

Л. П. БОДНАР (ДерждорНДІ ім. М. П. Шульгіна, Київ)

УПРАВЛІННЯ УТРИМАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Запропоновано уточнення оцінки експлуатаційного стану елементів залізобетонних мостів і напрям обґрунтування рівнів обслуговування мостів на основі теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

Предложено уточнение оценки эксплуатационного состояния элементов железобетонных мостов и направление обоснования уровней обслуживания мостов на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики.

The refinement of estimation of operational state of the ferro-concrete bridge elements and the direction of substantiation of the bridge service levels on the basis of fuzzy set theory and fuzzy logic are offered.

В останні два десятиріччя в управлінні дорожньою інфраструктурою в світі впроваджуються контракти життєвого циклу на основі державно-приватного партнерства [1]. Згідно з умовами такого контракту, одна сторона – виконавець інфраструктурного проекту – за свій кошт і з використанням власних матеріалів створює інфраструктурний об'єкт, експлуатує його на протязі розрахункового періоду експлуатації (життєвого циклу), здійснюючи ремонт і утримання, а інша сторона – держава або громада – сплачує за рахунок бюджету відповідний рівень обслуговування об'єкту. Стосовно мостів – це підтримка їх експлуатаційного стану [2] на запланованому в контракті рівні. Замовник може заморожувати платежі і накладати штрафи на виконавця, якщо останній не забезпечує запланованого експлуатаційного стану. Для управління ризиками експлуатації виконавець повинен мати адекватні процесам деградації елементів мостів моделі, які дозволяють обґрунтовувати так звані рівні обслуговування мостів – об'єми робіт з ремонту і утримання, відповідні кожному експлуатаційному стану.

Сучасний стан наповнення баз даних інформаційного забезпечення, яке використовується для планування утримання залізобетонних конструкцій мостів на автомобільних дорогах України, характеризується суттєвою неповнотою як в структурному, так і в кількісному відношеннях, особливо, що стосується номенклатури і об'ємів пошкоджень елементів мостів. В Аналітичній експертній системі управління мостами (АЕСУМ) Державної служби автомобільних доріг України передбачено засоби фіксації в базі даних типів пошкоджень елементів

споруд, що експлуатуються, та їх фактичних об'ємів згідно [3], однак в повному обсязі вони не використовуються, що пов'язано з недостатнім рівнем фінансування робіт з обстеження мостів.

З цих причин процедури оцінювання експлуатаційного стану елементів мостів і мостів в цілому в значній мірі базуються на приблизних експертних оцінках. Тому, в останні роки були розроблені моделі оцінки стану мостів, які ґрунтуються на теорії нечітких множин [4]. Однак, в них недостатньо розроблені процедури визначення об'ємів робіт з ремонту та утримання мостів. Така ситуація потребує розробки моделей обґрунтування рівнів утримання мостів в залежності від існуючих фінансових і ресурсних обмежень.

Ціль статті полягає в уточненні методу оцінки експлуатаційного стану елементів мостів і визначення об'ємів управляючих дій (ремонтних робіт) на основі нечітких алгоритмів.

Рівень обслуговування (утримання) мостів – це плановий або фактичний рівень експлуатаційного стану споруди або всіх споруд на мережі автомобільних доріг, який визначається плановою або фактичною річною кількістю робіт з ремонтів та утримання для ліквідації пошкоджень.

Періоди між втручаннями і об'єми робіт залежать від величини параметрів пошкоджень: період збільшується при послабленні вимог до допустимих розмірів пошкодження. Вартість робіт з усунення пошкодження містить постійну складову витрат, що не залежить від його об'єму. Послаблення вимог у короткостроковій перспективі дозволяє зменшити вартість ремонту та утримання, однак у довгостроковій пер-

спективи може призвести до скорочення життєвого циклу споруди і збільшення її приведеної вартості. Тобто існує задача оптимізації рівнів втручання і рівня обслуговування при технічних (надійність, безпека експлуатації, збереження оточуючого середовища), архітектурних, естетичних і бюджетних обмеженнях.

Для створення конструктивної основи визначення рівнів втручання та відповідних об'ємів робіт, а потім їх вартості і потреби в трудових і матеріально-технічних ресурсів пошкодження елементів мостів пропонується характеризувати двома параметрами [5]:

1. рівнем серйозності (або рівнем ураження) (РС) – загальною мірою ступеню або «глибини» пошкодження, наприклад, ширини тріщини. Зручна наступна градація: низький рівень (Н), середній рівень (С), високий рівень (В);

2. рівнем розповсюдження (РР) – мірою площі, довжини або іншого виміру кількості пошкодження з даним рівнем серйозності, тобто, як далеко це пошкодження прогресувало.

Кожному експлуатаційному стану елементу споруди відповідають певні інтервали рівня розповсюдження з різним рівнем серйозності. Параметри цих інтервалів визначають вид діяльності (капітальний, поточний ремонт або утримання), вид та об'єми робіт з усунення пошкодження, їх повторюваність у часі та вартість.

Границя допустимої області значень параметрів елементу може бути встановлена виходячи з технічних, економічних або нечітких лінгвістичних міркувань:

- технічні міркування зумовлюють такі значення параметрів, за яких частково або повністю порушується функціональне призначення елементу з точки зору безпеки експлуатації самого елементу або безпеки і функціональної спроможності пов'язаних з ним систем;

- економічні міркування зумовлюють такі граничні значення параметрів, за яких сумарні економічні втрати всієї системи від зниження функціональної спроможності елементу і від необхідності періодичного приведення параметрів стану в допустиму область шляхом виконання робіт будуть мінімальними;

- нечіткі лінгвістичні міркування при обґрунтуванні допустимої області вживають такі нечіткі фактори як соціальна, стратегічна, політична значимість, естетичні вимоги тощо, які не можуть бути точно зведені до економічних показників.

З позицій теорії нечітких множин [6], РС і РР можна визначити як лінгвістичні змінні – слова або вербальні вирази в натуральній або штучній мові: «рівень серйозності» – це лінгвістична змінна, а не числа, її значення (терми): низький, середній, високий; «рівень розповсюдження» має лінгвістичні значення: 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно експлуатаційним станам елементу. Значення лінгвістичної змінної (терми) – це функція належності [6], яка з точки зору оцінки стану елементу споруди може бути формалізована за допомогою нечіткого числа. Нечітке число – це нечітка підмножина універсальної множини дійсних чисел, які мають нормальну і випуклу функцію належності. Для неї існує таке значення носія, у якому функція належності дорівнює одиниці, і при відступі від свого максимуму вправо або вліво функція належності зменшується. Достатньо використовувати так звані трапецієвидні нечіткі числа або трикутні нечіткі числа [7]. Наприклад, структура опису змінної «рівень серйозності» наведена в табл. 1. Подібною таблицею можна описувати і рівні розповсюдження пошкоджень елементів мостів.

Таблиця 1

Функції належності РС

Назва змінної	Код терму	x1	x2	x3	x4
Пошкодження 1	Н	ан1	ан2	ан3	ан4
	С	ас1	ас2	ас3	ас4
	В	ав1	ав2	ав3	ав4

Для визначення фактичного стану елементу необхідно розробити процедуру висновку, яка заснована на нечіткій логіці [6, 7] і поєднує значення термів рівня серйозності і рівня розповсюдження всіх пошкоджень елементу (аргументи) з кінцевим термом фактичного стану елементу і значенням на його носії (функція). Нечіткий висновок займає центральне місце в нечіткій логіці і експертних системах, які побудовані на її основі.

Процес нечіткого висновку є процедура або алгоритм отримання нечітких висновків на основі нечітких передумов з використанням понятійного апарату нечіткої логіки.

Лінгвістичні висловлювання становлять основу продуктивних систем, які були розроблені в рамках дослідження методів штучного інтелекту. За допомогою правил продукції в експертних системах відображуються знання в даній предметній області. Основні етапи нечіткого висновку за алгоритмом Мамдані [7]:

- формування бази правил;
- фазифікація вхідних змінних;
- агрегування підумов;
- активізація підвисновків;
- акумулювання висновків;
- дефазифікація.

База правил нечітких продукцій являє собою кінцеву множину правил нечітких продукцій, узгоджених відносно лінгвістичних змінних, що використовуються в них. Правило може бути представлене у вигляді структурованого тексту:

якщо РС = «низький» і РР = «низький», то СТАН = 1 (1).

У дужках наводиться ступінь істинності висловлювання.

Ціль етапу фазифікації – встановлення відповідності між конкретними (числовими) значеннями лінгвістичної змінної і значеннями функції належності $\mu_i(x)$ відповідного терма лінгвістичної змінної, як показано на рис. 1.

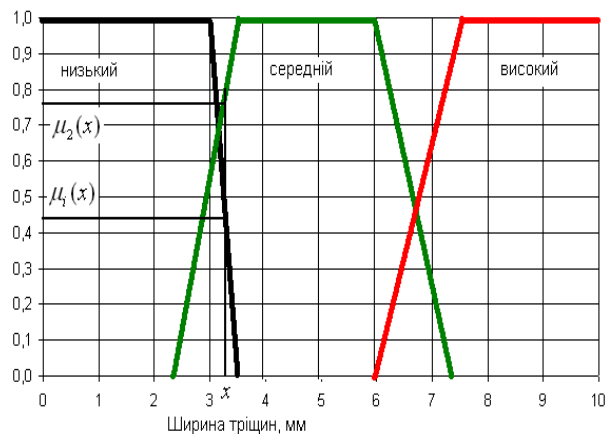


Рис. 1. Схема фазифікації

Агрегування – це визначення ступеню істинності умов за кожним правилом системи нечіткого висновку. До початку агрегування для всіх умов бази правил визначається вектор $\{\mu_i\}$. Далі розглядається кожна з умов правил нечіткого висновку. У прикладі, наведеному на рис. 1, $\mu'_i = \mu_2(x)$. Якщо умова складається з кількох висловлювань, то в залежності від виду зв'язку висловлювань кон'юнкції «і» чи диз'юнкції «або» застосовується операція $\mu'_i = \min(\mu_i, \mu_j, i \neq j)$ або $\mu'_i = \max(\mu_i, \mu_j, i \neq j)$.

Активізація – це знаходження ступеню істинності кожного з висновків правил нечітких продукцій. Перед активізацією нам відомий вектор агрегованих значень істинності за всіма умовами правил $\{\mu'_i\}$ і значення вагових коефі-

цієнтів $F_i (i \in (1, 2, \dots, n))$ для кожного правила.

Ступінь істинності правил ґрунтується на системі пріоритезації пошкоджень – логічній прогресії їх важливості. Активізація вважається закінченою, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних, що входять в окремі висновки правил нечітких продукцій, будуть визначені функції належності нечітких множин їх значень.

Акумуляція являє собою процедуру знаходження функції належності для кожної вихідної змінної. Це необхідно тому, що висновки, які відносяться до конкретної лінгвістичної змінної, належать різним правилам системи нечіткого висновку. Результат акумуляції являє собою поєднання нечітких множин, що відповідають різним правилам висновку вихідної змінної, як показано на рис. 2.

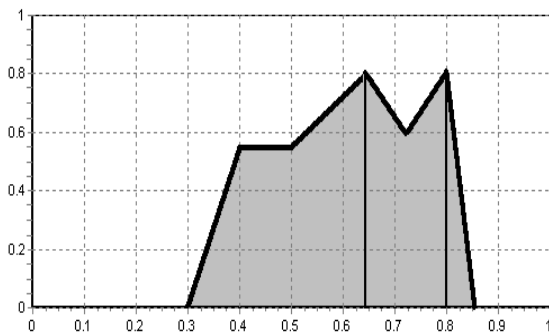


Рис. 2. Акумульована функція належності вихідної лінгвістичної змінної

Дефазифікація в системах нечіткого висновку – це процедура знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Ціль дефазифікації – у визначенні конкретного значення, яке буде використане поза межами нечіткої системи висновку.

Існують різні методи дефазифікації [7]:

- метод центру ваги;
- метод центру площі;
- метод лівого модального значення;
- метод правого модального значення.

Для елементів мостів доцільно використовувати метод правого модального значення.

Реалізація нечіткої моделі потребує створення класифікаційних таблиць виду табл. 1 для рівнів серйозності і рівнів розповсюдження пошкоджень залізобетонних елементів мостів. Основою для цього може бути відповідним чином модифіковані база даних АЕСУМ і програмне забезпечення, які дозволять поступово накопичити необхідні об'єктивні дані про серйозність і розповсюдження пошкоджень. При

обстеженні мостів обов'язково необхідно фіксувати існуючі розміри пошкоджень, інакше таке обстеження буде формальним. Зібрана таким чином інформація створить умови для розробки в подальшому моделей прогнозу стану і рейтингу елементів, які можуть, на нашу думку, базуватись на апараті нечітких нейронних мереж [7, 8], теорії можливості і генетичних алгоритмів [9]. Крім того, ця інформація конче необхідна для обґрунтування рівнів втручання – рівня серйозності та рівня розповсюдження пошкоджень, які обумовлюють необхідність обов'язкового виконання ремонтних робіт.

Уточнення фактичного експлуатаційного стану мостів за допомогою запропонованої моделі в процесі їх оглядів або обстежень дасть основу для оцінки якості утримання мостів підрядною організацією.

Висновки

1. Оцінка експлуатаційного стану мостів уточнена на основі застосування рівнів серйозності та рівнів розповсюдження дефектів елементів мостів за допомогою нечіткої моделі.

2. Для реалізації моделі на практиці необхідне накопичення кількісних фактичних характеристик серйозності та розповсюдження пошкоджень мостів в базі даних АЕСУМ.

3. Рівні обслуговування мостів можна обґрунтувати шляхом оптимізації рівнів втручання на основі моделей прогнозу розвитку дефектів за допомогою математичного апарату нейронних мереж і генетичного алгоритму оптимізації об'ємів і порядку виконання ремонтних робіт.

4. База даних АЕСУМ, яка містить дані про більш ніж 16000 мостів на автомобільних дорогах України, може бути корисною для так званого інтелектуального аналізу даних (Data Mining).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Черниговский, М. Контракты жизненного цикла: правовая природа и перспективы использования в рамках ГЧП-проектов в России [Текст] / М. Черниговский // Корпоративный юрист. – 2009. – № 5. – С. 14-18.
2. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]: ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009.
3. Споруди транспорту. Дефекти автодорожніх мостів. Класифікація [Текст]: СОУ 45.2-00018112-026:2007.
4. Приходько, Т. О. Автоматизація прийняття рішень при проектуванні стратегії експлуатації автодорожніх мостів [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т. О. Приходько. – К., 2007. – 19 с.
5. Mn/DOT Distress Identification Manual. Office of Materials and Road Research Pavement Management Unit [Текст]. – Minnesota Department of Transportation, 2003. – 51 p.
6. Zadeh, L. A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process [Текст]: В кн. Fuzzy Sets and Application. Selected Papers by L.A. Zadeh *et al.* – A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, New York, 1987. – P. 105-146.
7. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А. В. Леоненков. – СПб: БХВ Петербург, 2003. – 736 с.
8. Медведев, В. С. Нейронные сети. MATLAB 6 [Текст] / под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
9. Recommendation on systematic decision making process associated with maintenance and reconstruction of bridges. Strategic Target Research Project [Текст]. – ARCHES, 2009. – 174 p.

Надійшла до редколегії 16.03.2010.

Прийнята до друку 24.03.2010.