості умови або висновку в деякому правилі нечіткої продукції нечіткого висловлювання вигляду 2, тобто вигляду $"\beta \in \Delta \alpha"$, де Δ – модифікатор.

Нехай терму a відповідає нечітка множина A . В цьому випадку початкове нечітке висловлювання $"\beta \in \Delta \alpha"$ можна перетворити у вигляд 1 у формі нечіткого висловлювання $"\beta \in \alpha' "$, де терм α' виходить на основі застосування визначеної операції до нечіткої множини A . Отримане в результаті операції нечіткої множини A' приймається за значення терм – множини α' .

Якщо в якості умови або висновків використовуються складові нечіткі висловлювання, тобто утворені з висловлювань виглядів 1 і 2 та нечітких логічних операцій у формі зв'язок І, АБО, ЯКЩО-ТО, НІ, то ситуація дещо ускладнюється. Оскільки варіант використання нечіткого висловлювання вигляду 2 зводиться до нечітких висловлювань вигляду 1, то достатньо розглянути складні висловлювання в яких нечіткими логічними операціями сполучені тільки нечіткі висловлювання вигляду 1.

Ця ситуація може відповідати найпростішому випадку, коли нечіткими логічними операціями сполучені нечіткі висловлювання, що відносяться до однієї і тієї ж лінгвістичної змінної, тобто у формі " $\beta \in \alpha'$ " $\circ$ " $\beta \in \alpha$ ", де $\circ$ – деяка з бінарних операцій нечіткої кон'юнкції І або нечіткої диз'юнкції АБО.

Нечітка імплікація і нечітка еквівалентність можуть бути виражені через операції нечіткої кон'юнкції і нечіткої диз'юнкції, а нечітке заперечення в даному контексті є модифікатором.

В цьому найпростішому випадку нечітке висловлювання " $\beta \in \alpha'$ " І " $\beta \in \alpha$ " еквівалентно нечіткому висловлюванню " $\beta \in \alpha^*$ ", де терм – множині α^* відповідає нечітка множина A^* , яка визначається на перетині нечіткої множини $A' \cap A$, які відповідають термам α' і α .

Нечітке висловлювання " $\beta \in \alpha'$ " АБО " $\beta \in \alpha$ " еквівалентно нечіткому висловлюванню " $\beta \in \alpha^*$ ", де терм – множині α^* відповідає нечітка множина A^* , рівна об'єднанню нечіткої множини $A' \cup A$, які відповідають термам α' і α .

Розглянемо складове нечіткого висловлювання вигляду 3: "*Тріщина стіни Наскрізна і Тріщина стіни Ступінчаста*". Йому відповідають два нечіткі висловлювання першого вигляду (рис. 3.4), з'єднані логічною операцією нечіткої кон'юнкції. Тоді початкове нечітке висловлювання еквівалентно нечіткому висловлюванню першого вигляду: "*Тріщина стіни Наскрізна і Ступінчаста*", функція належності терма "*Наскрізна і Ступінчаста*" представлена на рис. 3.5, темним фоном результат нечіткої кон'юнкції, визначається по формулі:

$$\mu_e(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}, (V x \in X) \quad (3.2).$$

Розглянемо аналогічне складове нечіткого висловлювання вигляду 3: "*Тріщина стіни Наскрізна або Тріщина стіни Ступінчаста*". Йому також відповідають два нечіткі висловлювання першого вигляду, з'єднані логічною операцією нечіткої диз'юнкції. Початкове нечітке висловлювання еквівалентно нечіткому висловлюванню першого вигляду: "*Тріщина стіни Наскрізна або Ступінчаста*". Функція приналежності терма "*Наскрізна або Ступінчаста*" представлена на рис. 3.6, темним фоном результат нечіткої диз'юнкції, визначається по формулі:

$$\mu_e(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}, (V x \in X) \quad (3.3).$$

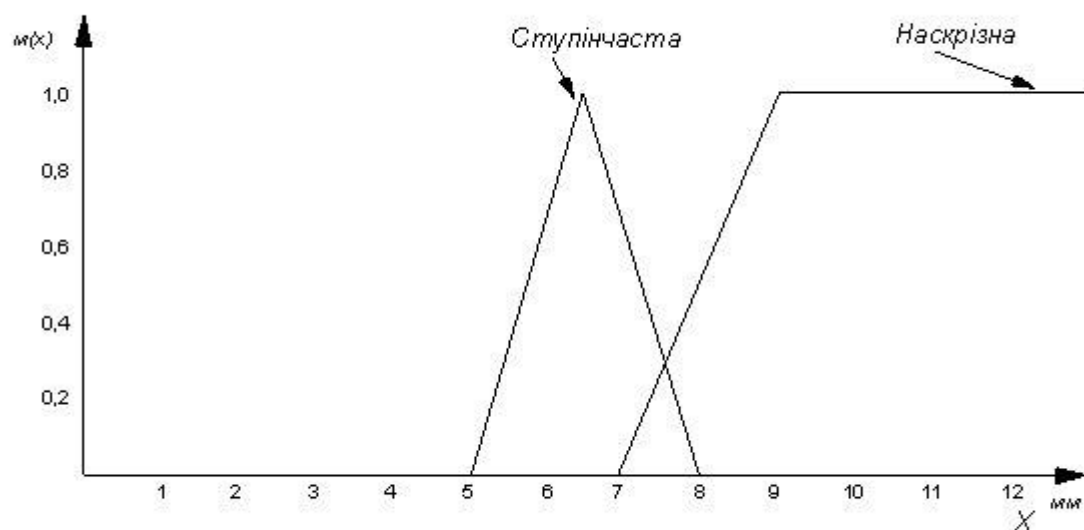


Рис. 3.4. Функції належності, що описують
два нечітких висловлювання першого вигляду
"Тріщина стіни Ступінчаста" і "Тріщина стіни Наскрізна"

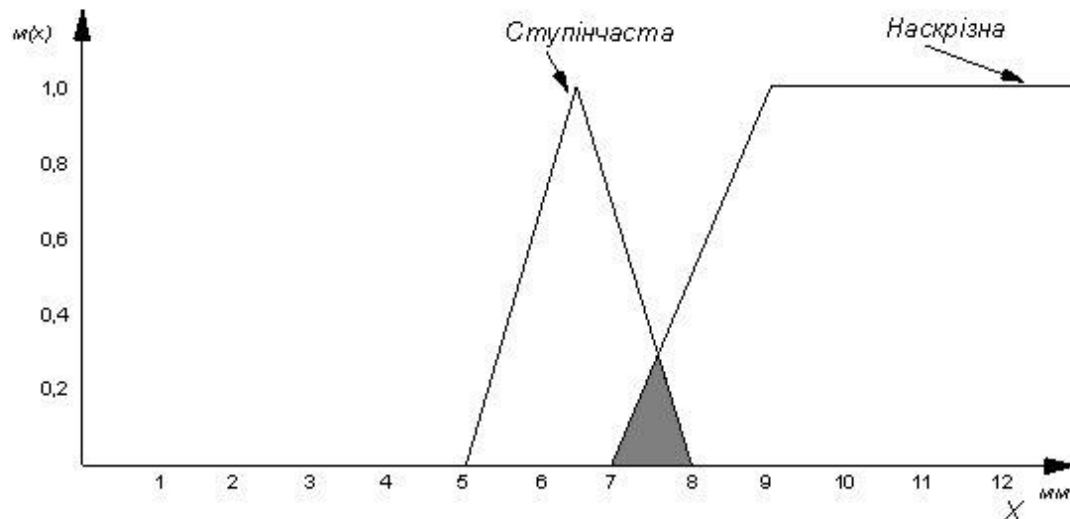


Рис. 3.5. Функція належності терма
"Тріщина стіни Ступінчаста і Наскрізна"

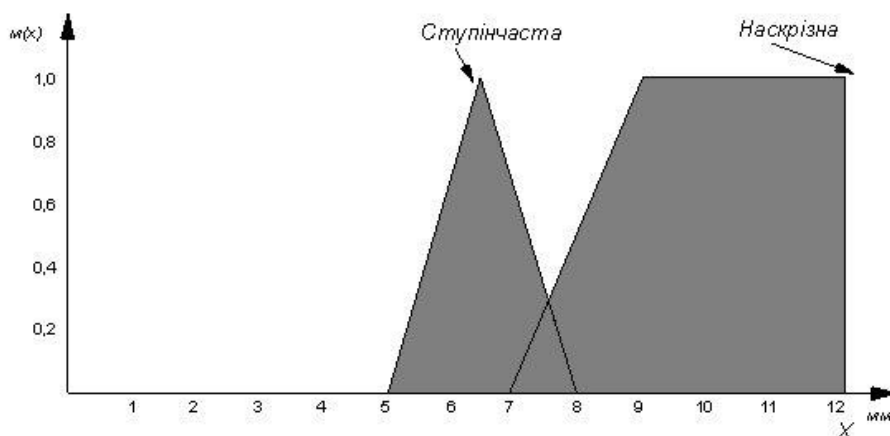


Рис. 3.6. Функція належності терма
"Тріщина стіни Ступінчаста або Наскрізна"

Ситуація може відповідати складному випадку, коли нечіткими логічними операціями з'єднані нечіткі висловлювання, що відносяться до різних лінгвістичних змінних в умові правила нечіткої продукції, тобто у формі " $\beta_1 \in \alpha'$ " $\circ$ " $\beta_2 \in \alpha$ ", де $\circ$ – деяка з бінарних операцій нечіткої кон'юнкції І або нечіткої диз'юнкції АБО, а β_1 і β_2 – різні лінгвістичні змінні.

Правила нечітких продукцій записані у формі:

ПРАВИЛО <#>: ЯКЩО " $\beta_1 \in \alpha'$ "
І " $\beta_2 \in \alpha$ ",
ТО " $\beta_3 \in v$ ",

або

ПРАВИЛО <#>: ЯКЩО " $\beta_1 \in \alpha'$ "
АБО " $\beta_2 \in \alpha$ ",
ТО " $\beta_3 \in v$ ".

(3.4)

Тут нечітке висловлювання " $\beta_1 \in \alpha'$ " І " $\beta_2 \in \alpha$ ", " $\beta_1 \in \alpha'$ " АБО " $\beta_2 \in \alpha$ " представляє собою умови правил нечітких продукцій, а нечітке висловлювання " $\beta_3 \in v$ " – висновок правил. При цьому вважається, що $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$, а кожне з нечітких " $\beta_1 \in \alpha'$ ", " $\beta_2 \in \alpha$ " називають підумовами даних правил нечітких продукцій.

У разі правил нечітких продукцій у формі (3.4) необхідно використовувати один з методів агрегації умов в лівій частині цих правил. Відповідні методи агрегації розглядаються нижче при опису етапа агрегації.

Нечіткими логічними операціями можуть бути з'єднані нечіткі висловлювання, що відносяться до різних лінгвістичних змінних у висновках правил нечітких продукцій, тобто у формі: " $\beta_1 \in \alpha'$ " $\circ$ " $\beta_2 \in \alpha$ ", де $\circ$ – деяка з бінарних операцій нечіткої кон'юнкції І або нечіткої диз'юнкції АБО, а β_1 і β_2 – різні лінгвістичні змінні.

Правила нечітких продукцій записані у формі:

ПРАВИЛО <#>: ЯКЩО " $\beta_1 \in \alpha'$ ",
ТО " $\beta_2 \in \alpha$ " "
І " $\beta_3 \in v$ ",

або

ПРАВИЛО <#>: ЯКЩО " $\beta_1 \in \alpha'$ ",
ТО " $\beta_2 \in \alpha$ " "
АБО " $\beta_3 \in v$ ".

(3.5)

Тут нечітке висловлювання " $\beta_1 \in \alpha'$ " представляє собою умову правил нечітких продукцій, а нечітке висловлювання " $\beta_2 \in \alpha$ " " І " $\beta_3 \in v$ ", " $\beta_2 \in \alpha$ " " АБО " $\beta_3 \in v$ " – висновки інших правил. При цьому вважається, що $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$, а кожне з нечітких " $\beta_2 \in \alpha$ " " і " $\beta_3 \in v$ " називають підвисновками даного правила нечітких продукцій.

У випадку правил нечітких продукцій у формі (3.5) необхідно використовувати один з методів акумуляції висновків в правилах нечітких продукцій. Ці методи розглядаються нижче при опису етапа акумуляції.

3.2 Етапи роботи експертної системи

Системи нечіткого виведення призначені для перетворення значень вхідних змінних процесу управління у вихідні змінні на основі використання правил нечітких продукцій. Системи нечіткого виводу повинні містити базу правил нечітких продукцій і реалізовувати нечіткий вивод висновків на основі посилок або умов, що представлені у формі нечітких лінгвістичних висловлювань.

На рис. 3.7 представлена структурна схема етапів роботи експертної системи.

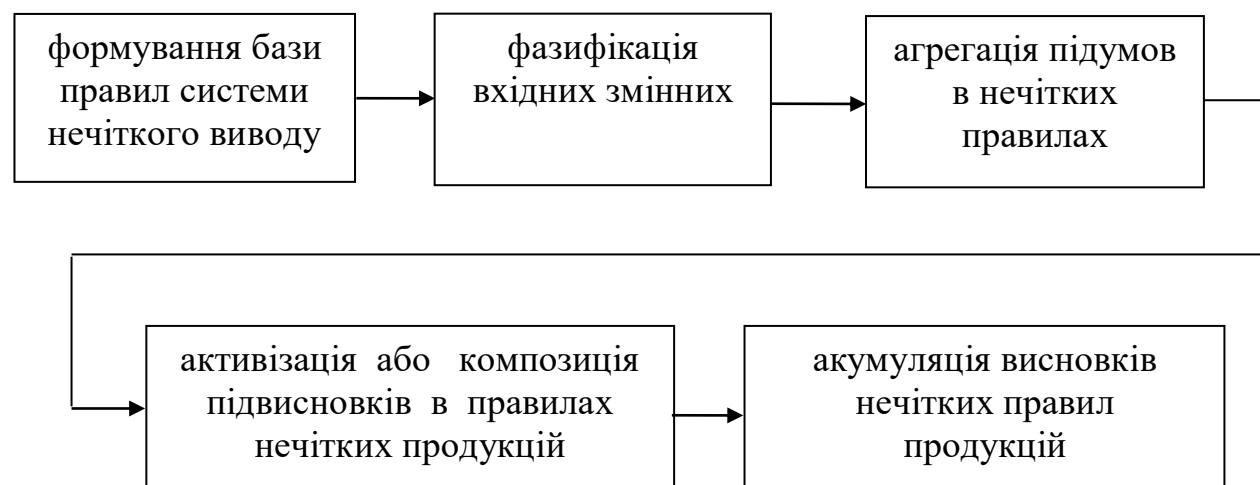


Рис. 3.7. Структурна схема етапів роботи експертної системи

Фазифікація.

В контексті нечіткої логіки під фазифікацією розуміють не тільки окремий етап виконання нечіткого виводу але і власно процес або процедура знаходження значень функції належності нечіткої множини (термів) на основі звичайних (не нечітких) початкових даних. Фазифікацією також називають введенням нечіткості.

Мета етапу фазифікації – встановлення відповідності між конкретним (звичайно чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виводу і значенням функції належності, що відповідає їй терма вхідної лінгвістичної змінної. Після завершення цього етапу для всіх вхідних змінних повинні бути визначені конкретні значення функції належності по кожному з лінгвістичних термів, які використовуються в підумовах бази правил системи нечіткого виводу.

Процедура фазифікації виконується таким чином. До початку цього етапу передбачаються відомими конкретні значення всіх вхідних змінних системи нечіткого виводу, тобто множина значень $V' = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. В загальному випадку кожне $a_i \in X_i$, де X_i – універсум лінгвістичної змінної β_i . Ці значення можуть бути отримані або від датчиків, або деяким іншим, зовнішнім по відношенню до системи нечіткого виводу способом.

Розглянемо кожну з підумов вигляду " $\beta_i \in \alpha'$ " правил системи нечіткого виводу, де α' – деякий терм з відомою функцією належності $\mu(x)$. При цьому значення α' використовується в якості аргументу $\mu(x)$, також знаходиться кількісне значення $b_i' = \mu(a_i)$. Це значення і є результатом фазифікації підумови " $\beta_i \in \alpha'$ ".

Якщо в деякій підумові зустрічається терм з модифікатором, то процедура фазифікації виконується аналогічним чином стосовно функції належності терма після виконання операції, що відповідає даному модифікатору.

Етап фазифікації закінчений, якщо знайдені всі значення $b_i' = \mu(a_i)$ для кожної з підумов всіх правил, що входять в базу правил системи нечіткого виводу. Множина значень позначимо як $B = \{b_i'\}$. Якщо деякий терм лінгвістичної змінної β_i не присутній ні в одному з нечітких висловлювань, то відповідне йому значення функції належності не знаходиться в процесі фазифікації.

Для ілюстрації цього етапу розглянемо приклад процесу фазифікації трьох нечітких висловлювань: "*Тріщина стіни Волосяна*", "*Тріщина стіни Ступінчаста*", "*Тріщина стіни Наскрізна*" – для вхідної лінгвістичної змінної β_1 – "*Тріщина стіни*". Їм відповідає нечітке висловлювання першого вигляду: " $\beta_1 \in \alpha_1$ ", " $\beta_1 \in \alpha_2$ ", " $\beta_1 \in \alpha_3$ ".

Нехай поточний "*Тріщина стіни*" оцінюється як 7 мм, тобто $a_1 = 7$. Тоді фазифікація першого нечіткого висловлювання дає в результаті число 0, яке означає його ступінь істинності і виходить підстановкою значення $a_1 = 7$ в якості аргумента функції належності терма α_1 (рис. 3.8).

Фазифікація другого нечіткого висловлювання дає в результаті число 0,67 (приблизнене значення), яке означає його ступінь істинності і виходить підстановкою значення $a_1 = 7$ в якості аргумента функції належності терма a_2 (рис. 3.9).

Фазифікація третього нечіткого висловлювання дає в результаті число 0, яке означає його ступінь істинності і виходить підстановкою значення $a_1 = 7$ в якості аргумента функції належності терма a_3 (рис. 3.10).

Агрегація.

Агрегація є процедурою визначення ступеню істинності умов по кожному з правил системи нечіткого виводу. Процедура агрегації виконується наступним чином. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх підумов системи нечіткого виводу, тобто множина значень $B = \{b_i'\}$. Далі розглядається кожна з умов правил системи нечіткого виводу. Якщо умова правила представляє собою нечітке висловлювання вигляду 1 (висловлювання " $\beta \in \alpha$ ", де β – найменування лінгвістичної змінної, а α – її значення, якому відповідає окремий лінгвістичний терм з базової терм-множини T лінгвістичної змінної β) або 2 (висловлювання " $\beta \in \Delta \alpha$ ", де Δ – модифікатор, відповідний таким словам, як: ДУЖЕ, БІЛЬШ АБО МЕНЬШ, БАГАТО БІЛЬШЕ), то ступінь його істинності рівний відповідному значенню b_i' . Якщо ж умова складається з декількох підумов вигляду (3.4), причому лінгвістичні змінні в підумовах попарно не рівні один одному, то визначається ступінь істинності складного висловлювання на основі відомих значень істинності підумов [27, 49].

Етап агрегації вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення для кожного з правил, що входять в базу правил системи нечіткого виводу, що розглядається. Ця множина значень позначається через $B'' = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$.

Для ілюстрації цього етапу розглянемо приклад процесу агрегації двох нечітких висловлювань: *"Тріщина стіни Ступінчаста" І "Категорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації (категорія II/III)"* і *"Тріщина стіни Ступінчаста" АБО "Категорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації (категорія II/III)"* для вхідної лінгвістичної змінної β_1 – *"Тріщина стіни"* і β_2 – *"Категорія технічного стану стіни"*. Нехай поточний *"Тріщина стіни"* рівна 7 мм, тобто $a_1 = 7$, а поточне *"Категорія технічного стану стіни"* оцінюється як 6, тобто $a_2 = 6$. Агрегація першого нечіткого висловлювання з використанням операції нечіткої кон'юнкції вигляду:

$$T(A \wedge B) = \min \{T(A), T(B)\} \quad (3.6),$$

дає в результаті число 0,6 (приблизнене значення), яке означає його ступінь істинності і виходить як мінімальне із значень 0,6 і 0,667 (рис. 3.11). Агрегація другого нечіткого висловлювання з використанням операції нечіткої диз'юнкції вигляду:

$$T(A \vee B) = \max \{T(A), T(B)\} \quad (3.7),$$

дає в результаті число 0,667, яке означає його ступінь істинності і виходить як максимальне із значень 0,6 і 0,667 (рис. 3.12).

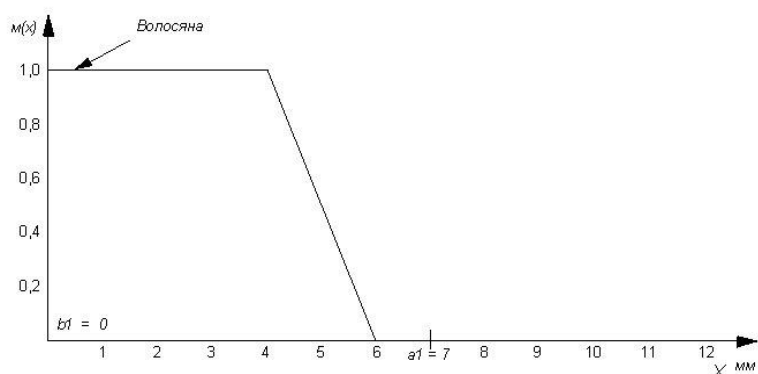


Рис. 3.8. Приклад фазифікації вхідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни" для нечіткого висловлювання "Тріщина стіни Волосяна"

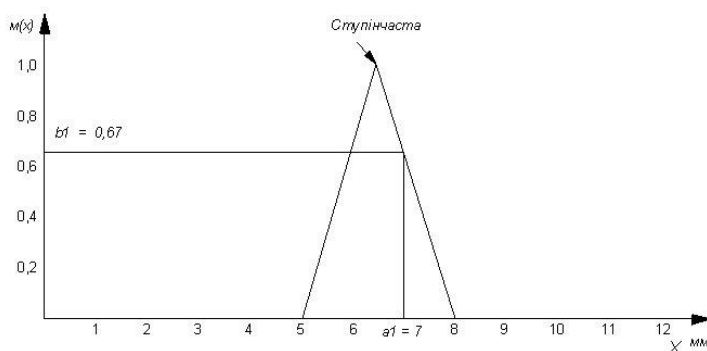


Рис. 3.9. Приклад фазифікації вхідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни" для нечіткого висловлювання "Тріщина стіни Ступінчаста"

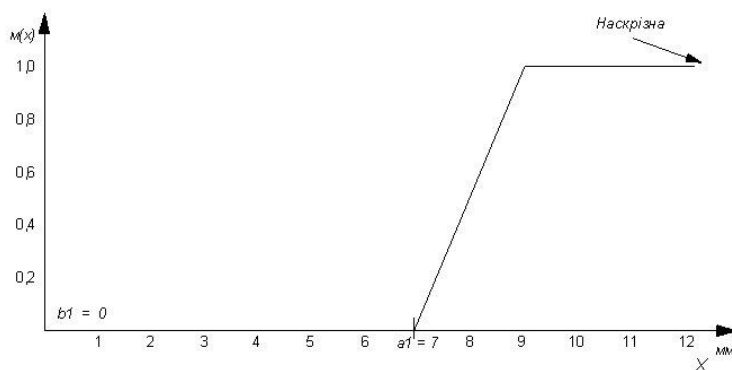


Рис. 3.10. Приклад фазифікації вхідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни" для нечіткого висловлювання "Тріщина стіни Наскрізна"

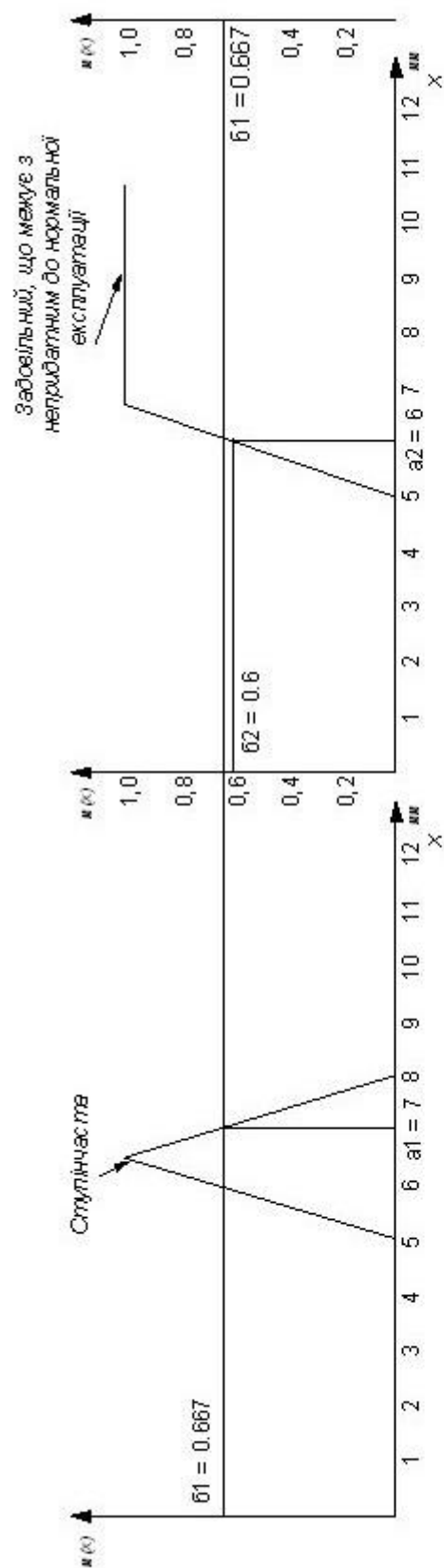


Рис. 3.12 Приклад агрегування підумов для нечіткого висловлення "Тріщина стіни Ступінчаста" АБО "Категорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації"

Активізація.

Активізація в системах нечіткого виводу є процедурою знаходження ступеню істинності кожного з підвисновків правил нечітких продукцій. Активізація багато в чому аналогічна композиції нечітких відносин, але нетотожна їй. При формуванні бази правил системи нечіткого виводу задаються вагові коефіцієнти F_i для кожного правила (за умовами ваговий коефіцієнт рівний одиниці).

Процедура активізації виконується таким чином. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх умов системи нечіткого виводу: множина значень $B'' = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, значення вагових коефіцієнтів F_i для всіх правил. Далі розглядається кожний з висновків правил системи нечіткого виводу. Якщо висновок правила є нечітким висловлюванням вигляду 1 або 2, то ступінь його істинності рівний алгебраїчному виразу відповідного значення b_i'' на ваговий коефіцієнт F_i .

Якщо висновок складається з декількох підвисновків вигляду (3.5), причому лінгвістичні змінні в підвисновках попарно не рівні один одному то ступінь істинності кожного з підвисновків рівний алгебраїчному виразу відповідного значення b_i'' на ваговий коефіцієнт F_i . Таким чином знаходяться всі значення ступенів істинності підвисновків для кожного з правил, що входять в базу правил системи нечіткого виводу. Ця множина значень позначається через $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, де q – загальна кількість підвисновків в базі правил. При цьому можливий випадок коли ваговий коефіцієнт F_i може бути заданий індивідуально для окремих підвисновків (але процедура активізації залишається колишньою).

Після знаходження множини $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, визначається функція належності кожного з підвисновків для даних вихідних лінгвістичних змінних. Для цього можна використовувати один з методів, що являється модифікацією методів нечіткої композиції:

$$\text{min} - \text{активізація: } \mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}; \quad (3.8);$$

$$\text{prod} - \text{активізація: } \mu'(y) = c_i * \mu(y); \quad (3.9);$$

$$\text{average} - \text{активізація: } \mu'(y) = 0.5 * (c_i + \mu(y)); \quad (3.10),$$

де $\mu(y)$ – функція належності терма, який являється значенням деякої вихідної змінної ω_j , заданої на універсумі Y .

Етап активізації вважається закінченим, якщо для кожної з вихідних лінгвістичних змінних, що входять в окремі підвисновки правил нечітких продукцій, будуть визначені функції належності нечіткої множини їх значень, тобто сукупність нечітких множин $C_1, C_2, \dots, C_q$, де q – загальна кількість підвисновків в базі правил системи нечіткого виводу.

Окрім методів (3.8) – (3.10), для виконання активізації можуть бути запропоновані і інші способи, засновані на модифікації різних операцій нечіткої композиції.

Для ілюстрації цього етапу розглянемо приклад процесу активізації висновку в наступному правилі нечіткої продукції (це правило не має цільового застосування і використовується формальним чином):

ЯКЩО *"Тріщина стіни Ступінчаста"*

ТО *"Категорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації (категорія II/III)"*.

Вхідною лінгвістичною змінною в цьому правилі являється β_1 – *"Тріщина стіни"*, а вихідною змінною є β_2 – *"Категорія технічного стану стіни"*. Нехай поточний *"Тріщина стіни"* рівний 7 мм, тобто $a_1 = 7$ мм. Оскільки агрегування умови цього правила дає в результаті $b_1'' = 0,67$, а ваговий коефіцієнт за умовчанням рівний одиниці, то значення 0,667 буде використовуватися в якості c_1 для отримання результату активізації. Результати отримані методом *min* – активізації (3.8) і методом *prod* – активізації (3.9), зображені темним кольором на рис. 3.13 і 3.14.

Акумуляція.

Акумуляція, в системах нечіткого виводу є процедурою або процесом знаходження функції належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_S\}$.

Мета акумуляції – об'єднання всіх ступенів істинності висновків (підвисновків) для отримання функції належності кожної з вихідних, змінних. Причина необхідності виконання цього етапу полягає в тому, що підвисновки, що відносяться до однієї і тієї ж вихідної лінгвістичної змінної, належать до різних правил системи нечіткого виводу.

Процедура акумуляції виконується таким чином. До початку цього етапу передбачаються відомими значення істинності всіх підвисновків для кожного з правил, що входять в дану базу правил системи нечіткого виводу, у формі сукупності нечітких множин: $C_1, C_2, \dots, C_q$, де q – загальна кількість підвисновків в базі правил (рис. 3.15 – 3.17).

Далі послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $\omega_j \in W$, і що відносяться до неї нечіткі множини: $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$ (рис. 3.18).

Результат акумуляції для вихідної лінгвістичної змінної ω_j визначається як об'єднання нечітких множин. Етап акумуляції вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові функції належності нечіткої множини їх значень, тобто сукупність нечітких множин: $C'_1, C'_2, \dots, C'_q$, де q – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого виводу.

Дефазифікація.

Дефазифікація (приведення до чіткості) в системах нечіткого виводу представляє собою процедуру або процес знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_S\}$.

Мета дефазифікації – використання результатів акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних і отримання звичайного кількісного значення

кожній з вихідних змінних, які будуть використовуватися спеціальними пристроями, зовнішніми відношенню до системи нечіткого виводу.

Вживані в сучасних системах управління пристрої здатні сприймати традиційні команди у формі кількісних значень відповідних управляючих змінних. Тому необхідно перетворити нечіткі множини в деякі конкретні значення змінних.

Процедура дефазифікації виконується таким чином. До початку цього етапу передбачаються відомими функції належності всіх вихідних лінгвістичних змінних у формі нечіткої множини: $C'_1, C'_2, \dots, C'_s$, де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого виводу. Далі послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних $\omega_j \in W$ і, що відноситься до неї, нечіткі множини C'_j . Результат дефазифікації для вихідної лінгвістичної змінної ω_j визначається у вигляді кількісного значення $y_j \in R$.

Етап дефазифікації вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові кількісні значення у формі деякого дійсного числа, тобто у вигляді $y_1, y_2, \dots, y_s$, де s – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого виводу.

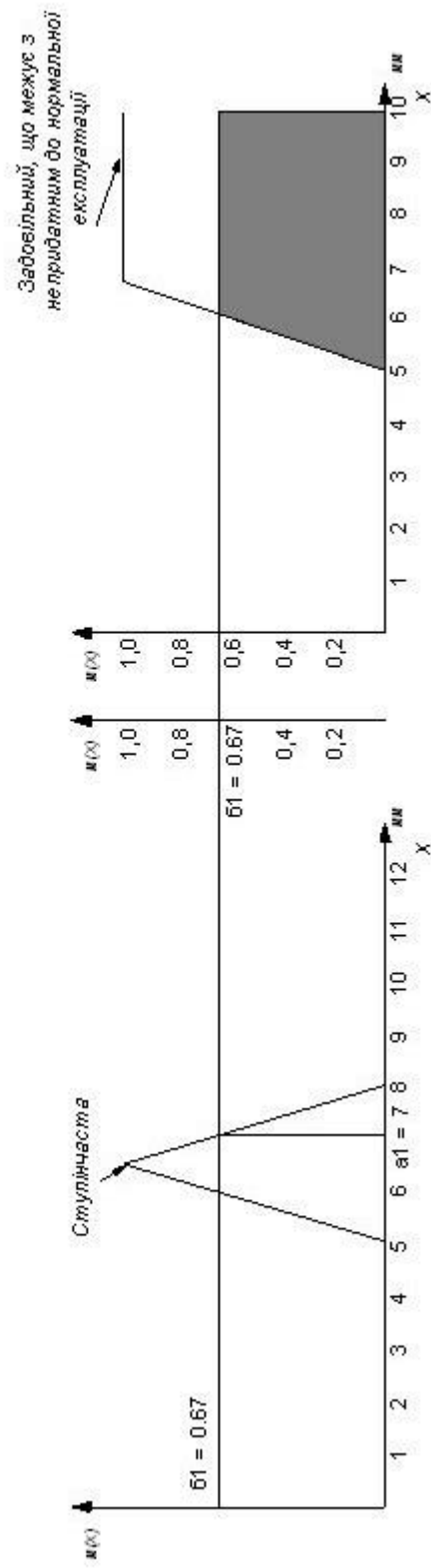


Рис. 3.13 Приклад активізації висновку для правила нечіткої продукції методом min - активізації

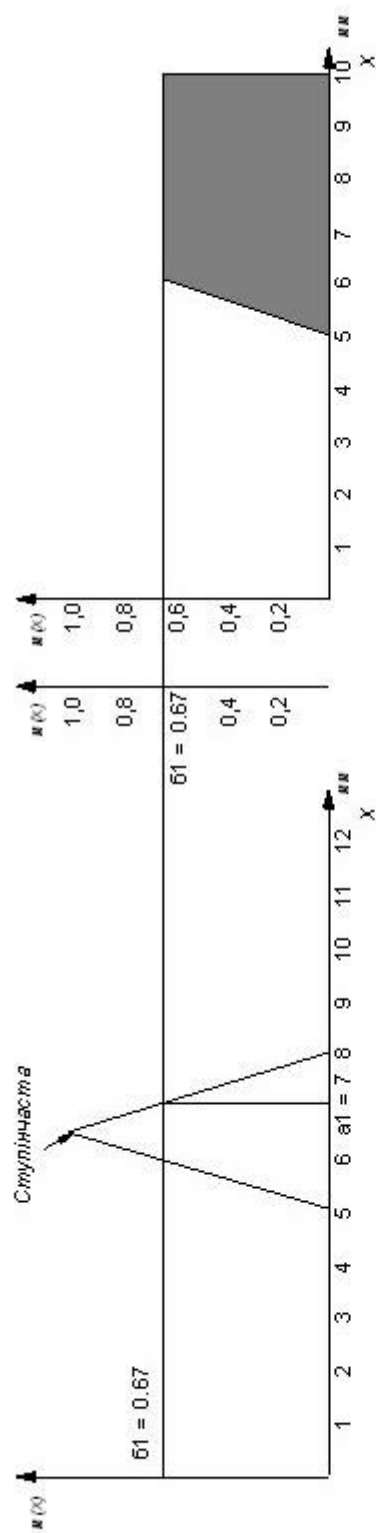


Рис. 3.14 Приклад активізації висновку для правила нечіткої продукції методом prod - активізації

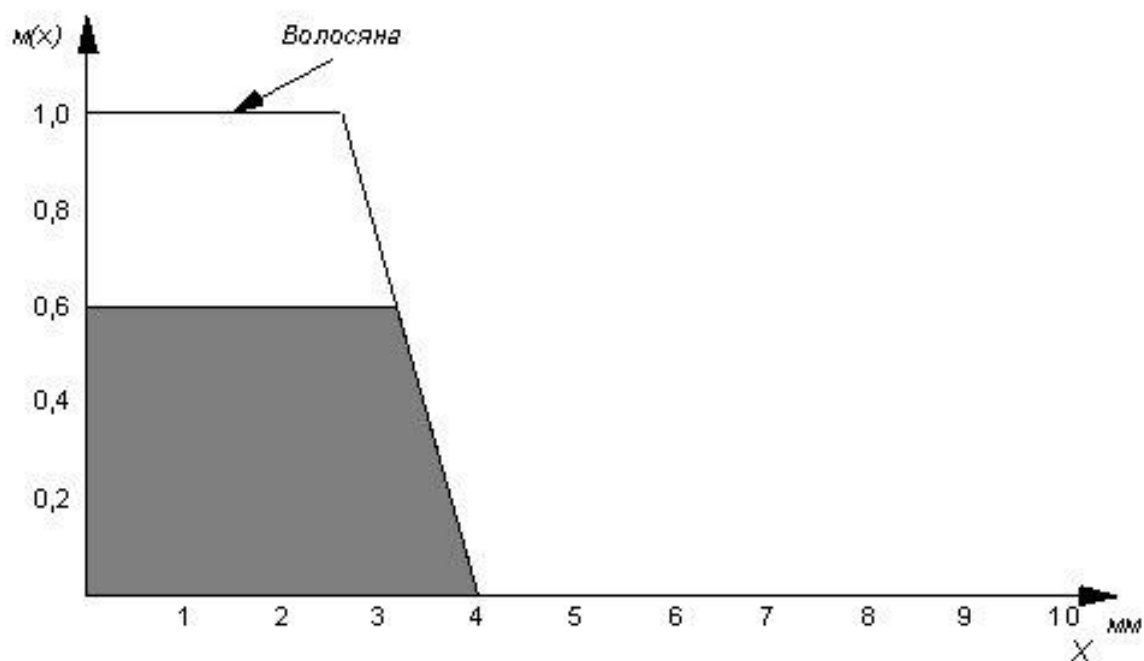


Рис. 3.15. Функція належності нечіткої множини c_{11} отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної «Тріщина стіни»

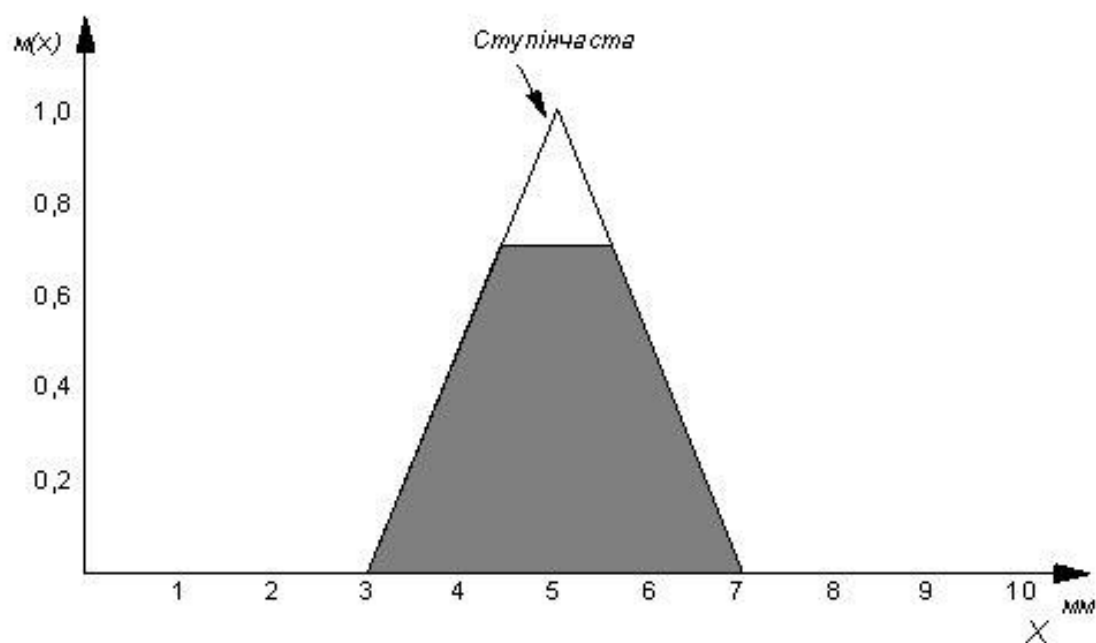


Рис. 3.16. Функція належності нечіткої множини c_{12} отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної «Тріщина стіни»

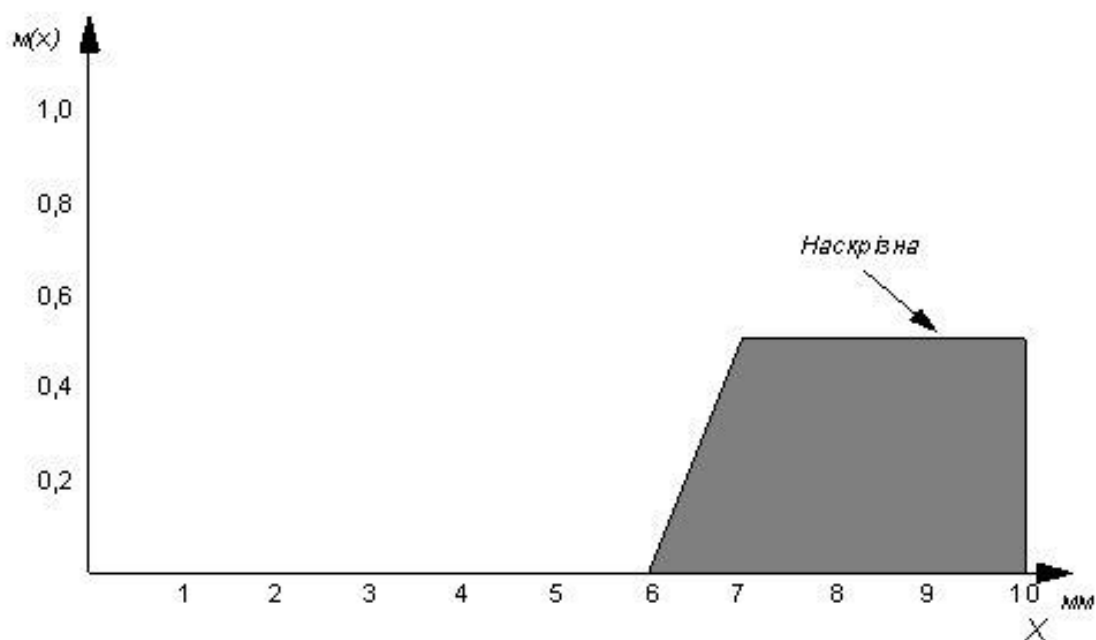


Рис. 3.17. Функція належності нечіткої множини C_{13} отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної «Тріщина стіни»

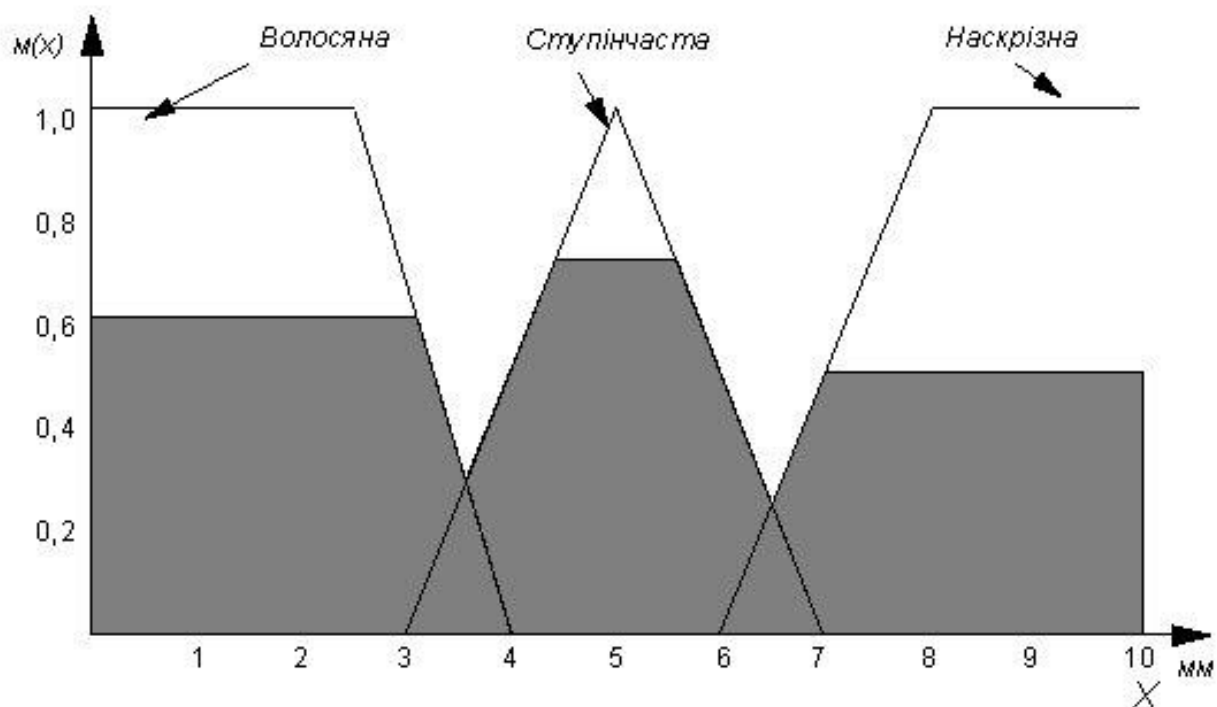


Рис. 3.18. Приклад акумуляції виводу для вихідної змінної «Тріщина стіни»

Таблиця 3.1

**База правил експертної системи при обстеженні технічного стану
основних конструктивних елементів будівель**

Елементи	Формалізований запис	База правил експертної системи
1	2	3
Фундаменти	якщо AF то BF якщо BF то CF якщо CF то DF якщо DF то EF $AF - \rightarrow EF$	- якщо пошкодження вимощення (AF) то пошкодження фундаменту (BF); - якщо пошкодження фундаменту (BF) то просідання основ фундаменту (CF); - якщо просідання основ фундаменту (CF) то усадка будівлі (DF); - якщо усадка будівлі (DF) то категорія III (EF). Якщо пошкодження вимощення (AF) то категорія III (EF).
Стіни (зовнішні та внутрішні)	якщо AS то BS якщо BS то CS якщо CS то DS $AS - \rightarrow DS$	- якщо пошкодження стін (AS) то тріщини стін (BS); - якщо тріщини стін (BS) то пошкодження фундаменту (CS); - якщо пошкодження фундаменту (CS) то категорія III (DS). Якщо пошкодження стін (AS) то категорія III (DS).
Перекрыття	якщо AP то BP якщо BP то CP якщо CP то DP якщо DP то EP $AP - \rightarrow EP$	- якщо пошкодження перекрыття (AP) то розсихання дерев'яних балок перекрыття (BP); - якщо розсихання дерев'яних балок перекрыття (BP) то протікання даху (CP); - якщо протікання даху (CP) то пошкодження покрівельних матеріалів (DP); - якщо пошкодження покрівельних матеріалів (DP) то категорія III (EP). Якщо пошкодження перекрыття (AP) то категорія III (EP).
Дах	якщо AD то BD якщо BD то CD якщо CD то DD	- якщо пошкодження даху (AD) то ураження гниллю деревини, тріщини деревини (BD); - якщо ураження гниллю деревини, тріщини деревини (BD) то протікання даху (CD); - якщо протікання даху (CD) то ремонт

	$AD \rightarrow DD$	даху (ДД). Якщо пошкодження даху (AD) то ремонт даху (ДД).
Покрівельні матеріали	якщо AK то BK якщо BK то CK якщо CK то DK $AK \rightarrow DK$	- якщо пошкодження покрівлі (AK) то тріщини, сколи листів (BK); - якщо тріщини, сколи листів (BK) то заміна елементів листів покрівлі на нові матеріали (CK); - якщо заміна елементів листів покрівлі на нові матеріали (CK) то ремонт покрівельних матеріалів (DK). Якщо пошкодження покрівлі (AK) то ремонт покрівельних матеріалів (DK).

На рис. 3.19 відображена схема формального представлення бази знань.

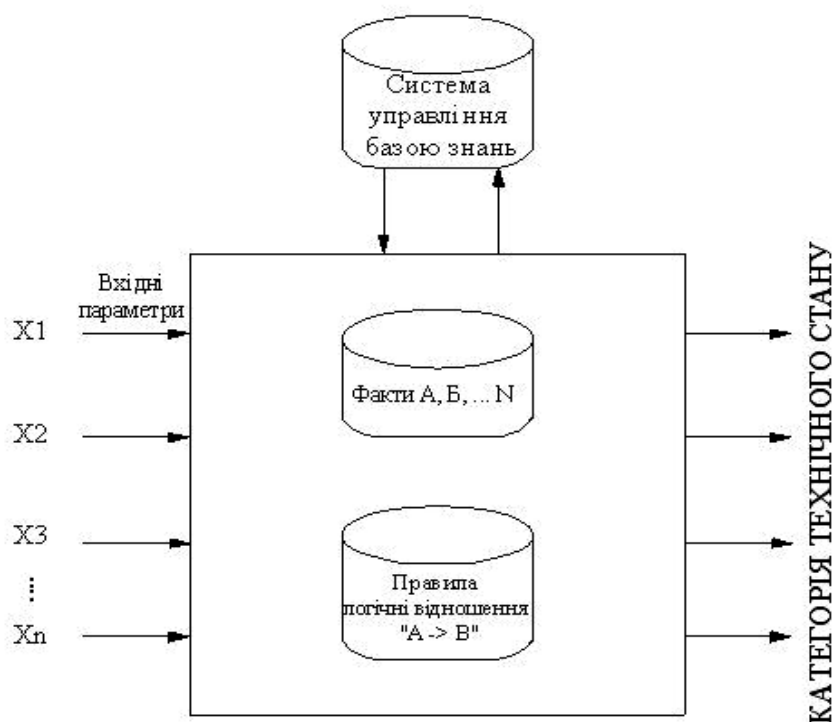


Рис. 3.19. Схема формального представлення бази знань

При формуванні бази знань необхідно вирішувати проблему передачі і перетворення досвіду вирішення проблеми від джерела знань до системи. На рис. 3.20 представлена структурна схема інформаційної системи управління базою знань.

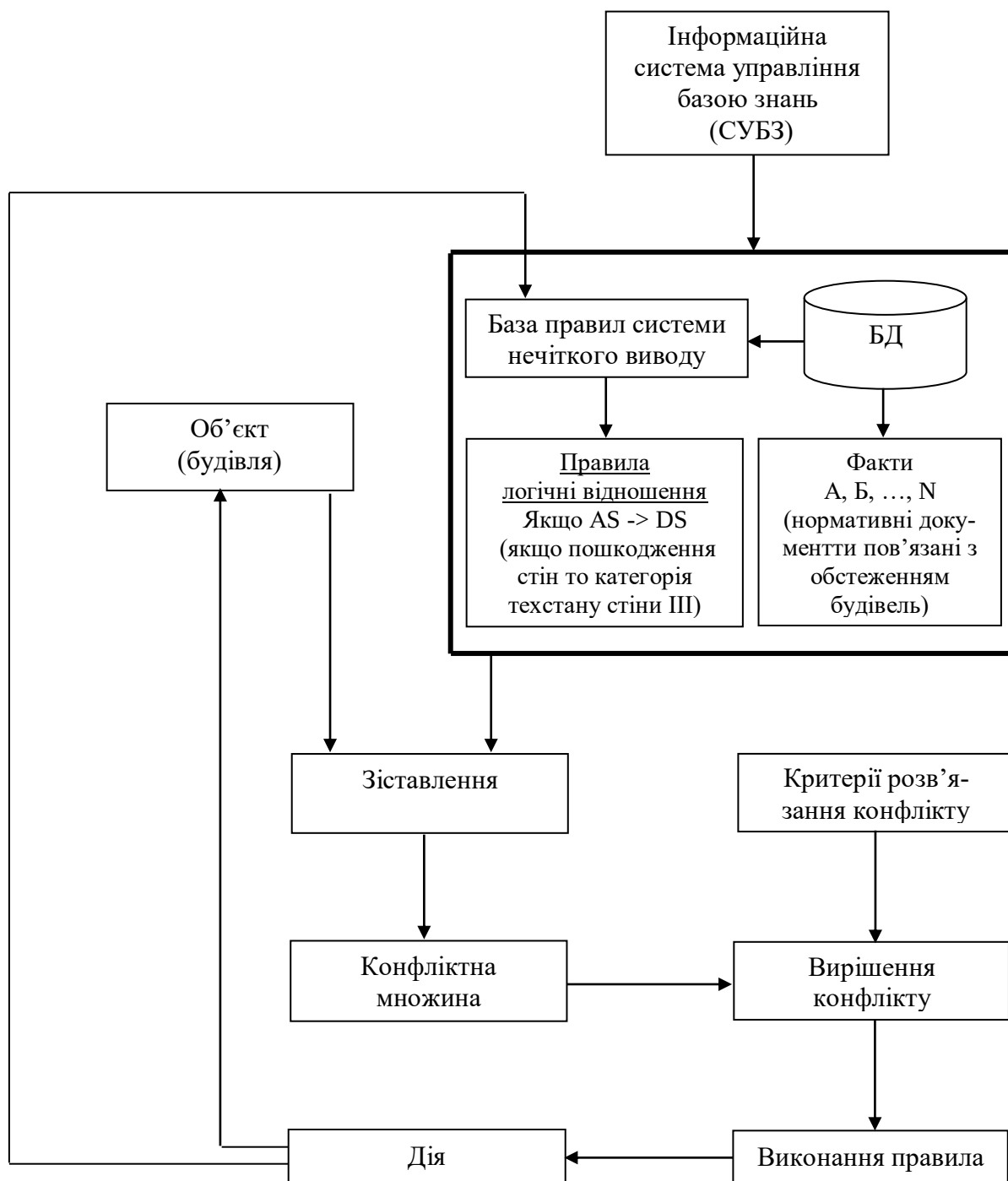


Рис. 3.20. Структурна схема інформаційної системи управління базою знань

3.4 Дослідження ланцюгів логічного виведення роботи експертної системи

На основі проведеного обстеження, створюються ланцюги логічного виведення по кожному конструктивному елементу будівлі (фундаментів, зовнішніх та внутрішніх стін, конструкцій покриття та перекриття, конструкцій даху та покрівельних матеріалів). Для розв'язання даної задачі експерти самостійно дають імовірнісну оцінку по кожному дефекту конструкцій керуючись власним досвідом.

Результати логічного виводу бази знань представляється у вигляді дерева пошкоджень – ієрархічна класифікація типів пошкоджень.

Кореневий вузол відповідає пошкодженій будівлі, нетермінальні вузли – окремі елементи будівлі, а термінальні – причинами пошкодження.

В ході логічного виводу над фактами, що складають припущення правил, виконуються логічні операції. В результаті цього створюються складні виводи. Метод коефіцієнта впевненості базується на евристичних спостереженнях, які отримані на основі роботи експертів: по-перше, в традиційній теорії ймовірностей сума ймовірностей події та її заперечення дорівнює одиниці; але в практичній діяльності оцінка достовірності події не означає, що ця подія одночасно оцінюються і на хибність; по-друге, знання самих правил більш важливе, ніж знання алгебри для їхнього обчислення.

Міра впевненості – це неформальна оцінка, яку експерт додає до висновку, наприклад: «імовірно, це так», «можливо», «точно», «нічого не можна сказати» і т.ін.

Міра впевненості описує людську (суб'єктивну) оцінку причинної імовірностної міри. Продуктивність системи визначається якістю правил.

Перевагою методу коефіцієнту впевненості, багато в чому полягає у використанні достатньо коротких послідовностей комбінованих правил і використанні достатньо простих гіпотез. До недоліків можна віднести складність визначення у багатьох випадках коефіцієнтів впевненості, відсутність теоретичного обґрунтування результатів.

Сутність нечіткої логіки, що запропонував Л. Заде, від коефіцієнта впевненості полягає у:

- використанні лінгвістичних змінних (замість числових);
- відношенні між змінними, що описуються за допомогою нечітких висловлювань;
- складні відношення визначаються нечіткими алгоритмами.

Коефіцієнт впевненості розраховується за наступними правилами:

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

$$C(P_1 \wedge P_2) = \min(C(P_1), C(P_2)) \quad (3.12);$$

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

$$C(P_1 \vee P_2) = \max(C(P_1), C(P_2)) \quad (3.13);$$

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

$$C_{висн} = C_{пред} * C_r \quad (3.14).$$

В основу моделювання ланцюгів логічного виведення по кожному конструктивному елементу закладена в базі правил, що являє собою набір правил по обстеженню будівель. Визначення фізичного стану окремого елементу залежатиме від виконання правилами умов, які закладені в базі правил.

В таблиці 3.2 представлена база правил дефектів експертної системи для конструктивного елементу фундаментів.

Таблиця 3.2

**База правил дефектів експертної системи
для конструктивного елементу фундаментів**

Елементи	Формалізований запис	База правил для ланцюгу логічного виведення
1	2	3
Фундаменти	якщо FA і FB то FC якщо FC і FD то FE якщо FE і FK і FF то FL	- якщо тріщини вимощення (FA) і відсутність в окремих місцях вимощення (FB) то пошкодження вимощення (FC); - якщо пошкодження вимощення (FC) і сліди зволоження стін підвальних приміщень (FD) то просідання фундаменту (FE); - якщо просідання фундаменту (FE) і масові наскрізні тріщини на всю висоту будівлі (FK) і випирання ґрунту в підвалі (FF) то осідання будівлі (FL);

Дефекти пошкоджень конструкції фундаментів розглядаються як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для фундаментів згідно виду (3.12, 3.13):

$$CF(FA \wedge FB) = \min(0.2; 0.3) = 0.2$$

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

$$CF(((FA \wedge FB) \vee FD) \vee FK \vee FF) = \max(0.4; 0.65; 0.75) = 0.75 \rightarrow CF_{пред}$$

Допускаємо, що коефіцієнт впевненості правила $CF_r = 0.8$, тоді:

$$C_{висн} = CF_{пред} * CF_r = 0.75 * 0.8 = 0.6$$

На рис. 3.21 представлений ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Фундаменти».

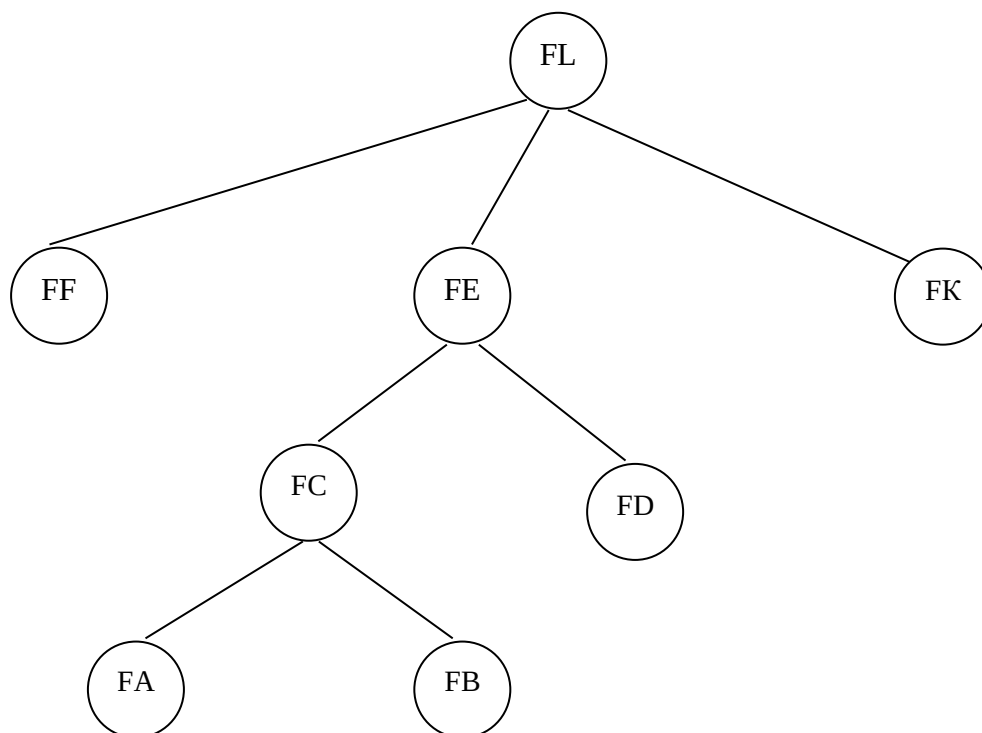


Рис. 3.21. Ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Фундаменти»

В табл. 3.3 представлена база правил дефектів експертної системи для конструктивного елементу стін.

Таблиця 3.3

**База правил дефектів експертної системи
для конструктивного елементу стін**

Елементи	Формалізований запис	База правил для ланцюгу логічного виведення
1	2	3
Стіни (зовнішні та внутрішні)	якщо SA і SB то SC	- якщо пошкодження вимощення (SA) і окремі тріщини, вибоїни стін в підвальних приміщеннях (SB) то тріщини фундаменту (SC);
Стіни (зовнішні та внутрішні)	якщо SC і SD то SE якщо SE то SM якщо SF і SK то SL	- якщо тріщини фундаменту (SC) і сліди зволоження стін підвальних приміщень (SD) то пошкодження фундаменту (SE); - якщо пошкодження фундамен-ту (SE) то тріщини стін (SM); - якщо відпадиння штукатурного шару стін (SF) і послаблення

	якщо SM і SL і SN то SP	цегляної кладки стін (SK) то пошкодження стін (SL); - якщо тріщини стін (SM) і пошкодження стін (SL) і осідання будівлі (SN) то будівля непридатна до нормальної експлуатації (категорія III) (SP);
	якщо SP то SO	- якщо будівля непридатна до нормальної експлуатації (категорія III) (SP) то ремонт будівлі (SO).

Дефекти пошкоджень конструкції стін розглядаються як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для стін згідно виду (3.12, 3.13):

$$CS(SA \wedge SB) = \min(0.2; 0.3) = 0.2$$

$$CS((SA \wedge SB) \vee SD) = \max(0.2; 0.4) = 0.4$$

$$CS(SF \vee SK) = \min(0.5; 0.5) = 0.5$$

$$CS(((SA \wedge SB) \vee SD) \vee SE) = \max(0.2; 0.4; 0.4) = 0.4$$

$$CS((((SA \wedge SB) \vee SD) \vee SE) \vee SM) \vee SF \vee SK) \vee SN) = \max(0.4; 0.5; 0.6) = 0.6$$

$$CS(((((((SA \wedge SB) \vee SD) \vee SE) \vee SM) \vee SF \vee SK) \vee SN) \vee SP) = \max(0.6; 0.6) = 0.6$$

$$\rightarrow CS_{пред}$$

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

$$CS_{висн} = CS_{пред} * CS_r = 0.6 * 0.7 = 0.42$$

На рис. 3.22 представлений ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Стіни».

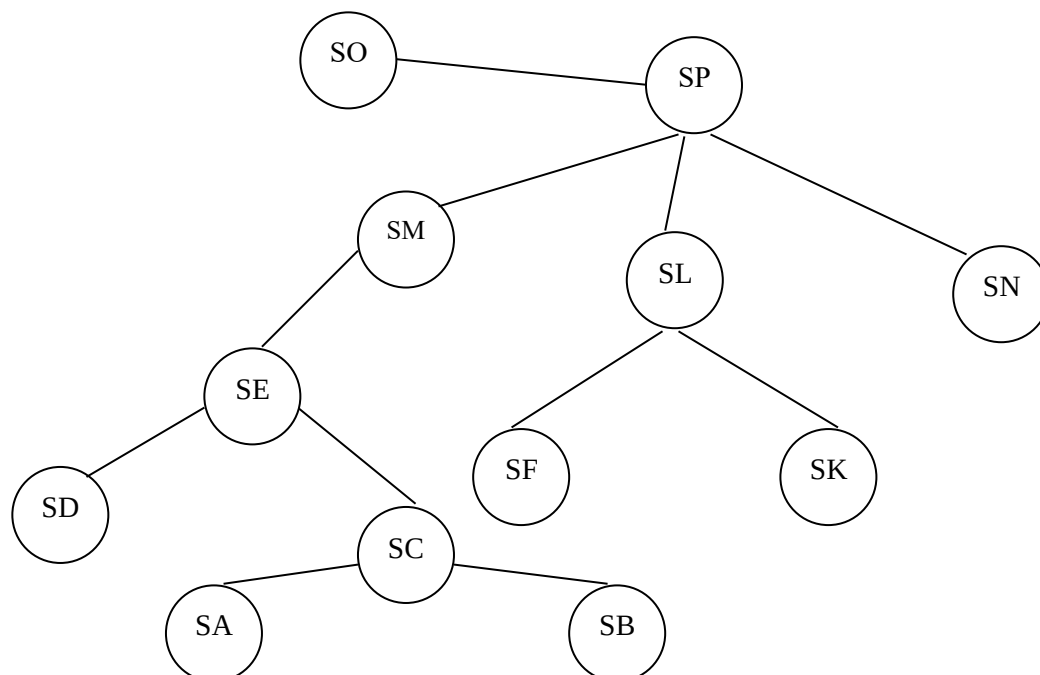


Рис. 3.22. Ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Стіни»

В таблиці 3.4 представлена база правил дефектів експертної системи для конструктивного елементу перекриття.

Таблиця 3.4

**База правил дефектів експертної системи
для конструктивного елементу перекриття**

Елементи	Формалізований запис	База правил для ланцюгу логічного виведення
1	2	3
Перекриття	якщо PA і PB то PC	- якщо тріщини та відпадини штукатурного шару стелі (PA) і сліди замокання стелі (PB) то протікання даху (PC);
Перекриття	якщо PD і PE то PF якщо PC і PF то PK якщо PK то PL	- якщо ураження верхнього шару деревини грибком (PD) і прогин балок і прогонів (PE) то пошкодження дерев'яного перекриття (PF); - якщо протікання даху (PC) і пошкодження дерев'яного перекриття (PF) то перекриття непридатне до нормальної експлуатації (PK); - якщо перекриття непридатне до нормальної експлуатації (PK) то провести часткову заміну настилу перекриття III (PL);

Дефекти пошкоджень конструкції перекриття розглядаються як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для перекриття згідно виду (3.12, 3.13):

$$CP(PA \wedge PB) = \min(0.2; 0.3) = 0.2$$

$$CP(PD \wedge PE) = \min(0.6; 0.7) = 0.6$$

$$CP((PA \wedge PB) \vee (PD \wedge PE)) = \max(0.2; 0.6) = 0.6$$

$$CP(((PA \wedge PB) \vee (PD \wedge PE)) \vee PK) = \max(0.6; 0.66) = 0.65 \rightarrow CP_{пред}$$

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

$$CP_{висн} = CP_{пред} * CP_r = 0.65 * 0.7 = 0.45$$

На рис. 3.23 представлений ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Перекриття».

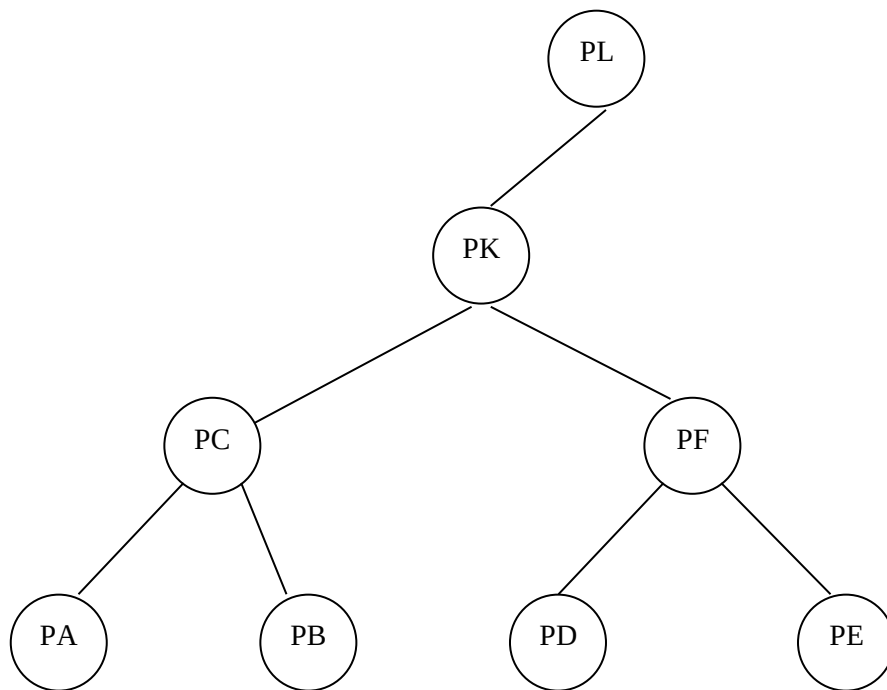


Рис. 3.23. Ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Перекриття»

В таблиці 3.5 представлена база правил дефектів експертної системи для конструктивного елементу даху.

Таблиця 3.5

**База правил дефектів експертної системи
для конструктивного елементу даху**

Елементи	Формалізований запис	База правил для ланцюгу логічного виведення
1	2	3
Дах	якщо DA і DB то DC	- якщо розтріскування або розсихання дерев'яних фронтонів даху (DA) і ураження гниллю деревини, зволоження (DB) то протікання даху (DC);
Дах	якщо DD і DE то DF якщо DC і DF то DK	- якщо відсутність димаря (DD) і наявність додаткових тимчасових кріплень крокв'яних ніг (DE) то пошкодження даху (DF); - якщо протікання даху (DC) і пошкодження даху (DF) то ремонт даху (DK).

Дефекти пошкоджень конструкції даху розглядається як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для даху згідно виду (3.12, 3.13):

$$CD(DA \wedge DB) = \min(0.55; 0.45) = 0.45$$

$$CD(DD \wedge DE) = \min(0.6; 0.6) = 0.6$$

$$CD((DA \wedge DB) \vee (DD \wedge DE)) = \max(0.45; 0.6) = 0.6 \rightarrow CD_{пред}$$

Допускаємо, що коефіцієнт впевненості правила $CD_r = 0.8$, тоді:

$$CD_{висн} = CD_{пред} * CD_r = 0.6 * 0.8 = 0.48$$

На рис. 3.24 представлений ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Дах».

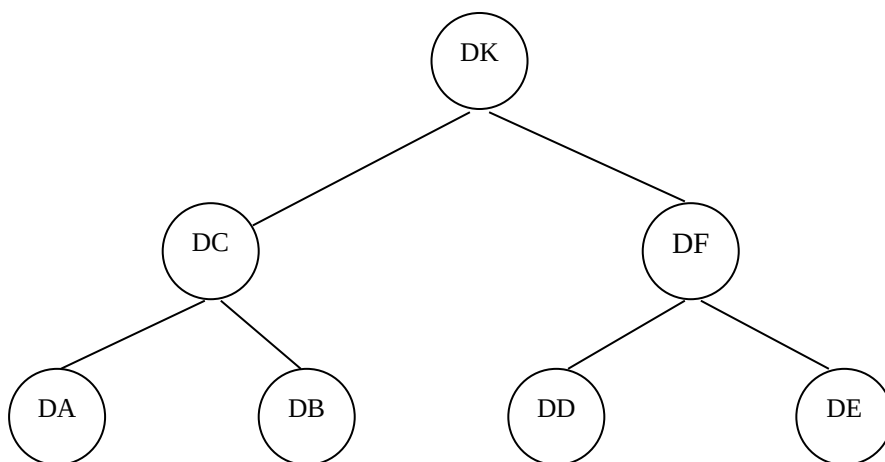


Рис. 3.24. Ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Дах»

В таблиці 3.6 представлена база правил дефектів експертної системи для конструктивного елементу покрівлі.

Таблиця 3.6

**База правил дефектів експертної системи
для конструктивного елементу покрівлі**

Елементи	Формалізований запис	База правил для ланцюгу логічного виведення
1	2	3
Покрівля	якщо KA і KB і KC то KD якщо KE і KD	- якщо сколи, вибоїни шиферу (KA) і відсутність на окремих ділянках листів покрівлі (KB) і послаблення кріплень окремих листів шиферу к обрешітці (KC) то пошкодження покрівлі (KD); - якщо пошкодження покрівлі (KD)

	то KF	і відсутність частини настінних жолобів та оброблення (KE) то ремонт елементів покрівлі з частковою або повною заміною листів (KF);
	якщо KF то KK	- якщо ремонт елементів покрівлі з частковою або повною заміною листів (KF) то покрівля знаходиться в непридатному стані (KK).

Дефекти пошкоджень конструкції розглядаються як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для покрівельних матеріалів згідно виду (3.12, 3.13):

$$CK(KA \vee KB \vee KC) = \max(0.4; 0.5; 0.6) = 0.6$$

$$CK((KA \vee KB \vee KC) \vee KE) = \max(0.6; 0.75) = 0.75$$

$$CK(((KA \vee KB \vee KC) \vee KE) \vee KF) = \max(0.75; 0.75) = 0.75 \rightarrow CK_{пред}$$

Допускаємо, що коефіцієнт впевненості правила $CK_r = 0.8$, тоді:

$$CK_{висн} = CK_{пред} * CK_r = 0.75 * 0.8 = 0.6$$

На рис. 3.25 представлений ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Покрівля».

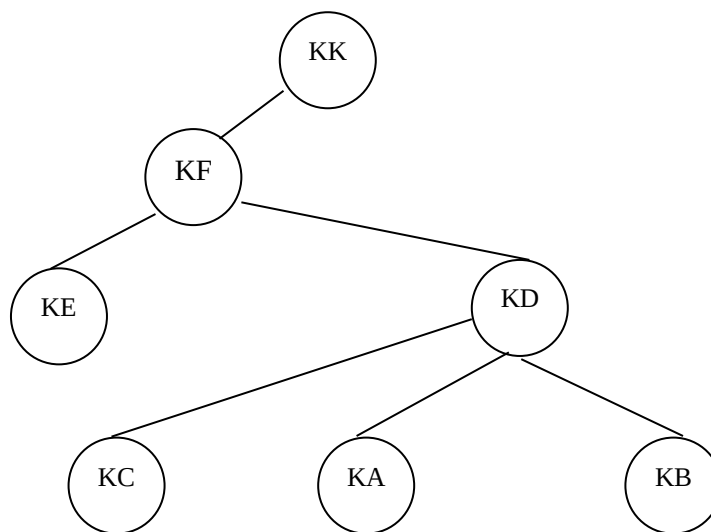


Рис. 3.25. Ланцюг логічного виведення при роботі експертної системи для конструктивного елементу «Покрівля»

Відповідність стану будівлі до коефіцієнта впевненості окремого конструктивного елемента (табл. 3.7):

Таблиця 3.7

Коефіцієнти впевненості нормативного стану

№ п/п	Нормативний стан	Коефіцієнт впевненості
1	2	3
1	II – задовільний	0,00....0,25
2	II/III – задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації	0,25....0,50
3	III – непридатний до нормальної експлуатації	0,50.....0,75
4	IV – аварійний	0,75.....1,00

Таким чином категорія технічного стану кожного конструктивного елементу будівлі, що були розглянуті відповідно до отриманих результатів та представлені в табл. 3.8:

Таблиця 3.8

Категорія технічного стану кожного конструктивного елементу будівлі, що були розглянуті відповідно до отриманих результатів

№ п/п	Конструктивний елемент	Кількісна оцінка дефекту	Категорія технічного стану
1	2	3	4
1	Фундаменти	0,6	3
2	Стіни (зовнішні та внутрішні)	0,42	2/3
3	Перекриття	0,45	2/3
4	Дах	0,48	2/3
5	Покрівля	0,6	3

Згідно проведеного дослідження, зроблений висновок: *характер пошкоджень основних конструктивних елементів будівлі характеризує стан будівлі як непридатний до нормальної експлуатації (категорія III).*

По результатам дослідження можна зробити наступний висновок, що нечіткі системи дозволяють вирішувати задачі інформаційної технології для підтримки прийняття рішень щодо діагностики технічного стану, розробка бази знань експертної системи, дослідження та реалізація на основі апарату нечіткої логіки моделі діагностики технічного стану будівель, розробка та дослідження ланцюгів логічного виведення оцінки дефектів та пошкоджень конструктивних елементів будівлі, які можуть бути основою при обстеженні технічного стану.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3

1. Проведений аналіз нечітких систем, які дозволяють вирішувати задачі інформаційної технології для підтримки прийняття рішень щодо діагностики технічного стану; досліджувати та реалізовувати на основі апарату нечіткої логіки моделі діагностики технічного стану будівель.

2. Розглянута організація нечіткого виведення експертної системи при обстеженні та діагностики технічного стану будівель.

3. Розроблена база знань основних дефектів та пошкоджень основних конструктивних елементів будівлі при обстеженні технічного стану.

4. Розроблені та досліджені ланцюги логічного виведення оцінки дефектів та пошкоджень конструктивних елементів будівлі, які можуть бути основою при обстеженні технічного стану. Це все дає можливість створення та експериментального дослідження роботи експертної системи при проведенні обстеженні технічного стану основних конструктивних елементів та будівлі в цілому.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ОБСТЕЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ

4.1 Обробка експериментальних даних (результатів)

Будівлі є системами, що складаються з великого числа елементів та працюють в умовах складних станів, що деформуються. Поведінка будівельних конструкцій характеризується рядом чинників, що носять випадковий характер. Це відноситься до міцнісних характеристик матеріалів, навантаженням, діючим на елементи будівлі. В процесі виготовлення окремих елементів, їх монтажу можливі відхилення параметрів конструкцій від заданих значень. Тому для обстеження технічного стану необхідно прогнозувати можливість їх подальшої експлуатації з урахуванням взаємозв'язків і характеру формування властивостей.

Обробка експериментальних даних (результатів) експертної системи, проведення обстеження технічного стану на основі аналізу нечітких систем, розробки бази знань і ланцюгів логічного виведення оцінки основних дефектів та пошкоджень конструктивних елементів будівлі дозволить проводити моделювання експертної системи, аналізувати отримані результати експерименту роботи нечіткої системи, які підтверджуються теоретичними даними.

На рис. 4.1 представлена схема організації проведення експериментального дослідження технічного стану об'єктів обстеження.

Всі етапи системи нечіткого виводу можуть бути реалізовані по різному, так як включають в себе окремі параметри, які повинні бути фіксованими або специфіковані. Вибір конкретних варіантів параметрів кожного із етапів визначає алгоритм, який в повному об'ємі реалізує нечіткий вивід в системах правил нечітких продукції.

В даний час розроблені і широко використовуються наступні алгоритми системи нечіткого виводу: алгоритм Мамдані, алгоритм Цукамото, алгоритм Ларсена, алгоритм Сугено.

Найбільш практичне застосування в задачах нечіткого моделювання в області діагностування технічного стану будівель є алгоритм виводу Мамдані та алгоритм Сугено, що дають можливість обґрунтувати прийняте рішення, дозволяють працювати з великими об'ємами даних, показують більш високу точність. Тому ці алгоритми мають найбільш практичне застосування, та в цілому дозволяють проводити спостереження деформаційних процесів та приймати заходи щодо подальшої експлуатації як конструктивних елементів так і будівлі в цілому, в залежності від побудови та застосовування бази правил системи нечіткого виводу.

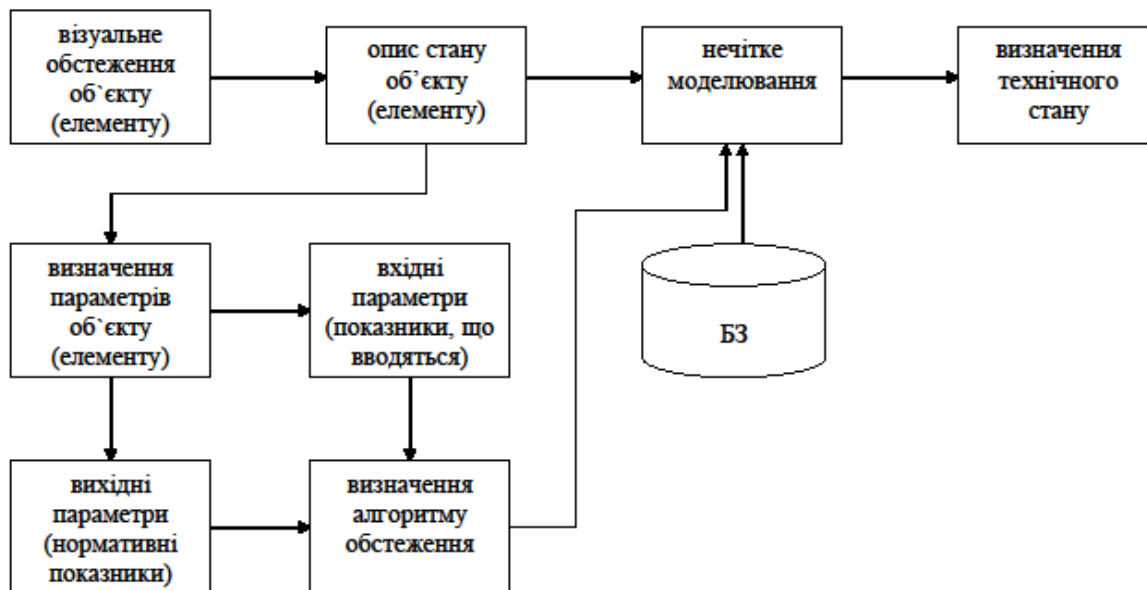


Рис. 4.1. Схема організації проведення експериментального дослідження технічного стану об'єктів обстеження

Алгоритм Мамдані складається з наступних етапів:

1. Формування бази правил системи нечіткого виводу.
2. Фазифікація вхідних змінних.

3. Агрегація підумов в нечітких правилах продукцій. Для знаходження ступеню істиності умов кожного із правил нечітких продукцій використовуються парні нечіткі логічні операції. Правила, ступінь істиності умов яких відмінна від нуля, вважається активними та застосовуються для розрахунків.

4. Активізація підвисновків в правилах нечітких продукцій.

5. Акумуляція висновків правил нечітких продукцій.

6. Дефазифікація вихідних змінних. Використовується метод центру тяжіння або метод центру площі.

На рис. 4.2 представлена загальна схема експертного дослідження технічного стану об'єктів методом центру тяжіння за алгоритмом Мамдані.

Розглянемо приклад експериментального дослідження при обстеженні технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні).

Необхідно розробити модель обстеження технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні) за алгоритмом Мамдані.

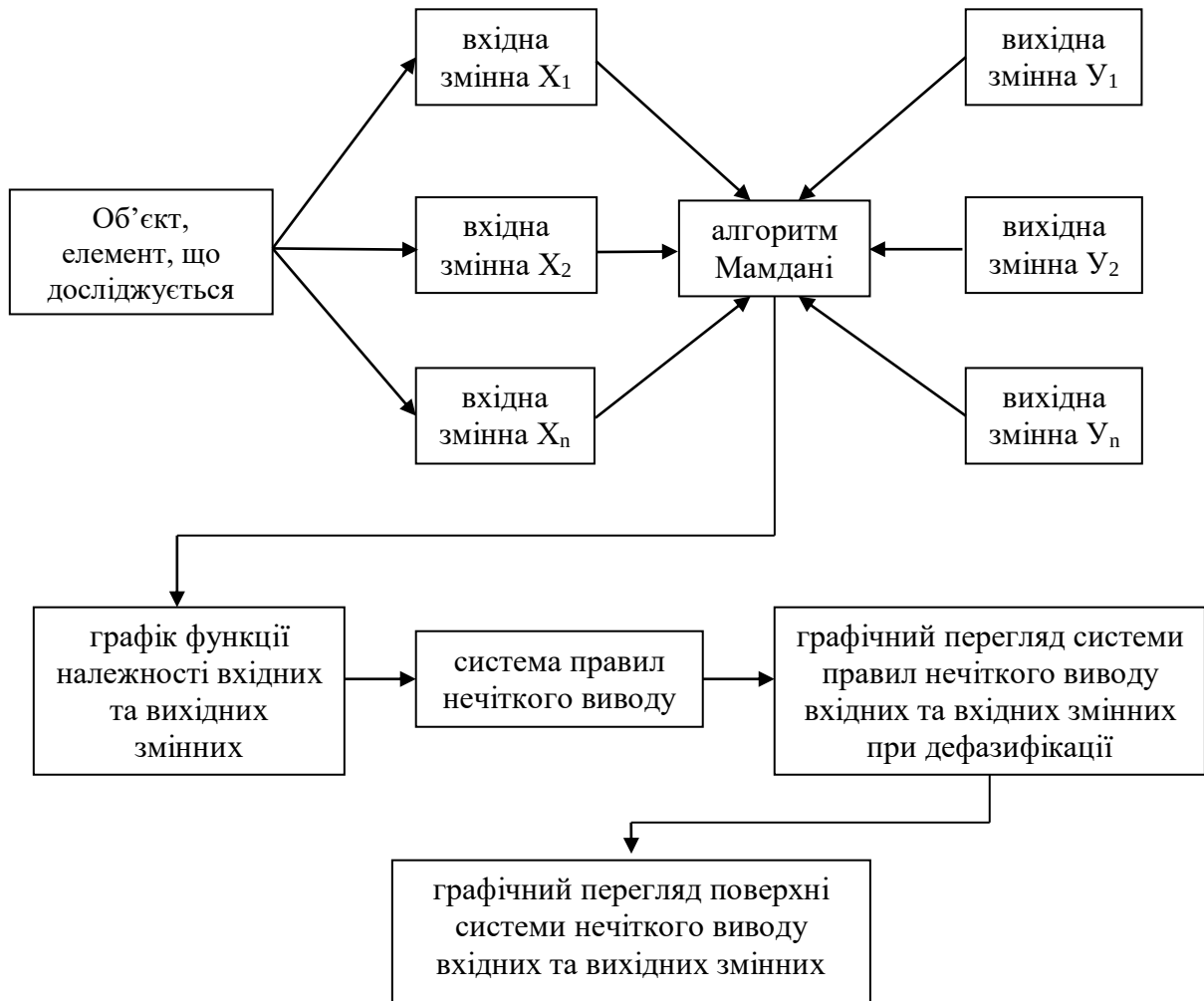


Рис. 4.2. Загальна схема експертного дослідження технічного стану об'єкту методом центру тяжіння за алгоритмом Мамдані

На рис. 4.3 представлений приклад реалізації експертного дослідження технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні). На цій структурній схемі запропонована методика дослідження технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні) методом центру тяжіння за алгоритмом Мамдані при вхідних (ширина розкриття тріщин, що вводиться) змінних та вихідних (нормативні показники, показники фізичного зносу при визначенні категорії технічного стану конструкції) змінних.

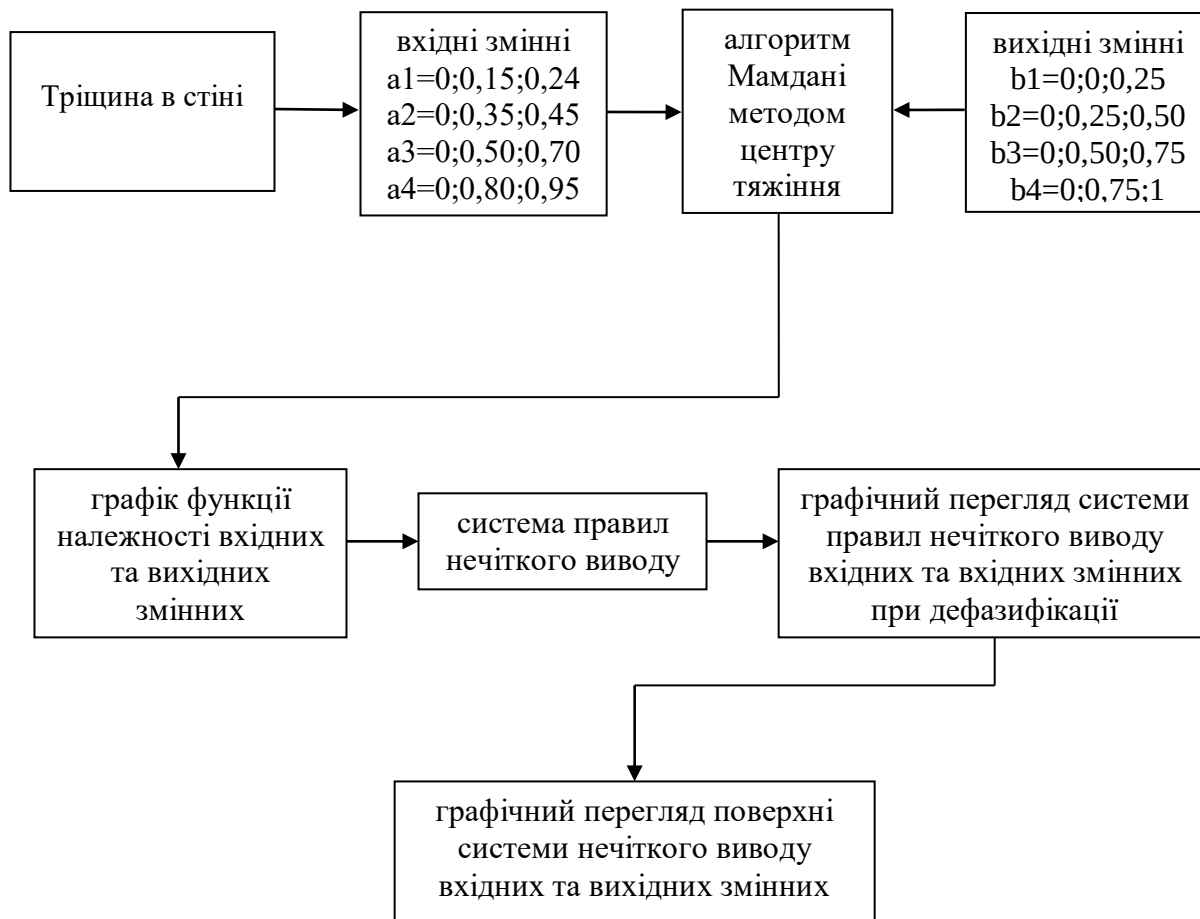


Рис. 4.3. Приклад реалізації експертного дослідження технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні) методом центру тяжіння за алгоритмом Мамдані

Для цього на початку обстеження (рис. 4.4) вводимо довільно по одній (можна декілька) вхідній лінгвістичній змінній (ширина розкриття тріщин, які розглянуті на прикладі та є типовими при обстеженні конструкції) та вихідній (можна декілька) лінгвістичній змінній (нормативні данні фізичного зносу ширини розкриття тріщин при визначенні категорії технічного стану конструкції керуючись положенням “Правила оцінки фізичного зношення будинків. ВСН 53-86(р)”.

На рис. 4.5 та рис. 4.6 представлений редактор функції належності, який в графічному режимі дозволяє аналізувати всі функції належності, змінювати ім'я, тип, параметри. Для кожної вхідної та вихідної лінгвістичної змінної вводимо всі необхідні параметри, які необхідно аналізувати.

На рис. 4.7 представлений редактор правил системи нечіткого виводу, який дає можливість аналізувати та вводити правила продукції системи нечіткого виводу.

На рис. 4.8 представлений графічний перегляд системи нечіткого виводу, яка дозволяє можливість візуалізувати результати нечіткого виводу та

отримувати значення вихідних змінних (значення 0,529) в залежності від початкових значень вхідних змінних (при середньому значенні 0,5 який встановлює експерт при дослідженні).

На рис. 4.9 представлений графічний перегляд поверхні системи нечіткого виводу, який візуалізувати графіки залежності вихідних змінних від окремих вхідних змінних.

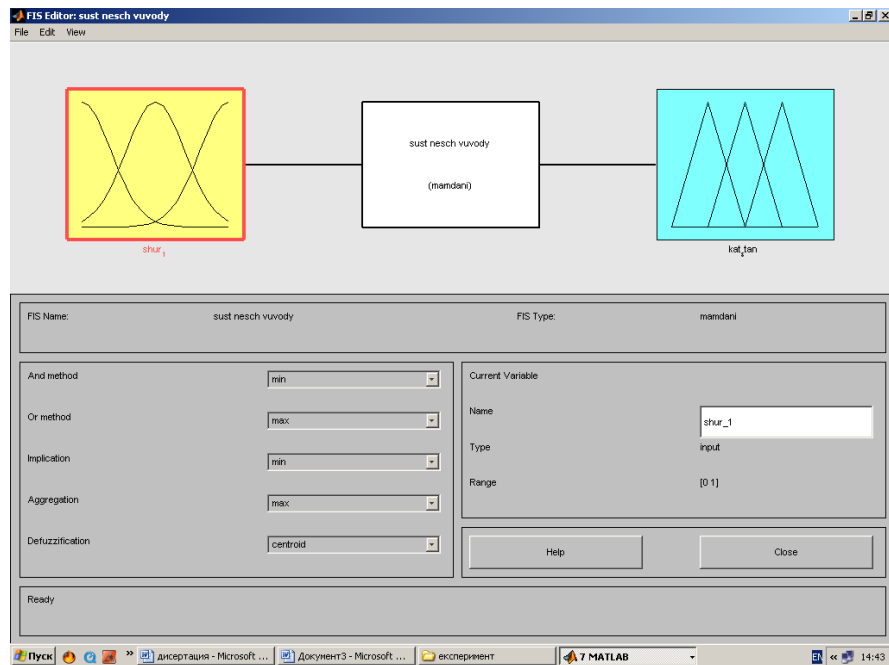


Рис. 4.4. Графічний редактор системи нечіткого виводу

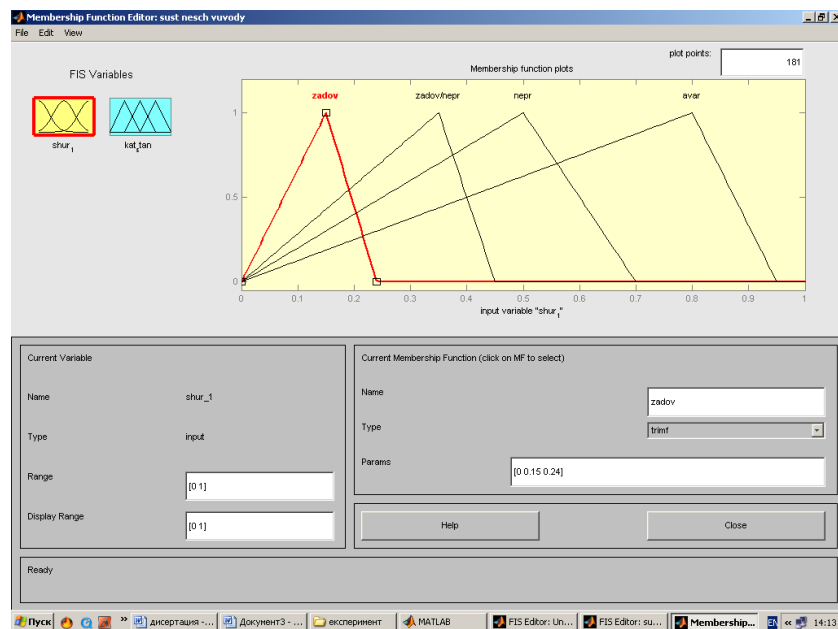


Рис. 4.5. Редактор функції належності для вхідної змінної

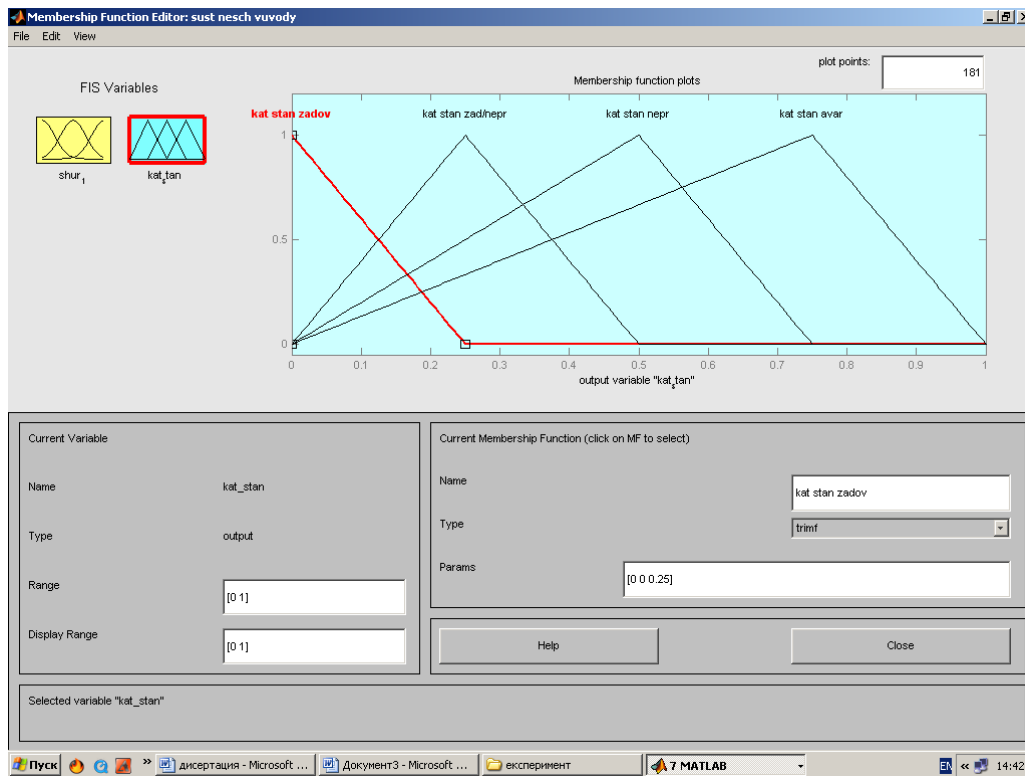


Рис. 4.6. Редактор функції належності для вихідної змінної

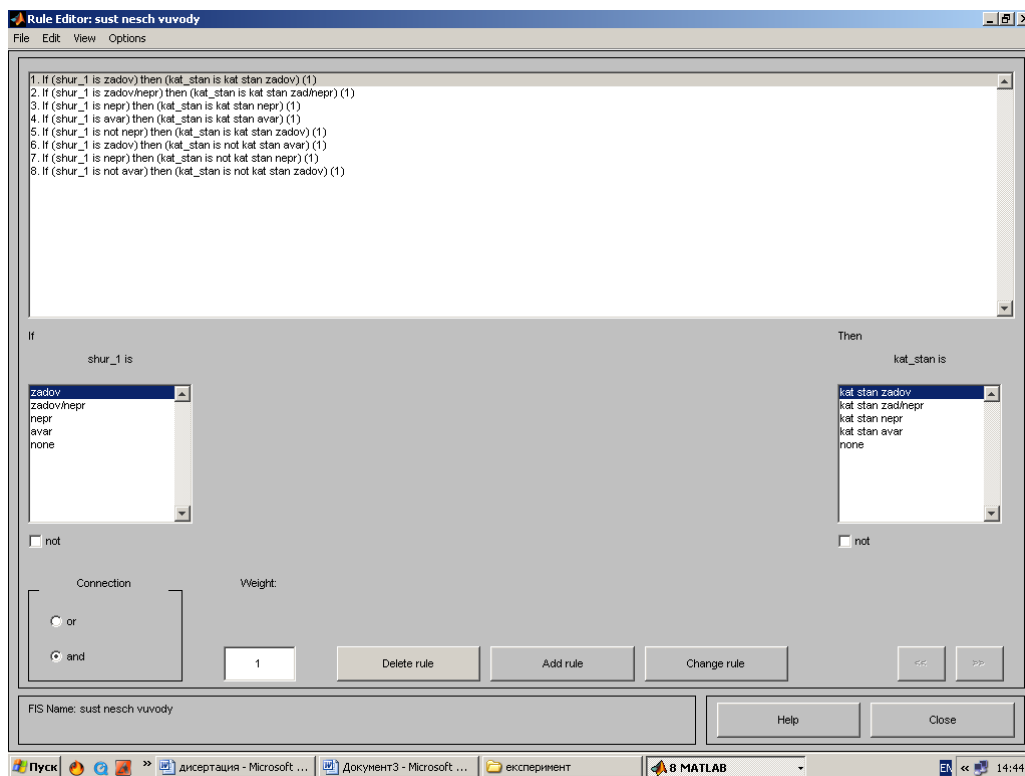


Рис. 4.7. Редактор бази правил системи нечіткого виводу

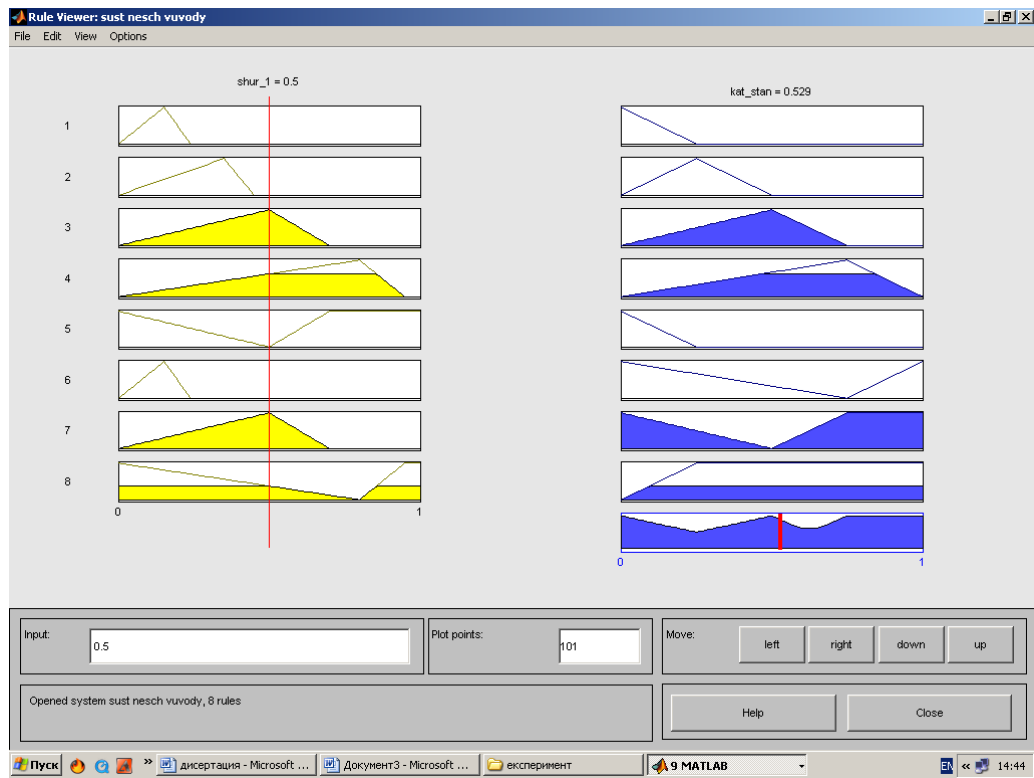


Рис. 4.8. Графічний перегляд системи нечіткого виводу

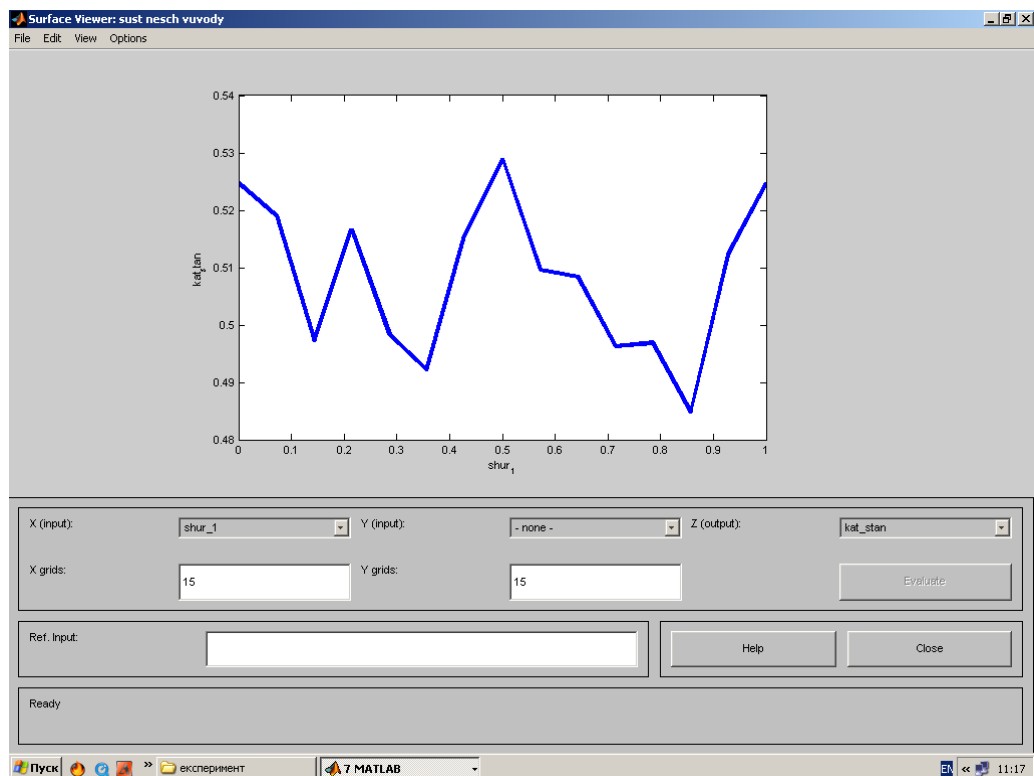


Рис. 4.9. Графічний перегляд поверхні системи нечіткого виводу

В результаті проведеного експерименту, який був отриманий на прикладі дослідження технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні) методом центру тяжіння за алгоритмом Мамдані при вхідних (ширина розкриття тріщин) змінних та вихідних (нормативні данні, показники фізичного зносу при визначенні категорії технічного стану елементу) змінних в подальшому дає можливість аналізувати та прогнозувати надалі як буде вести себе тріщина при різних вхідних даних в залежності від побудови бази правил системи нечіткого виводу та отримувати значення вихідних змінних в залежності від початкових значень вхідних змінних.

На рис. 4.9 отриманий графік поверхні системи нечіткого виводу, на якому відображені основні піки розвитку деформації пошкодженої конструкції в залежності від категорії технічного стану нормативних документів (*kat stan*) та ширини розкриття тріщин, що задається (*shur*).

На графіку можна проаналізувати, що найбільшим піком деформації тріщини в стіні є значення ширини розкриття тріщини 0,5 мм при категорії технічного стану 0,529 мм, яка означає, що тріщина стіни знаходиться в стані непридатної щодо нормальної та безпечної експлуатації.

Це все дає можливість в подальшому проводити процес спостереження деформаційних процесів та приймати заходи щодо подальшої експлуатації як конструктивних елементів так і будівлі в цілому, в залежності від побудови та застосовування бази правил системи нечіткого виводу.

Для порівняння на рис. 4.10 – 4.16 представлена система нечіткого виводу за алгоритмом Сугено. Для систем нечіткого виводу типу Сугено вибирається метод зваженого середнього.

Алгоритм Сугено складається з наступних етапів:

1. Формування бази правил системи нечіткого виводу. В базі правил застосовуються тільки правила нечітких продукцій і форми:

ПРАВИЛО <#>: ЯКЩО " $\beta_1 \in \alpha'$ "

І " $\beta_2 \in \alpha''$ ",

ТО " $w = \epsilon_1 \times a_1 + \epsilon_2 \times a_2$ ",

де ϵ_1, ϵ_2 – вагові коефіцієнти. Значення вихідної змінної w в заключенні визначається як деяке дійсне число.

2. Фаззифікація вхідних змінних.

3. Агрегація підумов в нечітких правилах продукцій. Для знаходження ступеню істиності умов кожного із правил нечітких продукцій використовується логічна операція *min* – кон'юнкції. Правила, ступінь істиності умов яких відмінна від нуля, вважається активними та застосовуються для подальших розрахунків.

4. Активізація підвисновків в правилах нечітких продукцій. В результаті визначається множина значень та множина значень вихідних змінних.

5. Акумуляція висновків правил нечітких продукцій. Фактично відсутнє, так як розрахунки здійснюються з дійсними числами.

6. Дефазифікація вихідних змінних. Використовується модифікація методу центру тяжіння для одноточкових множин.

На рис. 4.10 представлений приклад реалізації експертного дослідження технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні) методом зваженого середнього за алгоритмом Сугено.

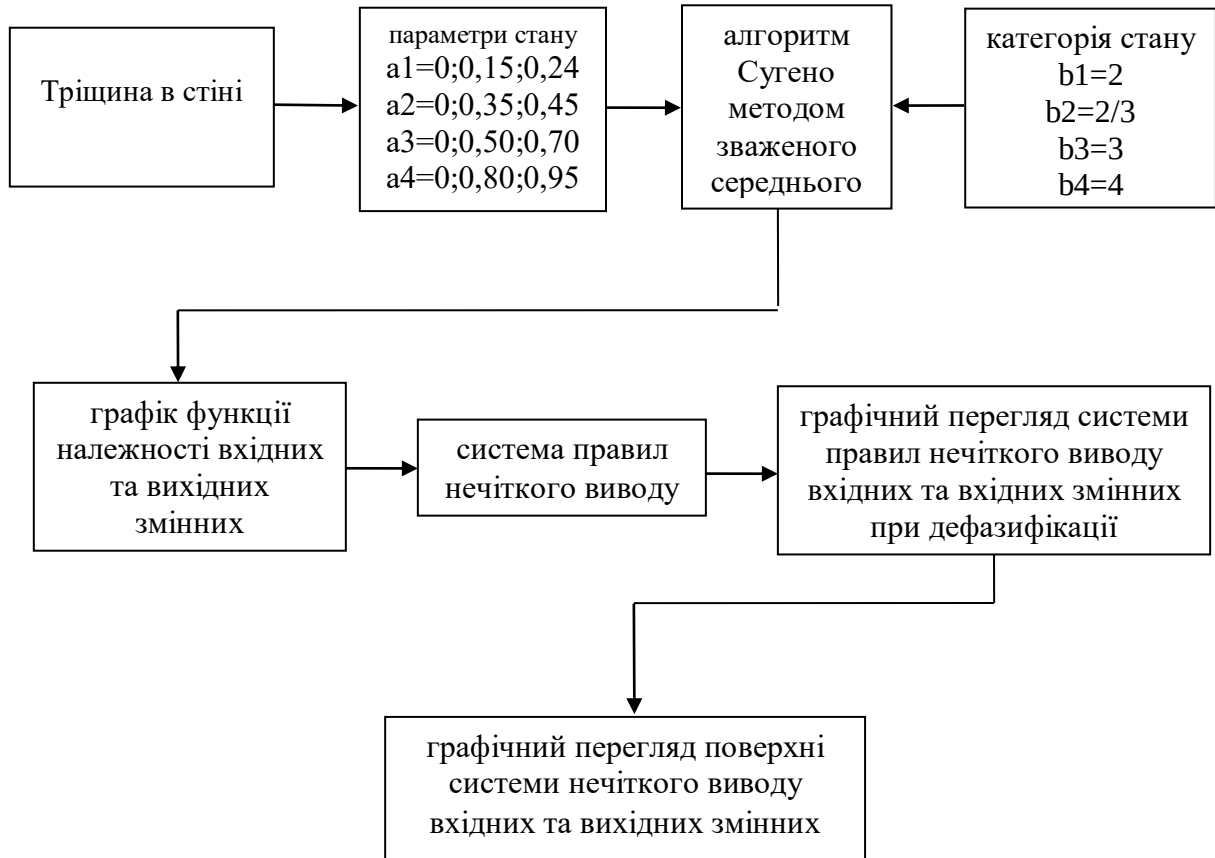


Рис. 4.10. Приклад реалізації експертного дослідження технічного стану конструктивного елементу (тріщина в стіні) методом зваженого середнього за алгоритмом Сугено

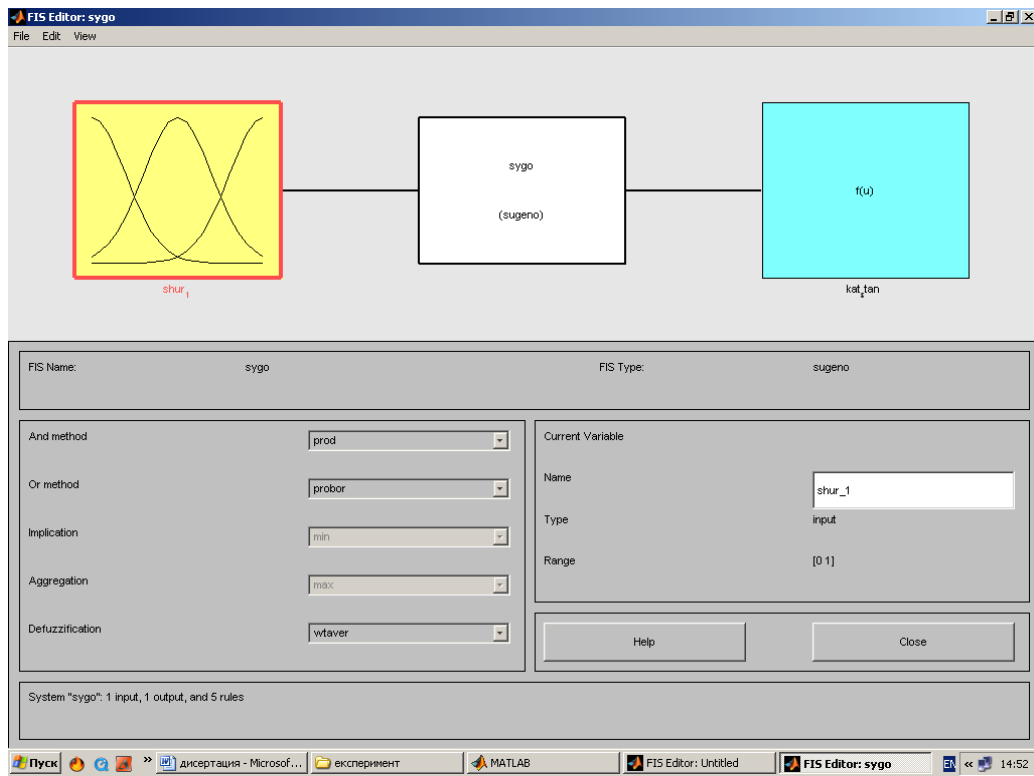
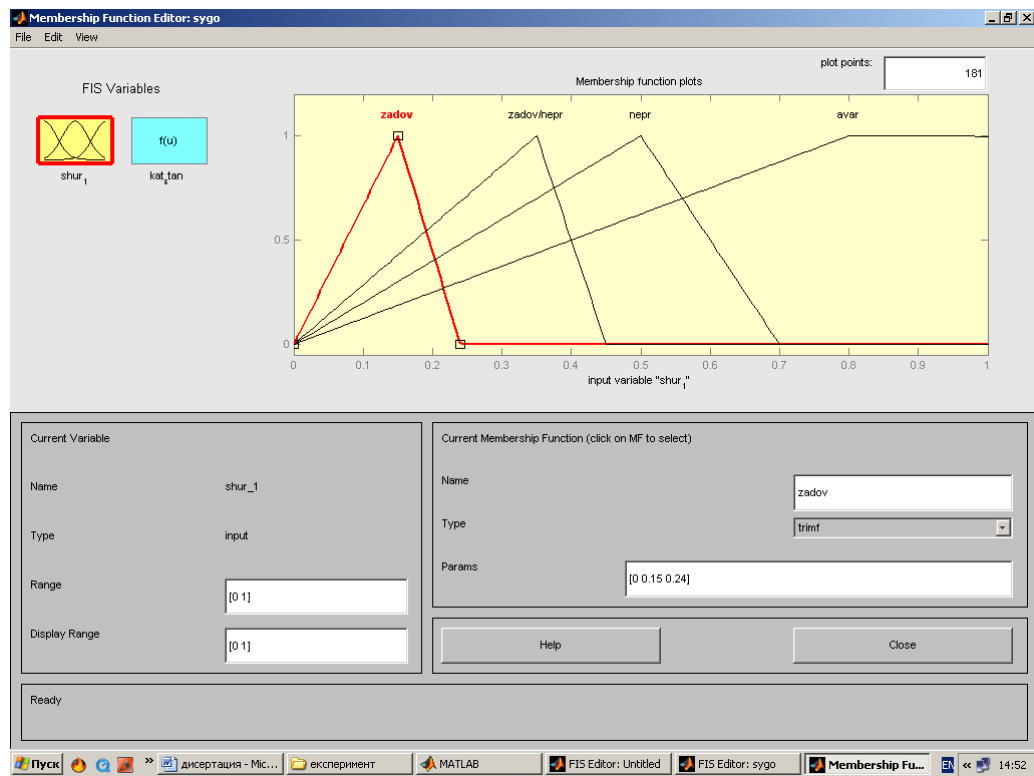


Рис. 4.11. Графічний редактор системи нечіткого виводу

Рис. 4.12. Редактор функції належності
ширини розкриття тріщин

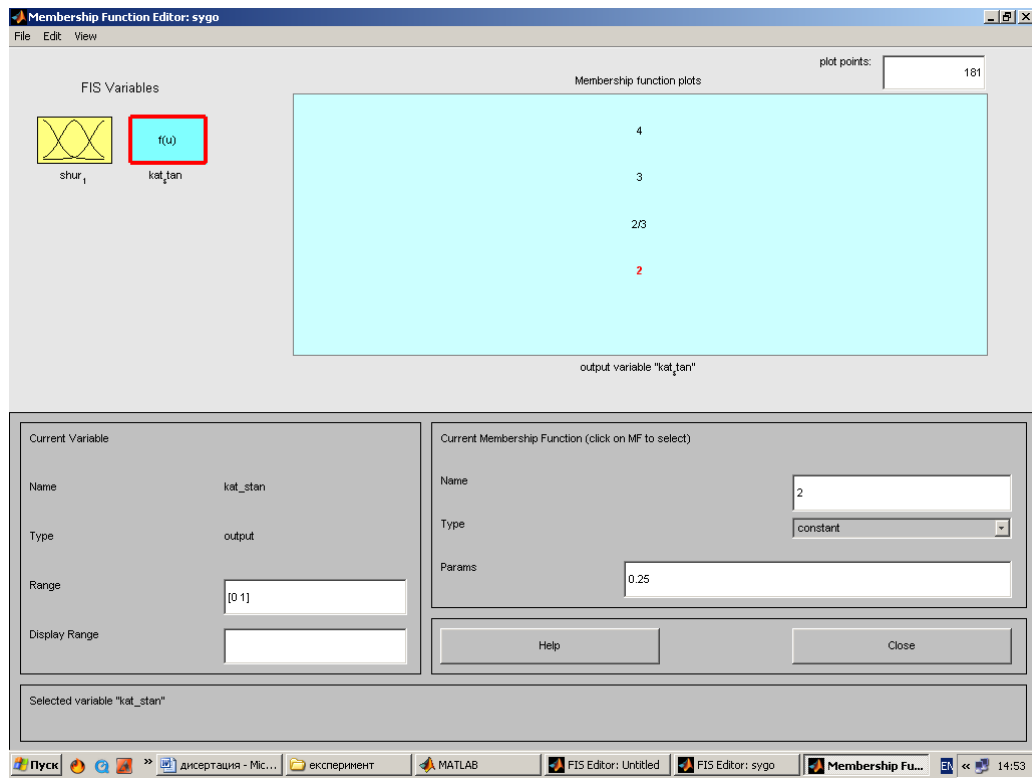


Рис. 4.13. Редактор функції належності
категорії технічного стану

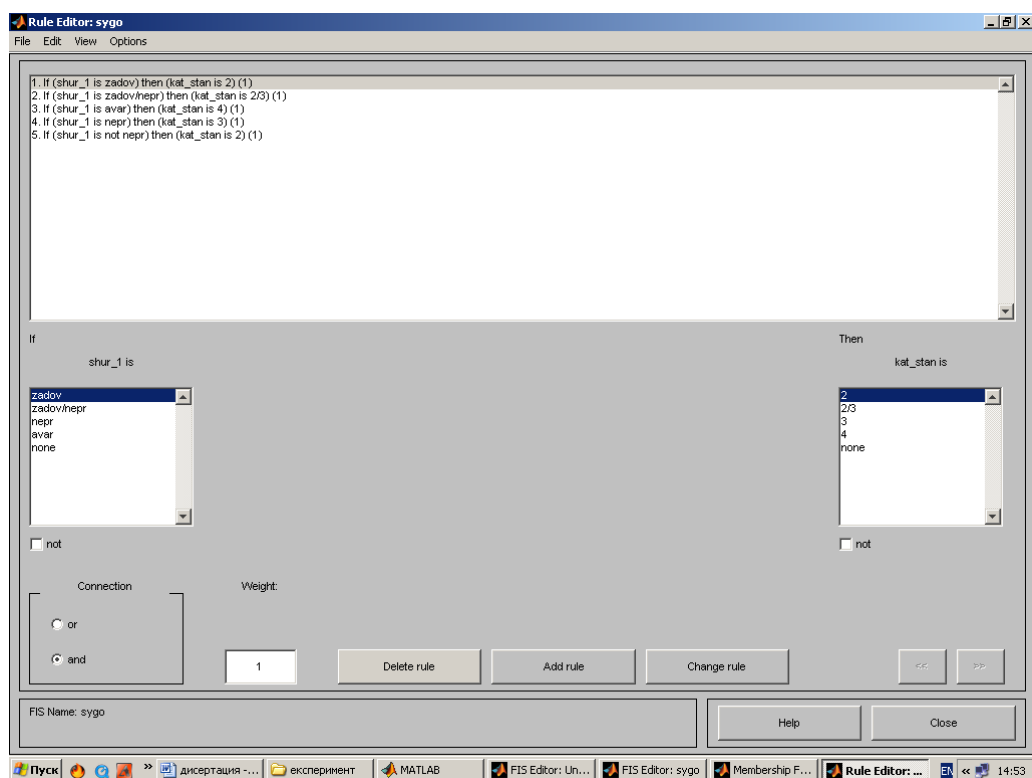


Рис. 4.14. Редактор бази правил системи нечіткого виводу

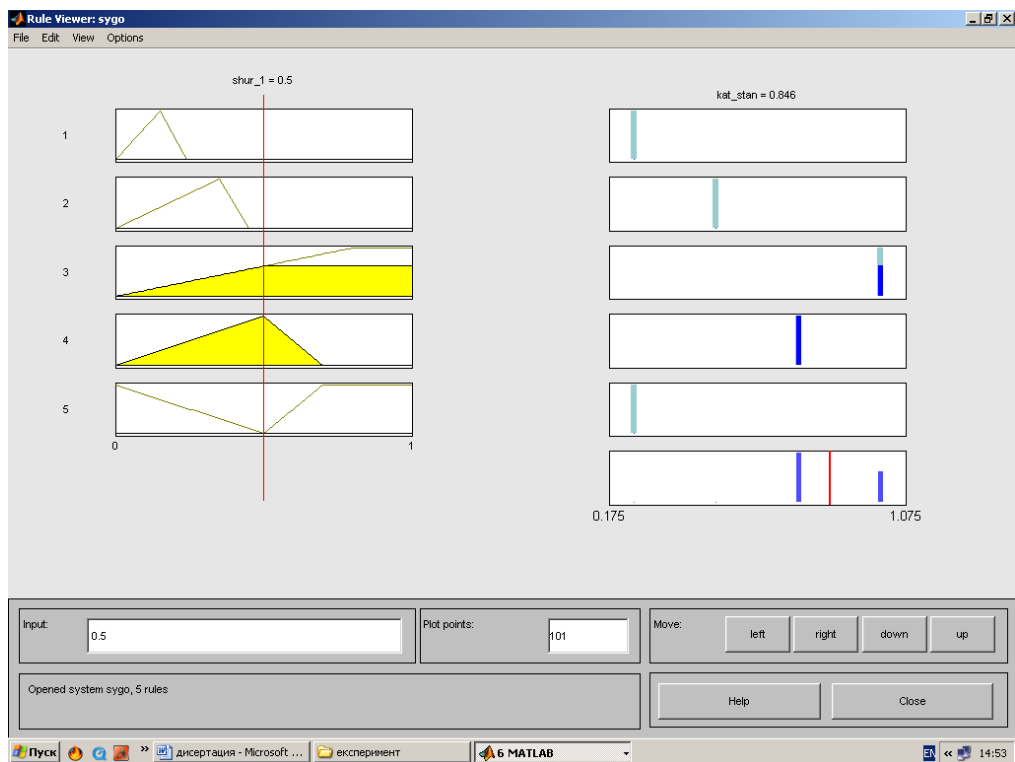


Рис. 4.15. Графічний перегляд системи нечіткого виводу

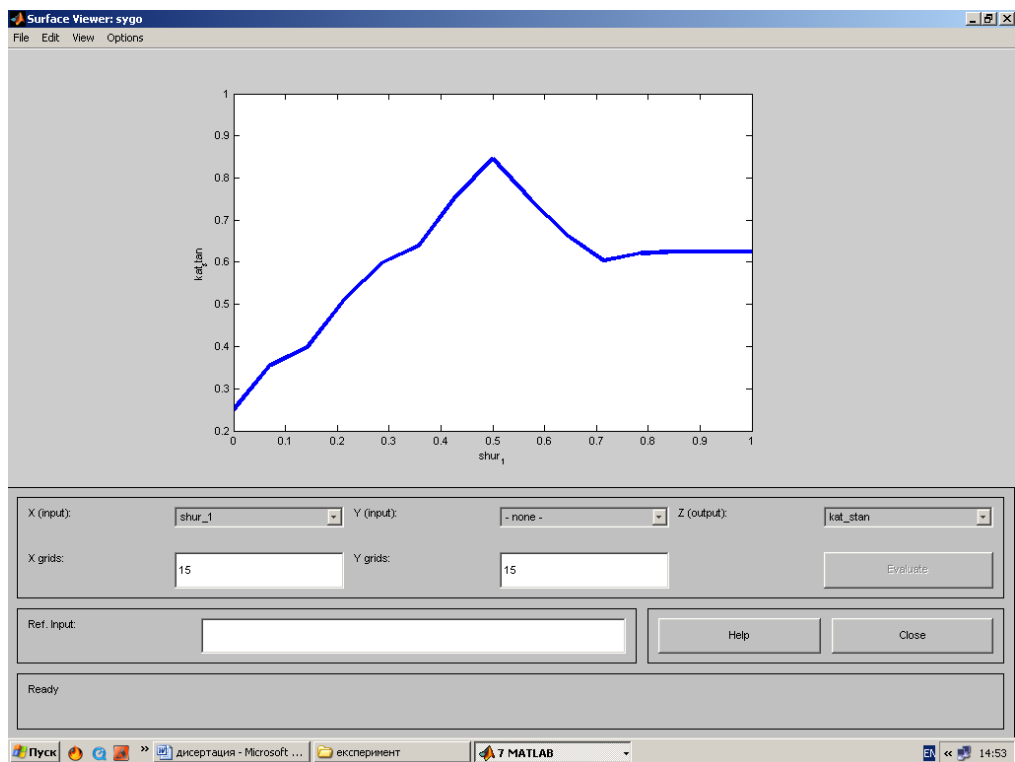


Рис. 4.16. Графічний перегляд поверхні системи нечіткого виводу

В результаті проведенного експерименту на основі алгоритму Сугено (рис. 4.16) маємо, що на графіку поверхні системи нечіткого виводу, на якому відображені основні піки розвитку деформації пошкодженої конструкції в залежності від категорії технічного стану (*kat stan*) та ширини розкриття тріщин (*shur*), найбільшим піком деформації тріщини в стіні є значення ширини розкриття тріщини 0,5 мм при категорії технічного стану 0,846 мм, яка означає, що тріщина стіни знаходиться в стані аварійності.

Після порівняння алгоритмів Мамдані та Сугено можна сказати, що ці моделі відрізняються форматом бази знань та процедурою дефазифікації. Всі ці моделі є універсальними апроксиматорами, але при значних об'ємах виборки експериментальних даних ідентифікація за допомогою моделі типу Сугено забезпечує більшу точність. На прикладі дослідження видно, що найбільшим піком деформації є значення ширини розкриття тріщини 0,5 мм при категорії технічного стану 0,846 мм, яка означає, що тріщина стіни знаходиться в стані аварійності, але при цьому виникають труднощі зі змістовною інтерпретацією параметрів нечіткої моделі та поясненням логічного виводу. За допомогою моделі типу Мамдані таких труднощій не виникає, її параметри після навчання легко інтерпретируються змістовно. Тому, на прикладі дослідження видно, що найбільшим піком деформації є значення ширини розкриття тріщини 0,5 мм при категорії технічного стану 0,529 мм, яка означає, що тріщина стіни знаходиться в стані непридатної до нормальної експлуатації. Тому для задач, де більш важна точність ідентифікації, краще застосовувати нечіткі моделі типу Сугено, а для задач де більш важливим є пояснення, обґрунтування прийнятого рішення, будуть мати перевагу нечіткі моделі типу Мамдані.

Аналіз експерименту показав, що модель типу Сугено дозволяє працювати з великими об'ємами даних, показує більш високу точність, ніж модель типу Мамдані, при ідентифікації нелінійних залежностей.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4

1. Проаналізовані результати експерименту з моделювання системи обстеження технічного стану та отримані результати, які відображені основні піки розвитку деформації пошкодженої конструкції в залежності від категорії технічного стану (*kat stan*) та ширини розкриття тріщин (*shur*).

2. Проведені експериментальні дослідження роботи нечіткої системи та отримані результати, які підтверджені теоретичними даними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барашиков А. Я. Технічна експлуатація будівель і міських територій: Підручник / А. Я. Барашиков, В. О. Гомілко, О. М. Малишев. – К.: Вища шк, 2000. – 112 с.
2. Барашиков А. Я. Оцінка технічного стану будівельних конструкцій, будівель та споруд / А. Я. Барашиков, А. Н. Малишев. – К.: 1998. – 250 с.
3. Бачинська Л. Г. Про сучасне багатоповерхове будівництво житла. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. / Л. Г. Бачинська. Наук.-техн. зб. К. КНУБА. вип. 11-12, 2003. – С. 217 – 222.
4. Бойко М. Д. Техническое обслуживание, ремонт зданий и сооружений: Учебн. пособие для вузов / М. Д. Бойко. – М.: Стройиздат, 1986. – 256 с.
5. Борисов В. В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В. В. Борисов, И. А. Бычков, А. В. Дементьев, А. П. Соловьёв. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 154 с.
6. Бочков А. П. Моделирование развитие технических систем / А. П. Бочков. – СПб.: МО, 1992. – 106 с.
7. Бочков А. П. Модели и методы управления развитие технических систем. Учебное пособие / А. П. Бочков, Д. П. Гасюк, А. Е. Филлюстин: - СПб.: Издательство «Союз», 2003. – 288 с.
8. Булгаков С. Н. и др. Мониторинг и оценка технического состояния жилых домов при локальных аварийных воздействиях / С. Н. Булгаков и др. – « – , С. 190 – 206.
9. Вахненко П. Ф. Реконструкція будівель і споруд агропромислового комплексу /П. Ф. Вахненко, В. П. Вахненко, Є. В. Клименко. – К.: Урожай, 1994. – 296 с.
10. Вахненко П. Ф. Реконструкция сельскохозяйственных зданий и сооружений: Справочник / П. Ф. Вахненко, В. П. Вахненко, Ю. Д. Гармаш. – К.: Урожай, 1993. – 280 с.
11. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 1997. – 510 с.
12. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Системный анализ и управление» / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – Изд-во СПбГТУ, 2001. – 512 с.
13. Гайна Г. А. Автоматизовані системи прийняття та оцінки якості проектних рішень у будівництві / Г. А. Гайна, П. Є. Григоровський, О. О. Терентьев. – К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний збірник, випуск 45/2004, НДІБВ, 2004. – С. 47 – 52.

14. Гайна Г. А. Створення автоматизованої системи обробки і збереження інформації щодо технічного стану будівель та споруд / Г. А. Гайна, П. Є. Григоровський, О. О. Терентьев. – К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний збірник, випуск 46/2005, НДІБВ, 2005. – С. 54 – 57.
15. Гайна Г. А. Використання інформаційних технологій для діагностики технічного стану будівель /Терентьев О. О., Ластівка Р. В., Полторак О. Б.// – К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 49/2008, НДІБВ, 2008. – С. 71–75.
16. Гайна Г. А. Інформаційна технологія управління життєвим циклом /Яцик П. М., Терентьев 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.
17. Гейфман В. Л. Обстеження, капітальний ремонт і реконструкція промислових будівель і споруд / В. Л. Гейфман, А. В. Перельмутер. Ж-л “Будівництво України”, №6, 2004. – С. 32-36.
18. Гиндоян А. Г. Вопросы обследования технического состояния зданий и сооружений / А. Г. Гиндоян. Ж-л «ПГС», №2, 2006. – С. 21-22.
19. Григоровський П. Є. Автоматизація розрахунку вартості робіт з обстеження технічного стану будівель і споруд / П. Є. Григоровський, С. В. Сушко, М. Є. Заблоцька, Б. П. Потопаєв. – К.: Будівельне виробництво Вип.42/2001, НДІБВ, 2001. – С. 48 – 51.
20. Григоровський П. Є. Досвід та проблеми обстеження і паспортизації / П. Є. Григоровський, Ю. Г. Тромса, О. В. Чуканов, С. В. Сушко. – К.: Нові технології у будівництві, міжвідомчий науково-технічний збірник, НДІБВ, 2002. – С. 65-69.
21. Григоровський П. Є. Розробка інформаційної технології системи проектування і розміщення обладнання на дитячих майданчиках / Терентьев О. О.// – К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 30/2016, НДІБВ, 2016. – С. 3–7.
22. Григоровський П. Є. Інформаційна технологія роботи експертної системи діагностики технічного стану будівель /Терентьев О. О.// – К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 29/2015, НДІБВ, 2015. – С. 3–9.
23. Губій М. М. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Навч. Посібник / М. М. Губій, Є. В. Клименко. – Полтава: Полтавський держ. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка, 2000. – 147 с.
24. Гурьев В. В. и др. Современная нормативная база по мониторингу технического состояния зданий и сооружений / В. В. Гурьев и др. – «—, С. 24 – 25.
25. ДБН 362-92. Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений. /

Госкомитет Украины по делам архитектуры, строительства и охраны исторической среды. – К., 1993. – 46 с.

26. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд. / Держбуд України. – К., 2003. – 82 с.

27. Демидова А. А. Алгоритмы и системы нечёткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде MATLAB / А. А. Демидова, В. В. Кираковский, А. Н. Пылькин. – М.: Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2005. – 365 с.

28. Демидова Л. А., Кираковский В. В., Пылькин А. Н. Учет текущего состояния узлов и элементов инженерных коммуникаций в ГИС // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. Рязань; Ряз. гос. радиотехническая акад. 2004. – С. 3 – 4.

29. Демидова Л. А., Кираковский В. В., Пылькин А. Н. Диагностика неисправностей в городских инженерных сетях на основе аппарата теории нечетких множеств // Современные информационные технологии в образовании: Материалы 5-й Межрегион. науч.-практич. конф., 12-14 мая 2004 г. / Под ред. А. В. Миловзорова; Администрация Ряз. обл., Упр. по делам образования, науки и молодежной политики Ряз. обл., Ряз. обл. ин-т развития образования. Рязань, 2004. – С. 119 – 121.

30. Демидова Л. А., Кираковский В. В., Пылькин А. Н. Модель диагностики неисправностей в городских инженерных сетях // Системный анализ в проектировании и управлении: Тр. VIII Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 2. - СПб.: Нестор, 2004. – С. 103-105.

31. Дорофеев В. М. и др. О практической реализации временных норм и правил обследования технического состояния и мониторинга зданий и сооружений в Москве / В. М. Дорофеев и др. – М., С. 27 – 28.

32. Дорофеев В. М. и др. О МГСН «Предпроектное комплексное обследование и мониторинг зданий и сооружений для восстановления, реконструкции и капитального ремонта» / В. М. Дорофеев и др. Ж-л «ПГС», №12, 2004. – С. 24 – 25.

33. Дмитриев А. Н. Опыт высотного строительства в Японии. Часть 2 / А. Н. Дмитриев. Ж-л «Строительные материалы, оборудование и технологии» №7, 2005. – С. 8 – 11.

34. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН – Пресс, 2003. – 576 с.

35. Дьяконов В. П. Математические пакеты расширения MATLAB / В. П. Дьяконов, В. П. Круглов. Спец. справ. СПб.: Питер, 2001. – 480 с.

36. Заблоцький Є. Й. Методичні рекомендації визначення вартості робіт з обстеження, оцінки технічного стану і паспортизації будівель і споруд

- / Є. Й. Заблоцький, В. В. Папка, І. Т. Білецький, Б. П. Потопаєв, Л. М. Добровольська, М. Є. Заблоцька. – К.: НДІБВ, 1999. – 15 с.
37. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 160 с.
38. Інтелектуальна інформаційна технологія діагностики технічного стану будівель [Текст] : монографія /В. М. Міхайленко, О. О. Терентьев, М. І. Цюцюра // – К.: ЦП «Компринт», 2015. – С. 162.
39. Калинин В. М. Оценка технического состояния зданий: Учебник / В. М. Калинин, С. Д. Сокова. – М.: ИНФРА – М, 2006. – 268 с.
40. Киселёв Ю. Ф. Комплексное обследование технического состояния железобетонных конструкций и их защита от воздействия высоких температур /Яцык П. М., Терентьев А. А., Полторак А. Б., Ластивка Р. В.// – К.: Нові технології в будівництві, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 1-2(17-18)/2009, НДІБВ, 2009. – С. 117–120.
41. Клименко Є. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Навч. посібник / Є. В. Клименко. – Київ: Центр навчальної літератури, 2004. – 304 с.
42. Комашинский В. И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В. И. Комашинский, Д. А. Смирнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с.
43. Кривошеев П. І. Експериментальні методи дослідження будівельних конструкцій: Навч. посібник / П. І. Кривошеев. – К.: КНУБА, 2003. – 140 с.
44. Куркин Н. П. Особенности обследования и восстановления зданий при неравномерных осадках оснований и фундаментов / Н. П. Куркин. – К.: Будівельні конструкції, міжвідомчий н-т зб. вип.58, 2003. – С. 369-374.
45. Ларичев О. И. Качественные методы принятия решений / О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович. – М.: Наука, Физматлит, 1996. – 208 с.
46. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб / А. Леоненков.: БХВ. – Петербург, 2003. – 736 с.
47. Малышев Н. Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР /Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
48. Мальганов А. И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий / А. И. Мальганов, В. С. Плевков, А. И. Полищук. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1992. – 456 с.
49. Марка Д. А. SADT – методология структурного анализа и проектирования / Д. А. Марка, К. МакГоуэн. – М.: Метатехнология, 1993. – 240 с.
50. Мелихов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.

51. 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.

52. 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.

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

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

55. Михайленко В. М. Дослідження ланцюгів логічного виведення роботи експертної системи при обстеженні технічного стану будівель /Терентьєв О. О., Яцик П. М., Полторак О. Б.// – К.: Будівельне виробництво, міжвідомчий науково-технічний журнал, випуск 52/2010, НДІБВ, 2010. – С. 37-44.

56. Михайленко В. М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей /Терентьєв 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.

57. Михайленко В. М. Обробка експериментальних результатів роботи експертної системи для задачі діагностики технічного стану будівель /Терентьєв 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.

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

59. Михайленко В. М. Побудова діагностичних моделей основних конструкцій будівель / Терентьєв 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.

60. 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.

61. Нечаев Н. В. Капитальный ремонт жилых зданий / Н. В. Нечаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 207 с.
62. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
63. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 391 с.
64. Нотенко С. Н. и другие. Техническая эксплуатация жилых зданий: Учеб. для строит.вузов / А. М. Стражников, С. Н. Нотенко, А. Г. Ройтман, Е. Я. Сокова и др. – М.: Высш. шк., 2000. – 429 с.
65. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Держкомітет будівництва, архітектури та Держнаглядохоронпраці України. – К.; 1997. – 145с.
66. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – К.: НДІБВ, 2003.–144 с.
67. Панкевич О. Д. Экспертная система диагностики трещин кирпичных конструкции / О. Д. Панкевич. – Будівельні конструкції. Випуск 52, 2000. – С. 422 – 429.
68. Панкевич О. Д. Автоматизация принятия решений при определении причин трещин кирпичных конструкции. / О. Д. Панкевич, И. В. Маевская. – Будівельні конструкції. Випуск 54, 2001. – С. 528 – 534.
69. Панкевич О. Д. Модель на основі нечітких баз знань для діагностування тріщин цегляних конструкцій будівлі / О. Д. Панкевич, С. Д. Штовба. – Вісник Вінницького політехнічного інституту № 5, 2000. – С. 14 – 21.
70. Панкевич О. Д., Штовба С. Д. Диагностирование трещин строительных конструкций с помощью нечетких баз знаний / О. Д. Панкевич, С. Д. Штовба. Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2005. – 108 с.
71. Панкевич О. Д. Розпізнавання образів на основі нечіткої логіки в задачах технічного діагностування // Праці Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Оптико-електроні інформаційно-енергетичні технології». – Вінниця: Вінницький державний технічний університет. – 2001. – 52 с.
72. Перельмутер А. В. Некоторые вопросы проектирования и использования информационных технологий / А. В. Перельмутер. – К.: Строительное производство, межведомственный научно-технический сборник, выпуск 46/2005, НИИСП, 2005. – С. 30 – 42.
73. Польшаков В., Баранюк І. Моделювання процесів управління при проектуванні складних організаційних динамічних систем //Сіверянський літопис, 2002, № 2. – С.145-149.
74. Положение об организации и проведение реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-

культурного призначення. Нормы проектирования (ВСН 53-88 (р)) /Госкомархитектуры. – М.: Стройиздат, 1990. – 32 с.

75. Положення про систему технічного обслуговування, ремонту та реконструкції житлових будівель в містах і селищах України. КДП 204/12 Україна 193-91. (Додаток до наказу Держжитло-комунгоспу України від 31.12.1991 р., № 135). – Київ, 1992. – 42 с.

76. Правила оценки физического износа жилых зданий (ВСН 53-86 (р)) /Госгражданстрой. – М.: Прейскурантиздат, 1988. – 72 с.

77. Програмний комплекс “Ліра” для автоматизованого проектування і конструювання залізобетонних та металевих конструкцій, чисельного дослідження міцності і стійкості об’єктів, обліку фізичної, геометричної, конструктивної нелінійності /Держкомістобудування. – К.: НДІАСБ, 1997.

78. Програмний комплекс “Мономах” для автоматизованого проектування залізобетонних конструкцій багатопверхових каркасних будівель з режимами роботи в підсистемах конструювання стін, фундаментів, балок, колон, плит і підпірних стін /Держкомістобудування. – К.: НДІАСБ, 1997.

79. Ротштейн А. П. Принципы диагностики строительных конструкций на базе нечеткой логики / А. П. Ротштейн, О. Д. Панкевич, С. Д. Штовба. – Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. Випуск 53. Кн.2. «Будівельні конструкції. Будівлі та споруди», 2000. – С. 150 – 153.

80. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы: /Пер. с польск. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

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

82. Терентьев 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.

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

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

85. Усков А. А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечёткая логика / А. А. Усков, А. В. Кузьмин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 143 с.
86. Шагин А. Л. Реконструкция зданий и сооружений. Учеб. пособие для строит. спец, вузов / А. Л. Шагин, Ю. В. Бондаренко, Д. Ф. Гончаренко, В. Б. Гончаров. – М.: Высш. шк., 1991. – 352 с.
87. Штовба С. Д., Панкевич О. Д. Применение нечетких баз знаний в задачах технического диагностирования // Праці 3-ї Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос». – Дніпропетровськ: Національний центр аерокосмічної освіти молоді України. – 2001. – 331 с.
88. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
89. Федосова Е. В. Особенности предпроектной оценки объектов массового строительства / Е. В. Федосова, А. В. Давыдюк. – К.: Нові технології в будівництві, випуск 1/5, НДІБВ, 2003. – С. 51 – 56.
90. Франивский А. А. Технические проблемы высотного строительства и практика их решения / А. А. Франивский, И. С. Карманова, А. А. Нечепорчук, Т. В. Рунова. – К.: Строительное производство, межведомственный научно-технический сборник, выпуск 46/2005, НИИСП, 2005. – С. 3 – 15.
91. Хомерики Ю. В. Комплексная безопасность зданий и сооружений. / Ю. В. Хомерики. Ж-л «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», №1, 2005. – С. 60 – 61.
92. 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.
93. 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.
94. 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.
95. 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.
96. 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.

97. 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.

98. Shtovba S., Chernovolik G. Fuzzy Rule-Based System for Decision Making Support of Pathology Anatomist. Proc. of the ERUDIT-Workshop "Fuzzy Diagnostic and Therapeutic Decision Support" (Ed. K.-P. Adlassnig). Austria, Vienna, 2000, P.45-50.

99. Shtovba S., Rotshtein A., Pankevich O. Fuzzy Rule Based System for Diagnosis of Stone Construction Cracks of Buildings // Proc. European Symposium on Intelligent Techniques. - Aachen (Germany). – 2000 p. 402-406.

100. Shtovba S., Rotshtein A., Pankevich O. Fuzzy Rule Based System for Diagnosis of Stone Construction Cracks of Buldings. In "Advances in Computational Intelligence and Learning, Methods and Applications" (Editors: Zimmermann H-J., Tselentis G., van Someren M., Dounias G.): Kluwer Academic Publishers, 2002 page 401-412.

Навчальне видання

Терентьєв Олександр Олександрович
Русан Ігор Володимирович
Бородавка Євгеній Володимирович
Горбатюк Євгеній Володимирович
Київська Катерина Іванівна

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ
ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ**

Навчальний посібник