

УДК 69:002;69.059;626/627;721/728

*П.Є. Григоровський, к.т.н.;**О.О. Терентьев, к.т.н., НДІБВ, Київ***ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОБОТИ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ****АНОТАЦІЯ**

Дана стаття висвітлює питання, що пов'язані з розробкою інформаційної технології роботи експертної системи діагностики технічного стану конструкцій будівель, у тому числі розглянута організація нечіткого виведення експертної системи діагностики технічного стану будівель. Отримані рекомендації 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.

Ключові слова: інформаційна технологія, експертні системи, діагностика, технічний стан, будівля.

1. Вступ

Серед будівель, які експлуатуються в Україні, достатньо велика частка має пошкоджені конструкції. При обстеженні технічного стану, відновленні та реконструкції таких будівель, виникає задача діагностування пошкоджень, тобто визначення причин їх появи.

Останнім часом значно зростають обсяги робіт, пов'язані з комплексною діагностикою і оцінкою технічного стану будівельних конструкцій, будівель і споруд. Досить часто виникає ситуація, коли виконавці не мають можливості перед обстеженням вивчити технічну документацію на будівлі і споруди, що експлуатуються протягом тривалого часу. Такі роботи виділяються як самостійний напрям будівельного виробництва, що охоплює комплекс питань, пов'язаних із забезпеченням експлуатаційної надійності будинків, проведенням ремонтно-відновлювальних робіт, робіт з реконструкцією та розробкою проектної документації.

2. Мета і завдання дослідження

Вдосконалення процесу обстеження та діагностики технічного стану будівель за рахунок застосування інформаційної технології роботи експертної системи.

Одним із напрямів реалізації комплексу завдань щодо безпечної експлуатації будівель і споруд є розробка системи діагностики будівель на рівні нечітких систем.

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.

3. Аналіз літературних даних

Значний внесок у окремі аспекти зазначеного напряму внесли вітчизняні та закордонні вчені: Вейц Р.В., Клименко Є.В., Михайленко В.М., Бушуєв С.Д., Панкевич О.Д., Штовба С.Д.

Всі актуальні роботи пов'язані з тематикою основ організації і обробки експериментальних результатів роботи експертних систем діагностики технічного стану будівель, а також роботи, пов'язані з розробкою інформаційної технології оцінки технічного стану конструкцій будівель, що регламентуються положенням "Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд".

Даний підхід може знайти практичне застосування в організаціях, що займаються питанням діагностики технічного стану будівель, розробкою програмних продуктів в сучасних умовах.

4. Методика розробки інформаційної технології роботи експертної системи діагностики технічного стану будівель

На рис. 1. представлена структурна схема етапів роботи експертної системи діагностики технічного стану будівель.

Фазифікація

В контексті нечіткої логіки під фазифікацією розуміють не тільки окремий етап виконання нечіткого виводу, але і власне процес або процедуру 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

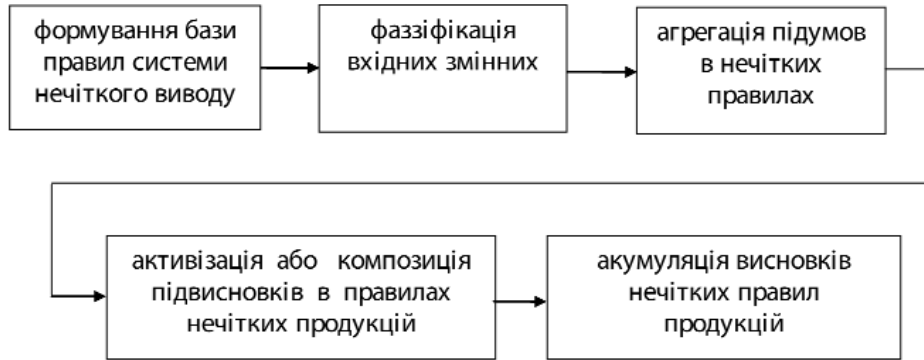


Рис. 1. Структурна схема етапів роботи експертної системи діагностики технічного стану будівель

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 фазіфікації 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 фазіфікації підумови " $\beta_i \in \alpha'$ ".

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

Етап фазіфікації закінчений, якщо знайдені всі значення $b_i' = \mu(a_i)$ для кожної з підумов всіх правил, що входять в базу правил системи нечіткого виводу. Множину 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 фазіфікації.

Для ілюстрації цього етапу розглянемо приклад процесу фазіфікації трьох нечітких висловлю-

вань: "Трищина стіни Волосяна", "Трищина стіни Ступінчаста", "Трищина стіни Наскрізна" – для вхідної лінгвістичної змінної β_1 – "Трищина стіни". Їм відповідає нечітке висловлювання першого вигляду: " $\beta_1 \in \alpha_1$ ", " $\beta_1 \in \alpha_2$ ", " $\beta_1 \in \alpha_3$ ".

Нехай поточний "Трищина стіни" оцінюється як 7 мм, тобто $a_1 = 7$. Тоді фазіфікація першого нечіткого висловлювання дає в результаті число 0, яке означає його ступінь істинності і виходить підстановкою значення $\alpha_1 = 7$ в якості аргумента функції належності терма α_1 (Рис. 2).

Фазіфікація другого нечіткого висловлювання дає в результаті число 0.67 (наближене значення), яке означає його ступінь істинності і виходить підстановкою значення $\alpha_1 = 7$ в якості аргумента функції належності терма α_2 (рис. 3).

Фазіфікація третього нечіткого висловлювання дає в результаті число 0, яке означає його ступінь істинності і виходить підстановкою значення $\alpha_1 = 7$ в якості аргумента функції належності терма α_3 (Рис. 4).

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,

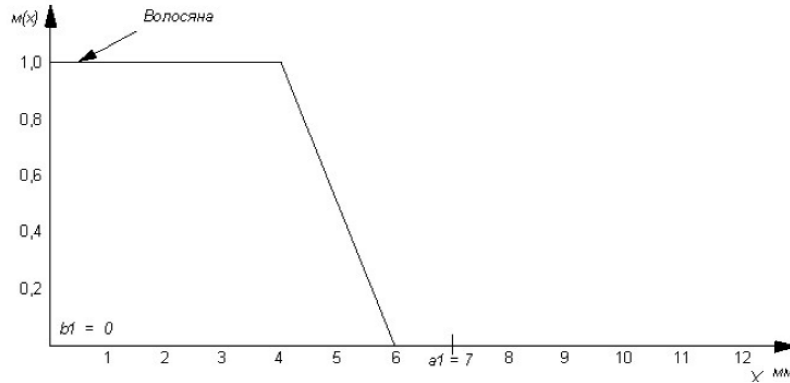


Рис. 2. Приклад фазифікації вхідної лінгвістичної змінної "Трищина стіни" для нечіткого висловлювання "Трищина стіни Волосяна"

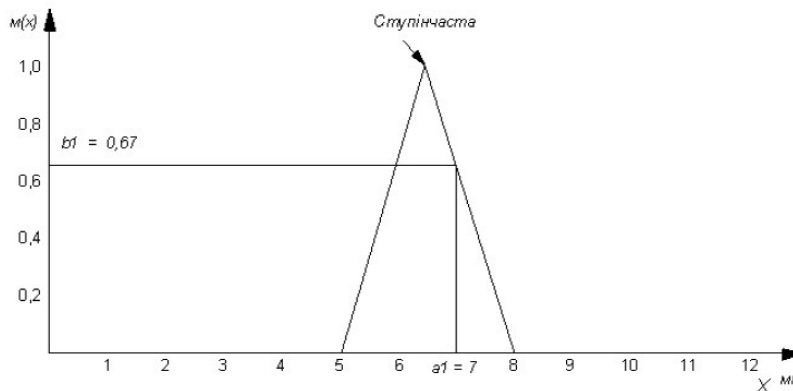


Рис. 3. Приклад фазифікації вхідної лінгвістичної змінної "Трищина стіни" для нечіткого висловлювання "Трищина стіни Ступінчаста"

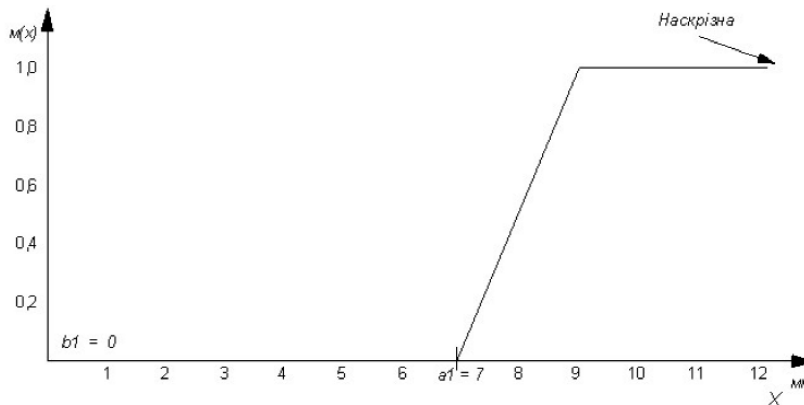


Рис. 4. Приклад фазифікації вхідної лінгвістичної змінної "Трищина стіни" для нечіткого висловлювання "Трищина стіни Наскрізна"

БІЛЬШ АБО МЕНШ, БАГАТО БІЛЬШЕ), то ступінь його істинності рівний відповідному значенню b_i' . Якщо ж умова складається з декількох підумов вигляду, причому лінгвістичні змінні в підумовах попарно не рівні одна одній, то визначається ступінь істинності складного висловлювання на основі відомих значень істинності підумов.

Етап агрегації вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення для кожного з правил, які входять в базу правил системи нечіткого виводу, що розглядається. Ця множина значень позна-

чається через $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$.

Для ілюстрації цього етапу розглянемо приклад процесу агрегації двох нечітких висловлювань: "Трищина стіни Ступінчаста" і "Категорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації (категорія II/III)" і "Трищина стіни Ступінчаста" АБО "Категорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації (категорія II/III)" для вхідної лінгвістичної змінної β_1 – "Трищина стіни" і β_2 – "Категорія

технічного стану стіни". Нехай поточний "Трищина стіни" рівний 7 мм, тобто $\alpha_1 = 7$, а поточний "Категорія технічного стану стіни" оцінюється як 6, тобто $\alpha_2 = 6$. Агрегація першого нечіткого висловлювання з використанням операції нечіткої кон'юнкції вигляду:

$$T(A \wedge B) = \min \{T(A), T(B)\} \quad (1),$$

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

$$T(A \vee B) = \max \{T(A), T(B)\} \quad (2),$$

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

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 не тотожна 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, причому лінгвістичні змінні в підвисновках попарно не рівні одна одній, 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:

$$\min - \text{активізація: } \mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}; \quad (3);$$

$$\text{prod} - \text{активізація: } \mu'(y) = c_i * \mu(y); \quad (4);$$

$$\text{average} - \text{активізація: } \mu'(y) = 0.5 * (c_i + \mu(y)); \quad (5),$$

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) — (5), для виконання активізації можуть бути запропоновані й 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 "Трищина 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 — "Трищина стіни", а вихідною змінною є β_2 — "Категорія технічного стану стіни". Нехай поточний "Трищина стіни" рівний 7 мм, тобто $\alpha_1 = 7$ 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.

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 отриман-

ня функції належності кожної з вихідних змінних. Причина необхідності виконання цього етапу полягає в тому, що підвисновки, які 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. 5 – рис. 7).

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. 8).

Результат акумуляції для вихідної лінгвістичної змінної ω_j визначається як об'єднання нечіт-

ких 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 $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$.

Мета дефазифікації – використання результатів акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних і отримання звичайного кількісного значення кожної з вихідних змінних, які будуть використовуватися спеціальними пристроями,

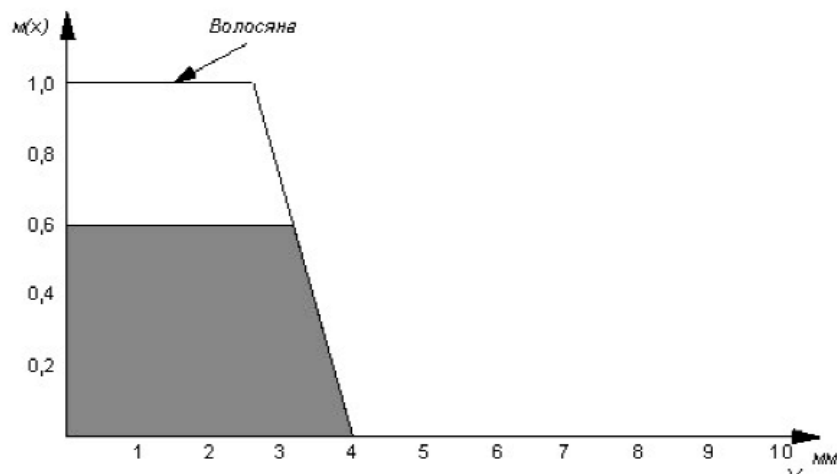


Рис. 5. Функція належності нечіткої множини c_{11} отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни"

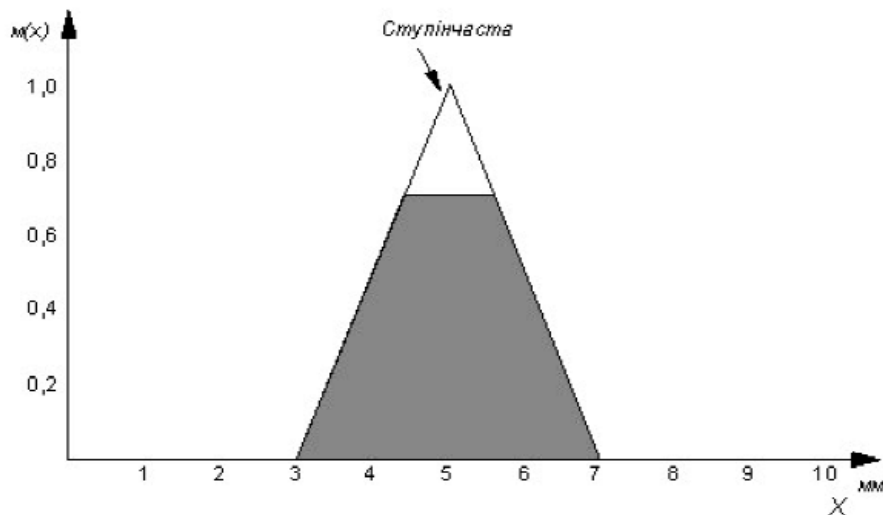


Рис. 6. Функція належності нечіткої множини c_{12} отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни"

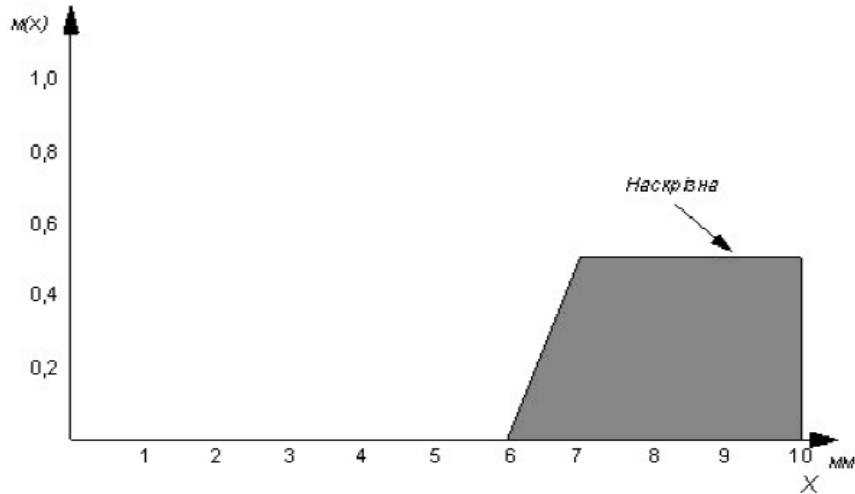


Рис. 7. Функція належності нечіткої множини s_{13} отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни"

зовнішніми по 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 $\omega_j \in W$, що відносяться 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.

5. Висновки та результати розробки інформаційної технології роботи експертної системи діагностики технічного стану будівель

Результатами роботи є удосконалення та впровадження процесу обстеження та діагностики технічного стану будівель за рахунок застосування інформаційної технології роботи експертної системи.

Даний підхід може знайти практичне застосування при розробці програмних продуктів в сучас-

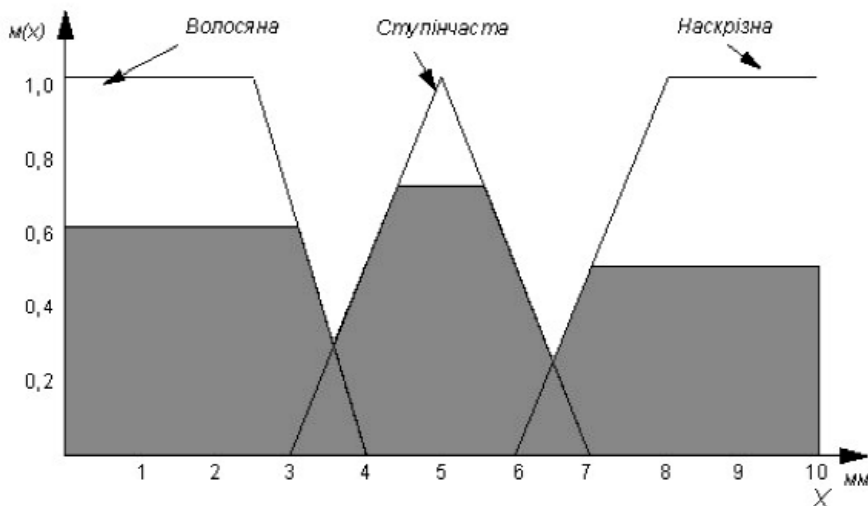


Рис. 8. Приклад акумуляції виводу для вихідної змінної "Тріщина стіни"

них умовах, розробці бази даних та знань для об'єктів будівництва, розробці системи нечіткого виведення, досліджування та реалізації на основі апарату нечіткої логіки моделей діагностики технічного стану будівель.

Процес нечіткого виведення для задач діагностики яляє 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: функцію належності, лінгвістичні 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 взаємопов'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.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд* [Текст] // — Київ, 2003. — 144 с.

2. *Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд* [Текст] // Є.В. Клименко // — К.: Центр навчальної літератури. — Київ, 2004. — С. 304.

3. *Михайленко В.М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей* [Текст] // О.О. Терент'єв, Б.М. Єременко // — Д.: Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов Под общей редакцией профессора В.И. Большакова выпуск. — Дніпропетровськ, 2013. — №70. — С. 133 — 141.

4. *Михайленко В.М. Обробка експериментальних результатів роботи експертної системи для задачі діагностики технічного стану будівель*

[Текст] // О.О. Терент'єв, Б.М. Єременко // — Д.: Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов Под общей редакцией профессора В.И. Большакова выпуск. — Дніпропетровськ, 2014. — №78. — С. 190 — 195.

5. *Терент'єв О.О. Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель та споруд* [Текст] // О.О. Терент'єв, Є.Є. Шабала, Б.С. Малина // — К.: Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць. — КНУБА, 2015. — №22. — С. 138 — 143.

6. *Terentyev O.O., Tsiutsiura M.I. (2015). The method of direct grading and the generalized method of assessment of buildings technical condition. International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 7. — P. 827-829.*

АННОТАЦІЯ

Данная статья освещает вопросы, связанные с разработкой информационной технологии работы экспертной системы диагностики технического состояния конструкций зданий, в том числе рассмотрена организация нечеткого вывода экспертной системы диагностики технического состояния зданий. Полученные рекомендации позволяют решать задачи информационной технологии для поддержки принятия решений по диагностике технического состояния, исследовать и реализовывать на основе аппарата нечеткой логики модели диагностики технического состояния зданий.

Ключевые слова: информационная технология, экспертные системы, диагностика, техническое состояние, здание.

ANNOTATION

This article covers the issues associated with the development of information technology of the expert system of diagnostics of a technical condition of building constructions. — consider the organization of fuzzy inference expert system of diagnostics of technical condition of buildings. The recommendations allow us to solve problems of information technology for decision support for the diagnosis of technical condition; explore and implement on the basis of fuzzy logic models for diagnostics of technical condition of buildings.

Keywords: information technology, expert systems, diagnostics, technical condition, building.