

УДК 691

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ ШЛЯХОМ НАВЧАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ

Ю. С. Бікс

Наведено оптимізацію моделі прогнозованої міцності бетону на базі нечіткої логіки, виконаної у середовищі "MATLAB" з навчанням моделі. Навчання моделі відбувалось шляхом налаштування коефіцієнтів концентрації функцій належності складових та вагових коефіцієнтів правил кожної із баз знань. Отримані значення нев'язки навчальної вибірки свідчать про достатню чутливість моделі прогнозованої міцності бетону до навчання.

Приведена оптимізація моделі прогнозируемой прочности бетона на базе нечеткой логики, выполненной в среде "MATLAB" с обучением модели. Обучение модели происходило путем настройки коэффициентов концентрации функций принадлежности составляющих и весовых коэффициентов правил каждой из баз знаний. Полученные значения невязки обучающей выборки свидетельствуют о достаточной чувствительности модели прогнозируемой прочности бетона к обучению.

Predicted concrete strength's model optimization based on fuzzy logic, with model training has been offered in the "MATLAB" environment. Model training was performed by adjusting the concentration ratios of components' membership functions and weighting rules of each knowledge base. Obtained discrepancy values of training data set show sufficient sensitivity of concrete strength prediction model to study.

Вступ

На сьогоднішній день існує необхідність швидкого реагування заводів виробників товарного бетону на потребу споживача у бетоні із певними властивостями, зокрема міцністю на стиск. Реагування на ринковий попит потребує гнучкого підходу щодо приготування та рецептурного складу бетону. Необхідну рецептуру бетону із певними міцнісними характеристиками складно швидко отримати у лабораторії. Одним із ефективних методів проектування бетону із заданою величиною міцності на стиск є математичне моделювання [1-7]. Запропоновані методики мають свої позитивні якості. Однак, всі методики не повною мірою враховують фактори впливу на міцність бетону, які характеризуються не тільки кількісними, але й якісними показниками. Одним із ефективних інструментів врахування якісних та кількісних факторів впливу складових бетонної суміші та типу технологічної обробки на прогнозовану міцність бетону є моделювання із застосуванням методик, які враховують якісні фактори впливу [8-12].

Метою роботи є перевірка можливості та достовірності оптимізування параметрів моделі прогнозованої міцності бетону шляхом навчання моделі за допомогою навчальної вибірки та подальшого тестування на тестовій вибірці.

Результати досліджень

Метод ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань, як взаємопов'язана сукупність математичних моделей, дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для вибору оптимального складу заповнювачів бетону та типу технологічної обробки за результатами віртуального експерименту [8].

Математична модель прогнозованої міцності бетону подана деревом логічного висновку (рис. 1). Причому ієрархічний зв'язок факторів впливу на міцність бетону у логічному дереві інтерпретується таким чином [11]: корінь дерева – показник, що діагностується; термінальні вершини – частинні параметри стану; нетермінальні вершини (подвійні кола) – згортка частинних параметрів стану в укрупнені. Дуги, що виходять з нетермінальних вершин дерева, відповідають укрупненим параметрам стану.

Наведеному на рис. 1 дереву логічного висновку відповідає така система співвідношень:

$$Y = f(x_0, Y_1, Y_2), \quad (1)$$

$$Y_1 = f_{Y1}(x_1, x_2, x_3), \tag{2}$$

$$Y_2 = f_{Y2}(x_4, x_5, x_6, x_7, x_8), \tag{3}$$

де x_9 – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує вік бетону, діб;
 Y_1 – ЛЗ, що описує параметр пластичності бетонної суміші, причому
 x_1 – витрата В/Ц, x_2 – витрата золи-виносу, x_3 – витрата суперпластифікатора;
 Y_2 – ЛЗ, що описує параметр пропорційності складу бетонної суміші причому x_4 – витрата цементу, x_5 – витрата доменного шлаку, x_6 – витрата води, x_7 – витрата щебеню, x_8 – витрата піску;
 $f(\bullet)$ – функціональний зв’язок між вхідними та вихідними змінними.

Базуючись на принципах встановлення діагнозу в нечітких діагностичних системах [8-11] шляхом логічного висновку по нечіткій базі знань використовуючи апарат програмного комплексу “MATLAB” [13], для кожної лінгвістичної змінної Y_1, Y_2, Y було створено нечітку базу знань типу “Якщо-то”, що наведені у табл. 1-3.

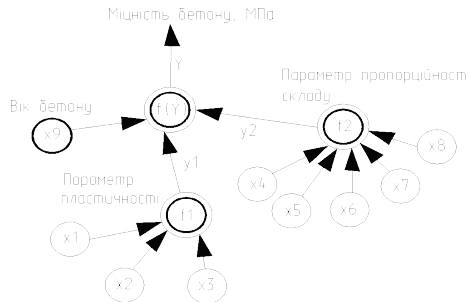


Рис. 1. Ієрархічне дерево логічного висновку прогнозування міцності бетону

Для навчання моделі прогнозування міцності бетону, що отримана з використанням лінгвістичних змінних (табл. 1-3) було використано експериментальні дані [14]. Навчальна вибірка складалась із 263 даних випробувань міцності бетону на стиск при заданих компонентах бетонної суміші у віці 28 діб. Тестова вибірка складалась із 158 даних.

Таблиця 1

База знань для лінгвістичної змінної Y_1

Параметр пластичності Y_1			То
Якщо			
В/Ц (x_1)	Зола-винос (x_2)	Витрата суперпластифікатора, % від маси цементу (x_3)	Y_1
Н	Н	Н	Н
Н	С	Н	
С	Н	Н	
С	С	Н	С
В	С	Н	
С	В	Н	
Н	Н	В	В
С	Н	С	
Н	В	В	
Н	В	С	

Навчання математичної моделі прогнозованої міцності бетону було виконано із застосуванням програмного комплексу “MATLAB”, причому логічний висновок по нечітких базах знань виконано за алгоритмом [11]. На рис. 2 показано порівняння результатів математичного моделювання для навчальної та тестової вибірки відповідно перед процедурою навчання (рис. 2, а;

2, б), та після навчання моделі (рис. 2, в; 2, г).

Таблиця 2

База знань для лінгвістичної змінної Y2					
Параметр пластичності обробки бетонної суміші Y2					
Якщо					To
Цемент (x ₄)	Доменний шлак (x ₅)	Вода (x ₆)	Щебінь (x ₇)	Пісок (x ₈)	Y2
Н	Н	В	С	В	Н
Н	С	В	Н	С	
Н	Н	С	Н	В	
С	С	С	В	С	С
С	В	С	С	С	
С	С	Н	В	С	
С	С	Н	В	С	
С	В	В	В	С	В
В	В	С	В	В	
С	В	С	С	В	
В	С	С	В	С	
В	В	Н	В	С	

Таблиця 3

База знань для лінгвістичної змінної Y			
Прогнозована міцність бетону			
Якщо			To
Вік бетону, x ₉	Укрупнений параметр Y ₁	Укрупнений параметр Y ₂	Y
Н	Н	Н	Н
Н	Н	С	
С	С	Н	
Н	В	Н	
Н	С	В	
В	С	С	С
С	В	С	
В	В	Н	
С	С	В	
В	С	В	В
В	В	В	
В	Н	В	
С	В	В	

Аналізуючи результати моделювання з'ясовано, що величина середньоквадратичної похибки при проведенні навчання, в результаті проходження 60-и ітерацій склала 9,077 МПа. Результати навчання моделі наведені у таблиці 4.

Аналізуючи дані табл. 4 можна зробити висновок, що після навчання точність прогнозування на навчальній вибірці підвищилася майже на 1,9 % в 10-ти відсотковому діапазоні, майже на 1,3 % в 20-ти відсотковому діапазоні. Коефіцієнт кореляції навчальної вибірки $R=0,823$ є підтвердженням адекватності математичної моделі прогнозованої міцності бетону експериментальним даним.

Після навчання моделі та оптимізації функцій належності складових моделі отримано величину нев'язки в моделі прогнозованої міцності бетону склала 9,13 МПа. Аналізуючи динаміку навчання моделі (рис. 3), можна зробити припущення про здатність моделі до навчання, оскільки просліджується різке зниження величини нев'язки при 30-ти ітераціях, та полого ділянка на кривій графіка після 40 ітерацій.

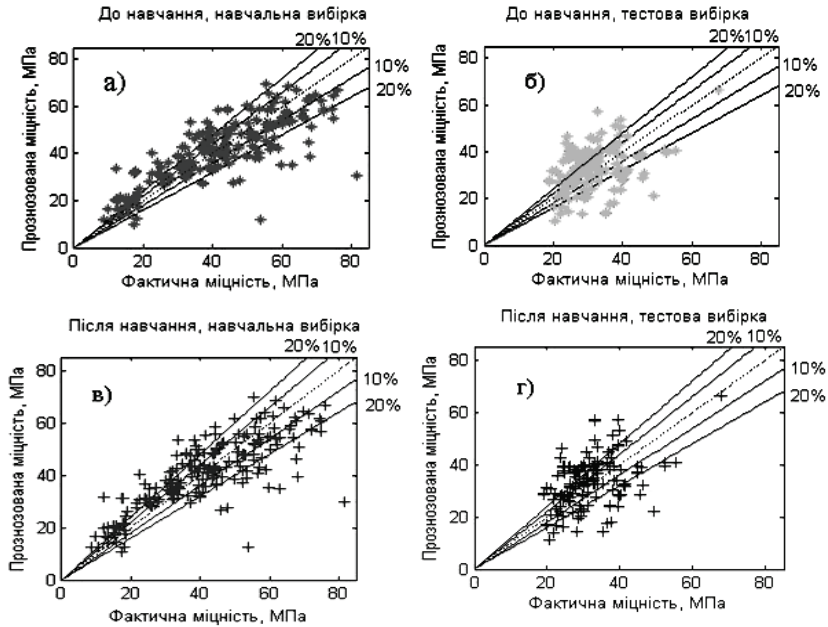


Рис. 2. Зв'язок між прогнозованою та фактичною міцністю бетону:
а), б) – навчальна та тестова вибірка до навчання;
в), г) навчальна та тестова вибірка після навчання

Таблиця 4

Навчання моделі прогнозованої міцності бетону

		До навчання, %	Після навчання, %
Навчальна вибірка	Діапазон 10 %	35,23	37,12
	Діапазон 20 %	67,05	65,53
Тестова вибірка	Діапазон 10 %	21,38	20,12
	Діапазон 20 %	45,91	47,17



Рис. 3. Динаміка навчання моделі в одиницях тиску

Очевидно, що подальше зменшення величини нев'язки буде відбуватись лише при зміні правил баз знань для ЛЗ $Y-Y_2$ або зміні алгоритму оптимізації дерева логічного висновку.

Висновки

- Відповідно до виконаного навчання моделі на навчальній вибірці спостерігається зниження величини середньоквадратичної нев'язки від 14,8 МПа до 9,1 МПа, що свідчить про чутливість моделі.
- Аналізуючи динаміку навчання моделі, можна припустити, що подальше зменшення величини нев'язки математичної моделі можливе лише при зміні правил баз знань для ЛЗ Y_1 - Y_2 або зміні алгоритму оптимізації дерева логічного висновку, що дозволить використовувати наведену модель для інженерного використання.
- Експериментальне підтвердження адекватності моделі прогнозування міцності бетону з коефіцієнтом кореляції $R = 0,823$ дозволяє зробити висновок про можливість застосування наведеної методики прогнозування міцності бетону в інженерних розрахунках.

Використана література

1. Дворкин Л. И. Основы бетоноведения / Л. Дворкин, О. Дворкин. – СПб : ООО “Строй-Бетон”, 2006. – 692 с.
2. Дворкин Л. И. Проектирование составов бетонов с заданными свойствами / Л. Дворкин, О. Дворкин. – Ровно : Изд-во РГТУ, 1999. – 202 с.
3. Современные методы оптимизации композитных материалов / [Вознесенский В. А., Выровой В. Н., Керш В. Я. и др.]; под ред. В. А. Вознесенского. – К. : – Будивельник, 1983. – 144 с.
4. Дудар І. Н. Теоретичні основи технології виробів із пресованих бетонів / Дудар І. Н. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 89 с. – (Монографія).
5. Рунова Р. Ф. Аналіз ефективності використання в'язучих із мінеральними добавками в бетонних масивах / Р. Ф. Рунова, О. В., Пряншніков // Будівництво України : Науково-виробничий журнал. – 2008. – № 2. – С. 18-21
6. Будівельне матеріалознавство / [Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б. та ін.]; за ред. П. В. Кривенко. – К. : ТОВ УВПК “Ексоб”, 2004. – 702 с.
7. Файнер М.Ш. Новые закономерности в бетоноведении и их практическое приложение / Марк Шикович Файнер. – К. : Наукова думка, 2001. – 448 с.
8. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации / Ротштейн А. П. – Винница : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с.
9. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний / Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А. П. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.
10. Штовба С. Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB / Штовба С. Д. – М. : Горячая линия-Телеком. – 2007. – 288 с.
11. Панкевич О. Д. Діагностування тріщин будівельних конструкцій за допомогою нечітких баз знань. / О. Д. Панкевич, С. Д. Штовба. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 108 с.
12. Бікс Ю. С. Прогнозування міцності бетону при використанні лінгвістичних змінних апарату нечіткої логіки. [Електронний ресурс] / Ю. С. Бікс // Наукові праці ВНТУ, 2011 № 1 – Режим доступу до журн: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_1/2011-1.htm
13. Прогнозування міцності бетону на базі апарату нечіткої логіки за допомогою MATLAB 7: матеріали четвертої міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених [“Геодезія, архітектура та будівництво 2011”], (Львів, 24-26 жовт. 2011р.) / М-во освіти науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – Львів, 2011. – 167 с.
14. I-Cheng Y. Modeling of strength of high performance concrete using artificial neural networks / Yeh I-Cheng // Cement and Concrete Research. – 1998. – Vol. 28, No. 12. – pp. 1797-1808.

Бікс Юрій Семенович – аспірант кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.