

УДК 69:002; 69.059; 626/627; 721/728

**METHOD OF DEVELOPMENT OF IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF INFORMATION SYSTEM OF SAFE OPERATION OF BUILDINGS**  
**МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ****Terentyev O.O. / Терентьев О.О.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-6995-1419

**Gorbatyuk Ie.V. / Горбатюк Є.В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8148-5323

**Tyslenko O.B. / Тисленко О.Б.***Ph.D. degree / здобувач ступеня доктора філософії***Zubrij I.M. / Зубрій І.М.***Ph.D. degree / здобувач ступеня доктора філософії**Kyiv National University of Construction and Architecture,**Kyiv, Povitroflotsky Avenue, 31, 03037**Київський національний університет будівництва і архітектури,**Київ, Повітрофлотський проспект, 31, 03037*

**Анотація.** Дана робота висвітлює питання, що пов'язані з підвищенням ефективності інформаційної системи безпечної експлуатації захисту будівель. – розглянута організація нечіткого виведення інформаційної системи діагностики технічного стану будівель. Отримані рекомендації дозволяють вирішувати задачі підвищення ефективності інформаційної системи для підтримки прийняття рішень щодо діагностики технічного стану; досліджувати та реалізовувати на основі апарату нечіткої логіки моделі діагностики технічного стану будівель.

**Ключові слова:** інформаційна система, підвищення ефективності, діагностика, технічний стан, будівля, комплексна безпека, захист.

**Вступ.**

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

Останнім часом значно зростають обсяги робіт, пов'язані з комплексною діагностикою і оцінки 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 будівель, проведення ремонтно-відновлювальних робіт, робіт з реконструкцією та розробкою проектною документації.

**Аналіз літературних даних.**

Значний внесок у окремі аспекти зазначеного напрямку внесли вітчизняні та закордонні вчені: Вейц Р.В., Клименко Є.В., Михайленко В.М., Бушуєв С.Д., Панкевич О.Д., Терентьев О.О., 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 системи оцінки технічного стану конструкцій будівель та регламентуються положенням «Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд» [1, 2, 3].

Даний підхід може знайти практичне застосування в організаціях, що здійснюють підтримку працездатності стану будівель.

#### **Мета та задачі дослідження.**

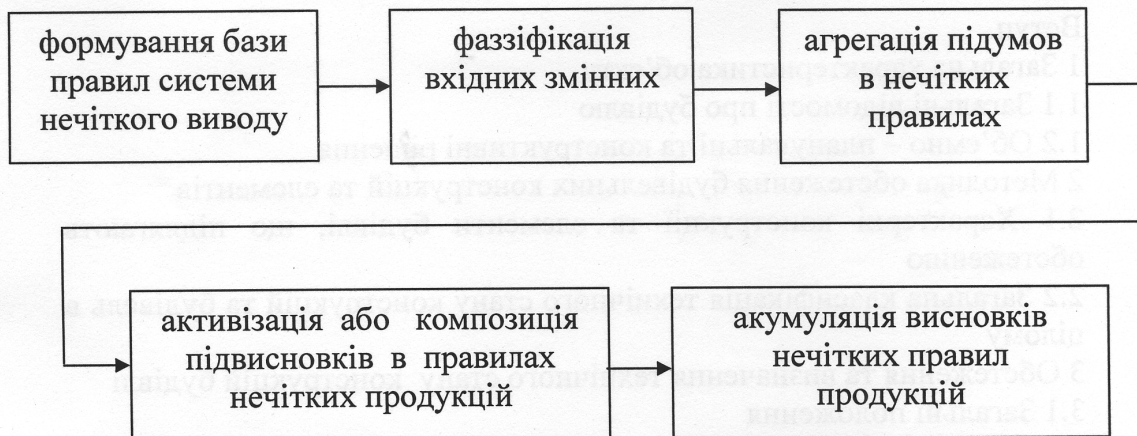
Обґрунтована мета і дослідження розробки підвищення ефективності інформаційної системи безпечної експлуатації будівель.

Одним з напрямів реалізації комплексу завдань щодо безпечної експлуатації будівель є розробка інформаційної 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.

#### **Методика розробки підвищення ефективності інформаційної системи безпечної експлуатації будівель.**

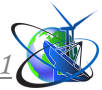
На рисунку 1 представлена структурна схема роботи інформаційної системи безпечної експлуатації технічного стану будівель [4, 5].



**Рис. 1. Структурна схема роботи інформаційної системи безпечної експлуатації технічного стану будівель**

#### **Фаззифікація.**

В контексті нечіткої логіки під фаззифікацією 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. Фаззифікацією також називають



введенням нечіткості [4].

Мета етапу фаззифікації - 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 фаззифікації 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  $\beta_i$ . 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  $\alpha'$  - деякий терм з відомою функцією належності  $\mu(x)$ . При цьому значення  $\alpha'$  використовується в якості аргументу  $\mu(x)$ , також знаходиться кількісне значення  $b_i' = \mu(a_i)$ . Це значення і є результатом фаззифікації підумови " $\beta_i \in \alpha'$ ".

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

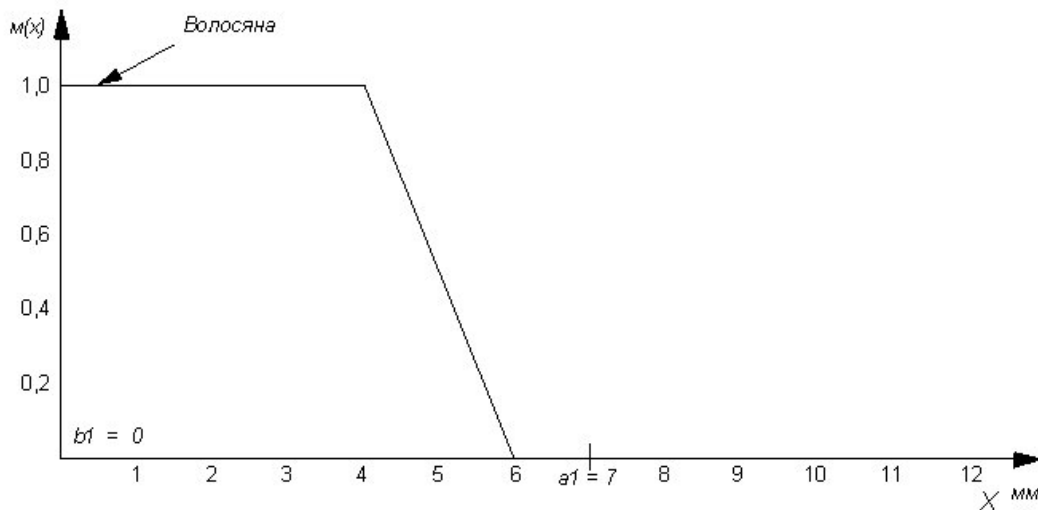
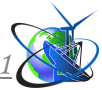
Етап фаззифікації закінчений, якщо знайдені всі значення  $b_i' = \mu(a_i)$  для кожної з підумов всіх правил, що входять в базу правил системи нечіткого виводу. Множина значень позначимо як  $B = \{b_i'\}$ . Якщо деякий терм лінгвістичної змінної  $\beta_i$  не присутній ні в одному з нечітких висловлювань,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

Для ілюстрації цього етапу розглянемо приклад процесу фаззифікації трьох нечітких висловлювань: "*Тріщина ст іни Волосяна*", "*Тріщина ст іни Ст упінчаст а*", "*Тріщина ст іни Наскрізна*" - для вхідної лінгвістичної змінної  $\beta_1$  - "*Тріщина ст іни*". Їм відповідає нечітке висловлювання першого вигляду: " $\beta_1 \in \alpha_1$ ", " $\beta_1 \in \alpha_2$ ", " $\beta_1 \in \alpha_3$ ".

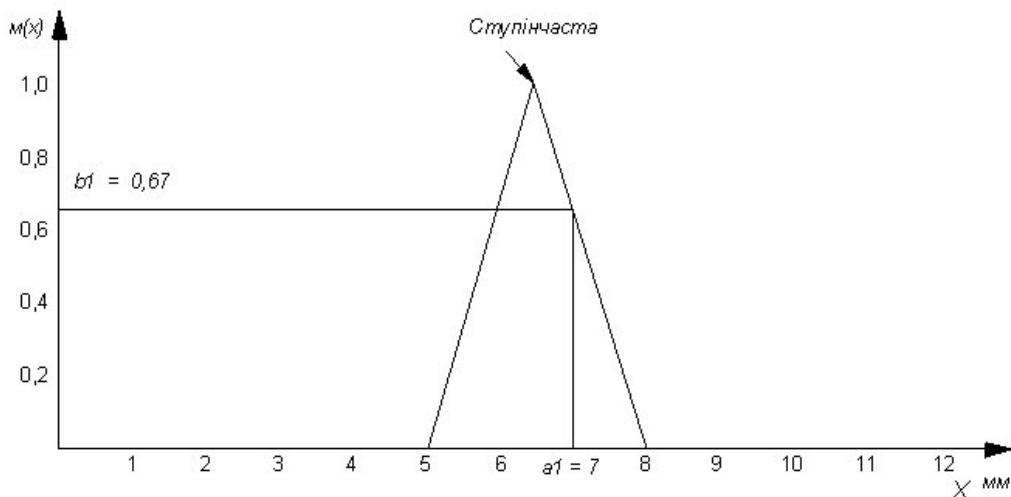
Нехай поточний "*Тріщина ст іни*" оцінюється як 7 мм, тобто  $a_1 = 7$ . Тоді фаззифікація першого нечіткого висловлювання дає в результаті число 0, яке означає його ступінь істинності і виходить підстановкою значення  $a_1 = 7$  в якості аргумента функції належності терма  $\alpha_1$  (рис. 2).

Фаззифікація 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  $\alpha_2$  (рис. 3).

Фаззифікація 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  $\alpha_3$  (рис. 4).



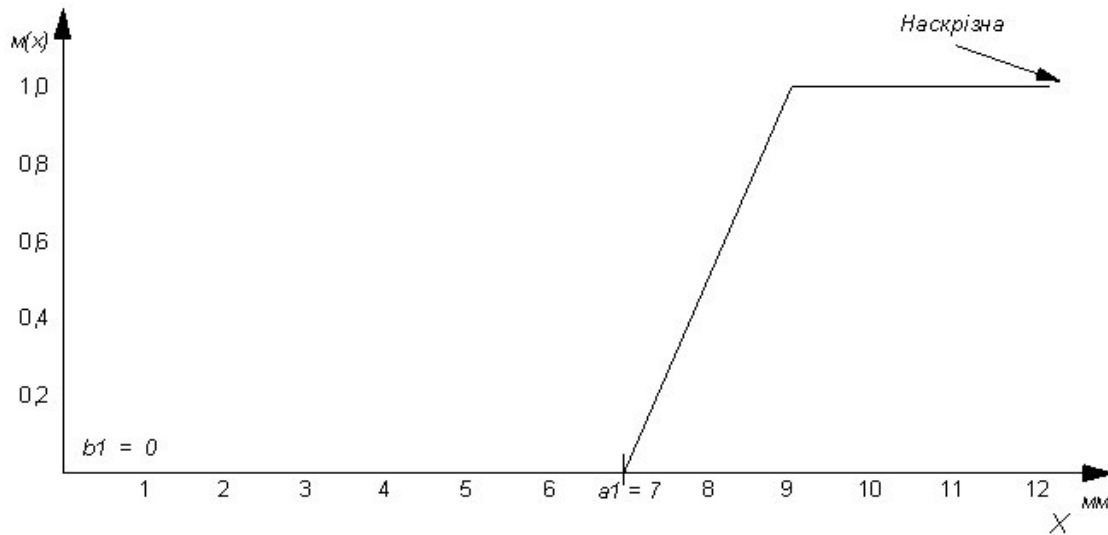
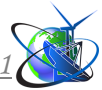
**Рис. 2. Приклад фаззифікації вхідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни" для нечіткого висловлювання "Тріщина стіни Волосяна"**



**Рис. 3. Приклад фаззифікації вхідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни" для нечіткого висловлювання "Тріщина стіни Ступінчаста"**

### 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  $V = \{b_i\}$ . Далі розглядається кожна з умов правил системи нечіткого виводу. Якщо умова правила представляє собою нечітке висловлювання вигляду 1 (висловлювання " $\beta \in \alpha$ ", де  $\beta$  - найменування лінгвістичної змінної, а  $\alpha$  - її значення, якому відповідає окремий лінгвістичний терм з базової термножини  $T$  лінгвістичної змінної  $\beta$ ) або 2 (висловлювання " $\beta \in \Delta \alpha$ ", де  $\Delta$  - 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 причому лінгвістичні змінні в підумовах попарно не рівні один одному, то визначається ступінь істинності складного висловлювання на основі відомих значень істинності підумов [5].



**Рис. 4. Приклад фаззифікації вхідної лінгвістичної змінної "Тріщина стіни" для нечіткого висловлювання "Тріщина стіни Наскрізна"**

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 "Кат егорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації (кат егорія II/III)" і "Тріщина стіни Ступінчаста" АБО "Кат егорія технічного стану стіни Задовільний, що межує з непридатним до нормальної експлуатації (кат егорія II/III)" для вхідної лінгвістичної змінної  $\beta_1$  - "Тріщина стіни" і  $\beta_2$  - "Кат егорія технічного стану стіни". Нехай поточний "Тріщина стіни" рівна 7 мм, тобто  $a_1 = 7$ , а поточне "Кат егорія технічного стану стіни" оцінюється як 6, тобто  $a_2 = 6$ . Агрегація першого нечіткого висловлювання з використанням операції нечіткої кон'юнкції вигляду:

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

дає в результаті число 0.6 (приблизжене 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:

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

дає в результаті число 0.667, яке означає його ступінь істинності і виходить як максимальне із значень 0.6 і 0.667.

**Акт івізація.**

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) [6].



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 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:

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

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

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

де  $\mu(y)$  - функція належності терма, який являється значенням деякої вихідної змінної  $\omega_j$ , 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 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 ст іни Ст упінчаст а"

ТО "Кат егорія т ехнічного ст ану ст іни Задовільний, що межує з непридат ним до нормальної експлуат ації (кат егорія II/III)".

Вхідною лінгвістичною змінною в цьому правилі являється  $\beta_1$  - "Тріщина ст іни", а вихідною змінною є  $\beta_2$  - "Кат егорія т ехнічного ст ану ст іни". Нехай поточний "Тріщина ст іни" 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.

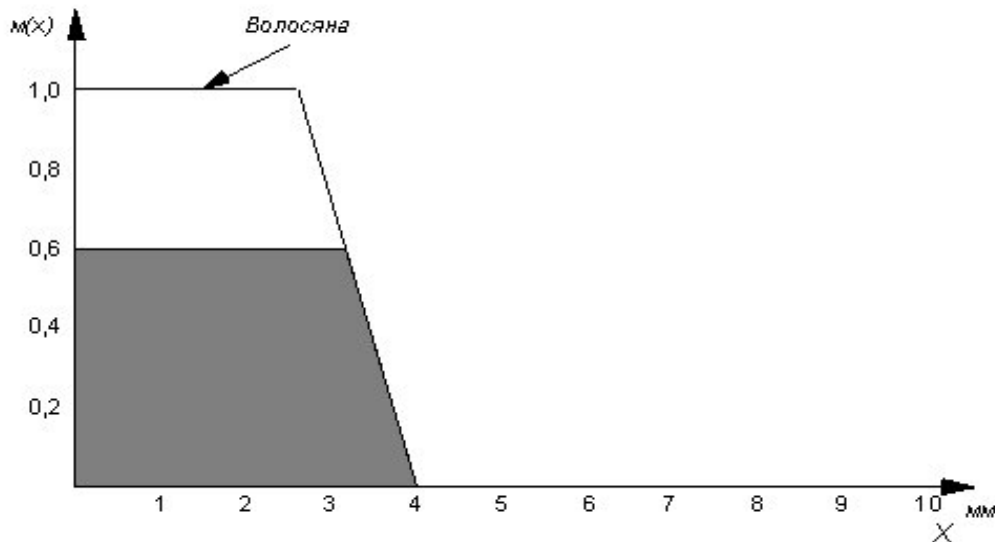


### Акумуляція.

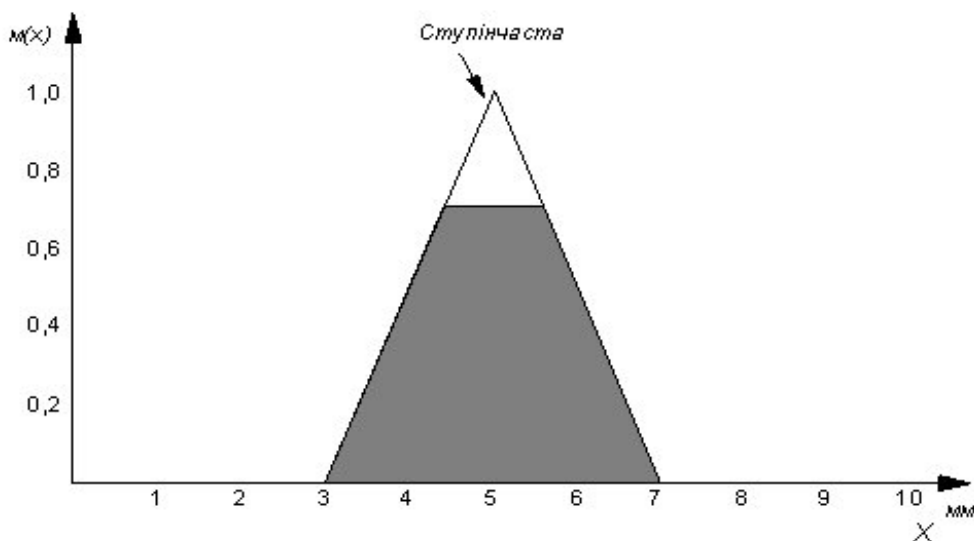
Акумуляція, в системах нечіткого виводу є процедурою або процесом знаходження функції належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини  $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_S\}$ .

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.

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) [7].



**Рис. 5. Функція належності нечіткої множини  $s_{11}$  отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної «Тріщина стіни»**



**Рис. 6. Функція належності нечіткої множини  $s_{12}$  отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної «Тріщина стіни»**



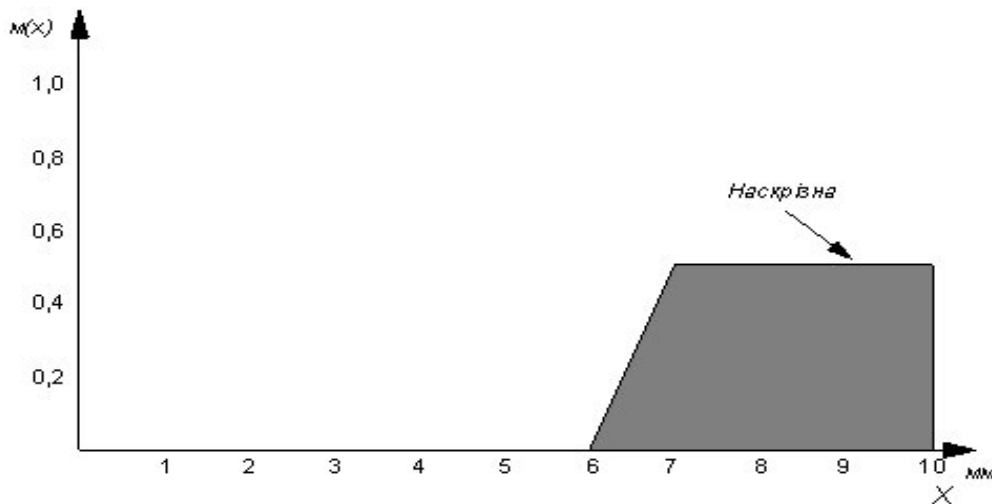
Далі послідовно розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних  $\omega_j \in W$ , і що відносяться до неї нечіткі множини:  $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jq}$  (рис. 8).

Результат акумуляції для вихідної лінгвістичної змінної  $\omega_j$  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.

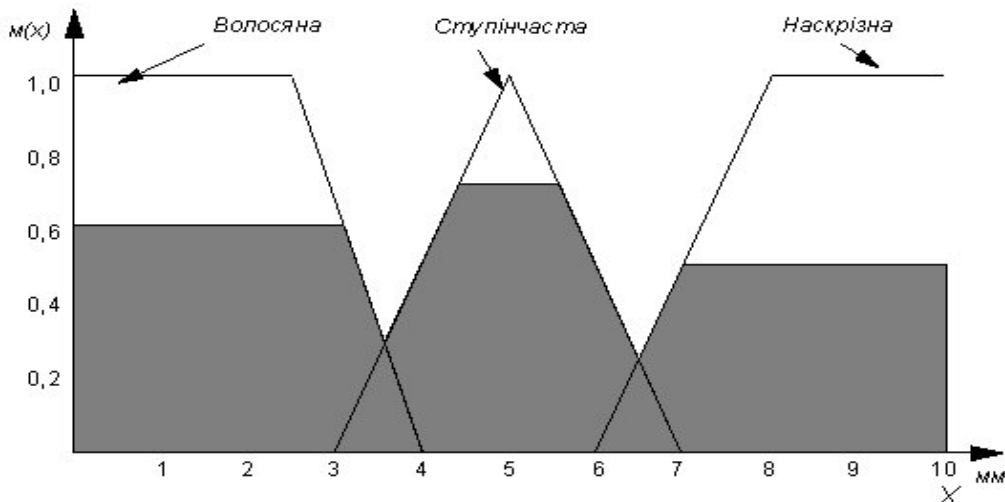
**Дефаззіфікація.**

Дефаззіфікація (приведення до чіткості) в системах нечіткого виводу представляє собою процедуру або процес знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини  $W = \{\omega_1, \omega_2, \omega_S\}$  [6].

Мета дефаззіфікації - 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.

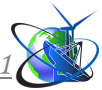


**Рис. 7. Функція належності нечіткої множини с13 отриманого в результаті активізації для вихідної лінгвістичної змінної «Тріщина стіни»**



**Рис. 8. Приклад акумуляції виводу для вихідної змінної «Тріщина стіни»**





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.

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  $\omega_j$  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.

### Висновки

Проведений аналіз нечітких систем дозволяє вирішувати задачі інформаційної системи безпечної експлуатації будівель для підтримки прийняття рішень щодо діагностики технічного стану; досліджувати та реалізовувати на основі апарату нечіткої логіки моделі діагностики технічного стану будівель. В роботі розглянута організація нечіткого виведення інформаційної системи діагностики технічного стану будівель.

Окрім цього, формуються передумови автоматизації складної логічної обробки експертних даних. Критерієм прийняття рішення по вибору адекватного заходу для забезпечення необхідного ресурсу будівель виступає кінцевий висновок про фактичний технічний стан конструкції будівель і можливостях забезпечення її довговічності.

### Література:

1. Терентьев О.О., Горбатьюк Є.В., Тисленко О.Б., Зубрій І.М. Підвищення ефективності інформаційної системи комплексної безпеки захисту будівель. Modern engineering and innovative technologies. Issue №29. Part 1. October 2023. P. 102-111. DOI: 10.30890/2567-5273.2023-29-01-022.
2. Моделі та методи інформаційної технології системи діагностики технічного стану об'єктів будівництва: підручник / Терентьев О.О., Русан І.В, Горбатьюк Є.В., Бородавка Є.В., Баліна О.І., Доля О.В., Тисленко О.Б. Київ: ЦП Компринт, 2023. 240 с.
3. Honcharenko T., Terentyev O., Gorbatyuk I. Mathematical Modeling of Information System Designing Master Plan of the Building Territory Based on OLAP Technology. Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 344. Springer, Cham. P. 3–15.
4. Терентьев О. О., Горбатьюк Є. В., Горбатьюк М. Є., Петровський В. В., Панчук Б. О. Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель. The 2nd International scientific and practical conference — Achievements and prospects of modern scientific research (January 11-13, 2021)



Editorial EDULCP, Buenos Aires, Argentina. 2021. 229-237.

5. Mathematical Modeling of Online Transaction Processing System for Design of Building Territory / Tetyana Honcharenko, Kateryna Kyivska, Mariia Liashchenko, Oleksandr Terentyev, Ievgenii Gorbatiyuk, Elena Dolya. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). August 26 – 28, 2021, Lviv, Ukraine. Pp. 552-556.

6. Honcharenko T., Terentyev O., Malykhina O., Druzhynina I., Gorbatiyuk I. «BIM Concept for Design of Engineering Networks at the Stage of Urban Planning», International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol. 11(5), 2021, pp.1728-1735.

7. Terentyev Oleksandr, Gorbatiyuk Eugene. Research and implementation of intellectual of neural network testing information technology systems of diagnostics of technical condition of buildings. Тези доповідей дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Управління розвитком технологій». Тема: Інформаційні технології розвитку змісту освіти. Київ: КНУБА, 2022. С. 10-11.

**Abstract.** *This article covers issues related to improving the efficiency of information systems for the safe operation of buildings. - the organization of fuzzy output of information system of diagnostics of the technical state of buildings is considered. The received recommendations allow to solve tasks of increase of efficiency of an information system for support of decision-making concerning diagnostics of a technical condition; to investigate and implement on the basis of the apparatus of fuzzy logic the model of diagnostics of technical condition of buildings.*

**Key words:** *information system, efficiency improvement, diagnostics, technical condition, building, complex safety, protection.*

Стаття відправлена: 02/02/2024

© Терентьев О.О., Горбатиюк С.В., Тисленко О.Б., Зубрій І.М.