

Modelling of concrete strength prediction on the fuzzy logic base with “MATLAB 7”

Yuriy Biks

Town building and architecture Department, Vinnytsa
National Technical University,
UKRAINE, Vinnytsa, Khmelnytske Road 95,
E-mail: yustas12@rambler.ru

The mathematical model of concrete strength prediction on the basis of fuzzy logic is offered. Model components take into account the influence of both quantitative indicators of concrete mix components (water consumption, cement, sand, coarse aggregate, water-cement ratio) and qualitative ones (cement grade, consolidation technological parameters, aggregate shape and surface). Experimental data has been used for model training and tuning and processed in "MATLAB 7". A user interface for setting model output was made.

Keywords - simulation, fuzzy logic, predicted concrete strength, hierarchical model.

One of effective methods of concrete designing with preset value of compressive strength is mathematical modelling [1-7]. The proposed methods have their positive qualities. However, all methods do not fully take into account influent factors on the concrete strength, which are characterized not only by quantitative but also by qualitative parameters. One of the effective tool of taking into account both qualitative and quantitative factors of concrete mix components and type of technological treatment on predicted concrete strength is modelling by using techniques that take into account qualitative influence factors on the base of fuzzy logic [8-12]

Hierarchical Relationship of concrete strength with the factors of influence is represented as a hierarchical tree of logic inference (Fig. 1). Tree-tops interpreted as follows [11]: root of the tree - an indicator that is diagnosed, the terminal tops - partial state parameters; nonterminal tops (double circle) - convolution of partial state parameters to the grain node.

By using of all knowledge bases' rules of each influent factor $Y1-Y4, R_b$ on the base of "if-then" rules the model was built by means of Fuzzy Logic Toolbox in "MATLAB7". After training and testing data the model's root-mean-square error was still unacceptable due to little amount of training data and inaccurate knowledge bases' rules.

Conclusions:

1. Fuzzy logic- based model of concrete strength prediction considering the impact of qualitative and quantitative factors is offered

2. An user interface for easy parameters input in "MATLAB 7" for concrete designing is made.

3. The model undergoes training, but still with insufficient level of root-mean-square error (99.2 kgf/cm² for training and 122.5 kg/cm² in the testing sample), which exceeds the average concrete class strength [13].

Прогнозування міцності бетону на базі апарату нечіткої логіки за допомогою “MATLAB 7”

Юрій Бікс

Кафедра містобудування та архітектури,
Вінницький національний технічний університет,
УКРАЇНА, м.Вінниця, вул. Хмельницьке шосе 95,
E-mail: yustas12@rambler.ru

Запропоновано математичну модель прогнозованої міцності бетону на основі апарату нечіткої логіки. Складові моделі враховують вплив як кількісних показників складових бетонної суміші (витрата води, цементу, піску, крупного заповнювача, В/Ц) так і якісні показники впливу (марка цементу, технологічні параметри ущільнення, форма, поверхня заповнювача). Для навчання та налаштування моделі використано експериментальні дані, що оброблялись у програмі “MATLAB 7”. Створено інтерфейс користувача для задання вихідних даних моделі.

Ключові слова – моделювання, нечітка логіка, прогнозована міцність бетону, ієрархічна модель.

Вступ

Сучасний підхід щодо технологічності будівельного виробництва, зокрема процесу виготовлення товарного бетону із заданими властивостями, а саме границею міцності на стиск набуває особливої актуальності. 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 в повній мірі 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 на базі нечіткої логіки [8-12]. На рис.1 наведена ієрархічне дерево логічного висновку прогнозованої міцності бетону.

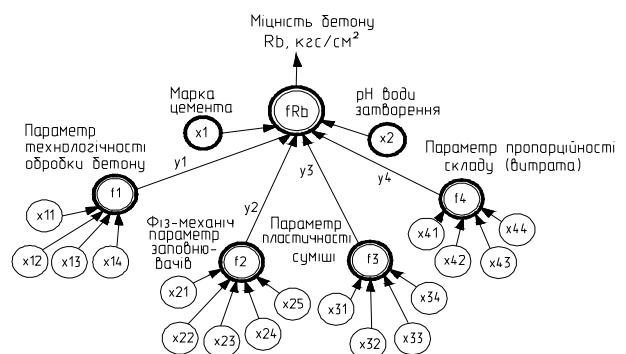


Рис.1 Ієрархічне дерево логічного висновку прогнозованої міцності бетону

Математична модель прогнозованої міцності бетону

Ієрархічний зв'язок міцності бетону з факторами впливу представлено у вигляді ієрархічного дерева логічного висновку (рис. 1). Вершини дерева інтерпретуються таким чином [11]: корінь дерева – показник, що діагностується; термінальні вершини – частинні параметри стану; нетермінальні вершини (подвійні кола) – згортка частинних параметрів стану в укрупненні.

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

$$R_b = f_{R_b}(\tilde{O}_1, \tilde{O}_2, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4), \quad (1)$$

$$Y_1 = f_{Y_1}(x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}), \quad (2)$$

$$Y_2 = f_{Y_2}(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}), \quad (3)$$

$$Y_3 = f_{Y_3}(x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}), \quad (4)$$

$$Y_4 = f_{Y_4}(x_{41}, x_{42}, x_{43}, x_{44}), \quad (5)$$

де X_1 – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує рівень рН води затверення суміші;

X_2 – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує марку цементу;

Y_1 – лінгвістична змінна, що описує параметр технологічності обробки бетону;

Y_2 – лінгвістична змінна, що описує фізико-механічний параметр заповнювачів;

Y_3 – лінгвістична змінна, що описує параметр пластичності суміші;

Y_4 – лінгвістична змінна, що описує параметр пропорційності складу;

$f(\bullet)$ – функціональний зв'язок між вхідними та вихідними змінними.

Бази знань для параметрів моделі

Базуючись на принципах встановлення діагнозу в нечітких діагностичних системах [8-11] шляхом логічного висновку по нечіткій базі знань, для кожної лінгвістичної змінної Y_1 - Y_4 , R_b було створено нечітку базу знань типу “Якщо-то” у табл. 1-4.

Таблиця 1

БАЗА ЗНАНЬ ДЛЯ ЛІНГВІСТИЧНОЇ ЗМІННОЇ Y_1

Параметр технологічності обробки бетону Y_1				
Якщо				То
Тиск (x_{11})	Температура (x_{12})	Вологість (x_{13})	Ущільнення (x_{14})	Y_1
Н	нС	Н	С	Низький (Н)
Н	нС	С	Н	
Н	нС	В	С	
Н	нС	Н	Н	
Н	нС	С	С	Нижче Середнього (нС)
Н	нС	В	С	
С	нС	Н	Н	
Н	нС	С	В	
Н	вС	В	В	Середній (С)
С	С	С	В	
С	С	С	С	
С	С	В	Н	

С	С	В	В	Вище Середнього (вС)
С	вС	С	В	
С	вС	В	С	
С	вС	С	С	
В	С	С	В	Високий (В)
В	вС	В	В	
В	вС	С	В	
В	вС	В	С	

Лінгвістичним висловлюванням, що наведені у таблиці 1 відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують вплив технологічної обробки на міцність бетону у рівнянні (2.2). Для економії місця операція “ $\vee$ ” позначена ($\vee$):

$$m^i(Y_1) = m^H(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^i(x_{13}) \cdot m^C(x_{14}) \vee m^H(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^C(x_{13}) \cdot m^H(x_{14}) \vee$$

$$m^H(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^B(x_{13}) \cdot m^C(x_{14}) \vee m^i(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^H(x_{13}) \cdot m^H(x_{14});$$

$$m^{\tilde{N}}(Y_1) = m^i(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^C(x_{14}) \vee m^i(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{14}) \vee$$

$$m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^i(x_{13}) \cdot m^i(x_{14}) \vee m^i(x_{11}) \cdot m^{iC}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^B(x_{14});$$

$$m^{\tilde{N}}(Y_1) = m^H(x_{11}) \cdot m^{\tilde{A}C}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{14}) \vee m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^C(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{14}) \vee$$

$$m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^C(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{14}) \vee m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^C(x_{12}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{13}) \cdot m^i(x_{14});$$

$$m^{\tilde{A}N}(Y_1) = m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^C(x_{12}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{14}) \vee m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^{\tilde{A}C}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{14}) \vee$$

$$m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^{\tilde{A}C}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{14}) \vee m^{\tilde{N}}(x_{11}) \cdot m^{\tilde{A}C}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{14});$$

$$m^{\tilde{A}}(Y_1) = m^{\tilde{A}}(x_{11}) \cdot m^C(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{14}) \vee m^{\tilde{A}}(x_{11}) \cdot m^{\tilde{A}C}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{14}) \vee$$

$$m^{\tilde{A}}(x_{11}) \cdot m^{\tilde{A}C}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{14}) \vee m^{\tilde{A}}(x_{11}) \cdot m^{\tilde{A}C}(x_{12}) \cdot m^{\tilde{A}}(x_{13}) \cdot m^{\tilde{N}}(x_{14});$$

Для лінгвістичної змінної Y_2 база знань записується наступним чином

Таблиця 2

База знань для лінгвістичної змінної Y2

Фізико-механічний параметр заповнювачів Y2					
Якщо					То
Фор ма (x ₂₁)	Повер хня (x ₂₂)	Тип зап. (x ₂₃)	Мк піску (x ₂₄)	Фракці я (x ₂₅)	Y2
Н	В	В	Н	С	Низький (Н)
нС	Н	В	С	вС	
Н	В	В	Н	Н	
нС	Н	В	С	нС	Нижче
С	В	В	С	Н	
С	В	В	В	нС	
С	В	В	В	С	Середній (С)
С	В	В	С	нС	
вС	В	В	С	С	Вище Середнього (вС)
вС	Н	Н	С	С	
вС	В	В	С	вС	
В	В	В	В	нС	Високий (В)
В	В	В	В	С	
В	В	В	С	В	

Відповідно наведено бази знань для лінгвістичних змінних Y3, Y4, та R_b у табл. 3-5.

Аналогічно записуються рівняння для параметрів Y2-Y4, а також R_b по базам знань з табл. 2-5.

Таблиця 3

База знань для лінгвістичної змінної Y3

Параметр пластичності Y3				То
Якщо				
Зручноукла дальність (x ₃₁)	В/Ц (x ₃₂)	Клас ефективно сті (x ₃₃)	Витрата, % від маси цементу (x ₃₄)	Y3
Ж2	С	1	В	Н
Ж2	С	2	Н	
Ж2	В	2	Н	
П1	С	1	В	С
П1	В	1	С	
П1	С	2	Н	
П3	С	2	Н	В
П3	С	1	С	
П3	Н	2	Н	

Таблиця 4

База знань для лінгвістичної змінної Y4

Параметр пропорційного складу Y4				
Якщо витрата				To
Цемент (x ₄₁)	Вода (x ₄₂)	Щебінь (x ₄₃)	Пісок (x ₄₄)	Y4
Н	Н	С	Н	Н
Н	Н	С	В	
Н	С	С	В	
С	Н	В	С	С
С	В	С	В	
С	В	В	В	
В	В	В	В	В
В	С	В	С	
В	С	С	С	
В	В	С	С	

Розроблена модель прогнозованої міцності бетону виконана у першому наближенні, для налаштування якої необхідно застосувати алгоритм навчання за

навчальною та тестовою вибіркою. Вибірki являли собою певну кількість рецептур складу бетону з урахуванням всіх чинників, що враховані у моделі прогнозованої міцності. База даних для навчання моделі складається з експериментальних даних [7,14].

Таблиця 5

База знань для лінгвістичної змінної R_b

Міцність бетону R _b						
Якщо						То
X1 (рН води)	X2 (марка цементу)	Y1 (пар. технол.обр. бетону)	Y2 (фіз.-мех. пар. заповн.)	Y3 (пар. пластичності)	Y4 (пар. пропор. складу)	
Н	300	Н	Н	Н	Н	Низький (Н) (70-150)
С	300	нС	нС	С	Н	
Н	300	Н	вС	С	Н	
С	300	нС	С	С	С	Нижче середнього (нС) (151-250)
В	300	нС	вС	В	Н	
Н	300	С	С	Н	Н	
Н	400	С	С	Н	С	Середній (С) (251-400)
Н	400	С	вС	в	С	
С	400	С	С	С	С	
В	400	вС	вС	В	В	Вище Сер. (вС) (401-550)
С	400	вС	В	В	В	
С	500	В	вС	С	С	
В	500	В	вС	В	В	Високий (В) (551-700)
С	600	В	В	С	В	
В	600	В	В	В	В	

Обработка даних моделі

Після складання відповідних баз знань для лінгвістичних змінних, у комплексі "MATLAB7" було створено математичну модель, яка відтворює зв'язки між вхідними змінними та вихідною величиною прогнозованої міцності бетону на стиск у модулі Fuzzy Logic Toolbox. Також у середовищі "MATLAB7" був розроблений інтерфейс користувача, який зображено на рис. 2.

Логічний висновок по нечітких базах знань Y1-Y4, R_b виконано за алгоритмом [11].

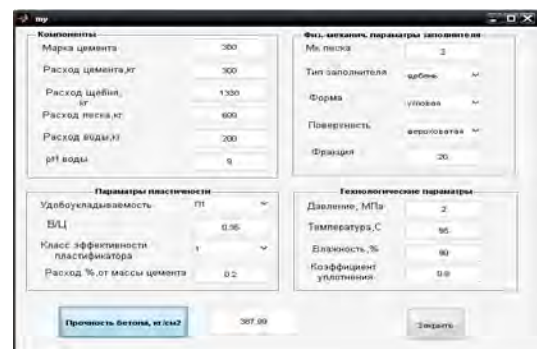


Рис.2 Інтерфейс розробленої програми прогнозування міцності бетону

Кількість експериментальних даних для навчання складала 50, для тестування 41. До навчання нев'язка

складала 147,8 кгс/см² на навчальній, та 154,7 кгс/см² на тестовій вибірці відповідно. Після навчання 99,2 кгс/см² на навчальній та 122,5 кгс/см² на тестовій.

Фрагмент навчальної вибірки наведений у табл. 6.

Велика нев'язка по результатах навчання свідчить про малу кількість даних для навчання у порівнянні з можливими функціями налаштування моделі (60 параметрів). Налаштуванню підлягали лише коефіцієнти концентрації функцій належності.

Також варто відмітити, що велика нев'язка по моделі зумовлена узагальненою моделлю прогнозованої міцності бетону.

Таблиця 6

ФРАГМЕНТ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ДЛЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗОВАНОЇ МІЦНОСТІ БЕТОНУ

№ п/п	Y1 (технологічний параметр)				Y2 (фізико-механічний параметр)				Y3 (параметр пластичності)				Y4 витрата, кг (параметр пропорційності складу)				pH води	Марка цементу	R _b , кгс/см ²
	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	X1	X2	
1	Н	НС	Н	Н	С	В	В	С	Ж2	0,87	2	0,2	200	158	1332	737	6	300	98,2
2	Н	С	Н	С	Н	В	В	С	В	0,86	2	0,2	200	174	1250	774	7	300	
3	Н	НС	Н	С	В	Н	Н	С	С	0,85	2	0,22	231	199	1156	774	8	300	
4	Н	НС	Н	Н	Н	В	В	С	С	Ж2	0,78	0,2	279	158	1322	669	8	300	196,5
5	Н	НС	Н	Н	Н	В	В	Н	В	П1	0,74	0,22	312	175	1250	675	8	300	
6	Н	НС	Н	Н	НС	В	В	Н	С	П3	0,72	0,22	360	201	1153	658	8	300	
7	Н	НС	Н	Н	НС	В	В	С	НС	Ж2	0,70	0,2	235	158	1332	706	8	400	

Подальше вдосконалення моделі для збірного залізобетону та монолітного залізобетону, з урахуванням відкоригованих баз знань для параметрів моделі дозволить зменшити нев'язку та відображатиме адекватний ступінь точності прогнозованої величини.

Висновки

1. Розроблено математичну модель прогнозування міцності бетону на базі теорії нечіткої логіки з урахуванням впливу кількісних та якісних факторів.

2. Створено інтерфейс користувача у середовищі "MATLAB 7" для зручного введення параметрів проектування складу бетону з прогнозованою міцністю.

3. Модель піддається навчанню, але поки що з недостатньою величиною середньоквадратичної похибки (99,2 кгс/см² на навчальній та 122,5 кгс/см² на тестовій вибірці), що перевищує середню міцність бетону для відповідного класу за [13].

Література

- [1] Дворкин Л. И. Основы бетоноведения /Л. Дворкин, О. Дворкин. – СПб: ООО "Строй-Бетон", 2006. – 692с. – ISBN 590319702-7.
- [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) – ISBN 966-641-163-6.
- [5] Рунова Р.Ф. Аналіз ефективності використання в'язучих із мінеральними добавками в бетонних масивах / Р.Ф. Рунова, О. В., Прянішніков // Будівництво України : Науково-виробничий журнал. – 2008. – № 2. – С. 18-21
- [6] Будівельне матеріалознавство / [Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., В.Б. Барановський 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. –Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. –320 с. – ISBN 966-7199-49-5.
- [9] Митюшкин Ю.И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний./ Митюшкин Ю.И., Мокин Б.И., Ротштейн А.П. –Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2002. – 145 с. – ISBN 966-641-051-6.
- [10] Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. / Штовба С.Д.–М.:Горячая линия – Телеком, 2007. –288 с. – ISBN 5-93517-359-X.
- [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.– ISBN 996-641-135-0.
- [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] Бетони важкі. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-43-96. – [Чинний від 2006-07-01]. – К. : Держкоммістобудування України, 1997. – 21с. – (Національний стандарт України).
- [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.