

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗОВАНОЇ МІЦНОСТІ БЕТОНУ
З ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНГВІСТИЧНИХ ЗМІННИХ**

Ю. С. Бікс

Запропоновано розрахунковий апарат виявлення впливу фізико-механічних факторів складових бетону та технологічних параметрів його обробки на міцність бетону на основі теорії нечіткої логіки. Ієрархічна система логічних рівнянь дозволяє оцінити величину прогнозованого показника міцності бетону від технологічних та фізико-механічних факторів впливу.

Предложен расчётный аппарат выявления влияния физико-механических факторов составляющих бетона и технологических параметров его обработки на прочность бетона на основании теории нечёткой логики. Иерархическая система логических уравнений позволяет оценить величину прогнозируемого показателя прочности бетона от технологических и физико-механических факторов влияния

Calculation method of influence based on fuzzy logic of technological processing and physic-mechanical properties of concrete components on concrete strength has been proposed. Hierarchic system of logic equations enables to estimate value of predictable index of concrete strength from technological and physic - mechanical influence factors.

Вступ

На сьогоднішній день неможливо уявити сучасне будівництво без залізобетону. Все більше подорожчання землі змушує забудовників будувати високоповерхові будівлі. Висотне будівництво потребує використання високоміцних бетонів для зменшення питомих витрат бетону, що відповідно зменшує тиск конструкції на фундамент. Очевидно, що підбір складу бетону із заданими властивостями, зокрема границею міцності на стиск, набуває особливої актуальності. Одним із ефективних методів отримання бетону із заданими властивостями, зокрема із заданою величиною міцності на стиск, є математичне моделювання. Рядом авторів запропоновані методики проектування бетонів із заданими властивостями [1-6]. Кожна з цих методик має 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 на міцність бетону є моделювання із застосуванням нечіткої логіки [7,8]. З метою створення експертно-моделювальної системи для багатофакторного аналізу впливу головних чинників на прогнозовану міцність бетону, як то фізико-механічних параметрів заповнювача та технологічних параметрів формування бетону, необхідно запропонувати математичний апарат, що базується на основі теорії нечіткої логіки. Метод ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань [7] як взаємопов'язана сукупність математичних моделей дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для оптимального вибору заповнювачів бетону та типу технологічної обробки за результатами віртуального експерименту.

Результати досліджень

Для виявлення ієрархічних зв'язків та факторів, що впливають на міцність бетону, було запропоновано модель у вигляді "чорної скриньки" (на рисунку 1). Як вхідні сигнали вказані фактори впливу на міцність бетону, як вихідний сигнал вказана міцність бетону на стиск. Всі фактори впливу розбиті на дві групи: технологічні фактори виготовлення бетону та фізико-механічні характеристики складових бетону. Для встановлення ієрархічних зв'язків факторів, що впливають на прийняття рішення щодо вибору параметрів формування бетону із прогнозованою міцністю, виконана їх відповідна класифікація за кількісними та якісними показниками: фізико-механічними та технологічними.

До технологічних факторів відносяться: вплив тиску, вплив температури тужавіння, вплив вологості, вплив способу ущільнення бетонної суміші. До фізико-механічних факторів можна

віднести: водоцементне відношення, добавки(пластифікатори), якість води, марка цементу та тип цементу(портландцемент, портландцемент з добавками, шлакопортландцемент, пуцолановий цемент, композитний цемент), а також тип, якість поверхні та форми заповнювача, модуль крупності піску [6].

Всі фактори впливу на оптимальний склад бетону із заданою міцністю, розглядаються як лінгвістичні змінні, що задані на відповідних універсальних множинах і оцінюються нечіткими термами. Якісний нечіткий терм є лінгвістичною змінною, значення якої виражається словом [7].

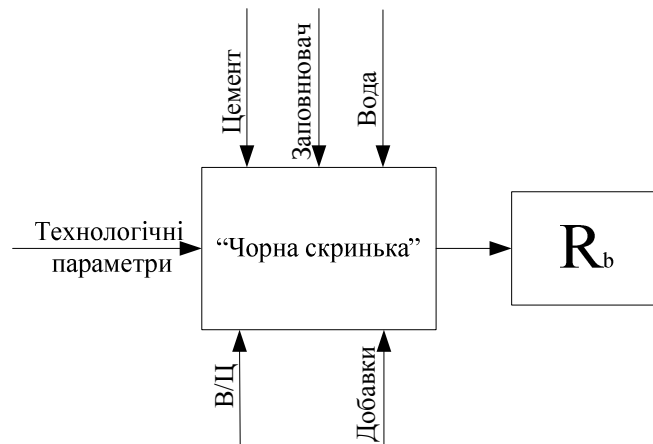


Рис. 1. Модель впливу факторів на міцність бетону

В якості нечітких термів для оцінювання лінгвістичних змінних прийняті кількісні вирази “низька” (Н), “нижча середньої” (нС), “середня” (С), “вища середньої” (вС), та “висока” (В). Використання нечітких термів дозволяє побудувати експертні нечіткі бази знань, які віддзеркалюють зв’язки між вхідними та вихідними змінними [7]. Виконана формалізація та ієрархічна класифікація параметрів факторів, що впливають на кінцеву міцність бетону, дозволяє побудувати функції належності нечітких оцінок впливу кількісних та якісних параметрів. Ці функції будуть використані при моделюванні бетону із заданими характеристиками міцності.

Розглядаючи доцільність технологічних та фізико-механічних факторів впливу (ТФМФВ) на міцність бетону на системному рівні, лінгвістичну змінну (Y), що характеризує ТФМФВ, можна подати у вигляді співвідношення

$$Y=f_y(X_1, X_2), \quad (1)$$

де X_1 – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує технологічні параметри;
 X_2 – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує фізико-механічні параметри.
 Лінгвістичну змінну, що описує технологічні параметри, можна подати виразом

$$X_1=f_{X1}(X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}), \quad (2)$$

де X_{11} – (ЛЗ) “вплив тиску”;
 X_{12} – (ЛЗ) “вплив температури”;
 X_{13} – (ЛЗ) “вплив вологості”;
 X_{14} – (ЛЗ) “вплив ущільнення”.

Приклад нечіткої матриці знань з врахуванням введених якісних термів для моделювання залежності (1) наведено у табл. 1.

Матриця нечіткої бази знань для залежності (2)

Технологічні параметри									
Якщо				То	Якщо				То
X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X1
Н	Н	Н	Н	Низький (Н)	С	нС	С	С	Середній(С)
Н	Н	Н	С		С	нС	С	В	
Н	Н	Н	В		С	нС	В	Н	
Н	Н	С	Н		С	нС	В	С	
Н	Н	С	С		С	нС	В	В	
Н	Н	С	В		С	С	Н	Н	
Н	Н	В	Н		С	С	Н	С	
Н	Н	В	С		С	С	Н	В	
Н	Н	В	В		С	С	С	Н	
Н	нС	Н	Н		С	С	С	С	
Н	нС	Н	С		С	С	С	В	
Н	нС	Н	В		С	С	В	Н	
Н	нС	С	Н		С	С	В	С	
Н	нС	С	С		С	С	В	В	
Н	нС	В	Н		С	вС	С	С	
Н	нС	В	С		С	вС	С	В	
Н	С	Н	Н		С	вС	В	С	
Н	С	Н	С		С	вС	В	В	
Н	С	С	Н		С	С	В	Н	
Н	С	С	С		С	С	В	С	
Н	С	В	Н	С	С	В	С		
Н	С	В	С	С	С	В	С		
Н	вС	Н	Н	Нижчий середнього(нС)	С	В	В	Н	Вищий середнього (вС)
Н	вС	Н	С		С	В	В	С	
Н	вС	Н	В		С	В	В	В	
Н	вС	С	Н		В	нС	Н	С	
Н	вС	С	С		В	нС	Н	В	
Н	вС	С	В		В	нС	С	Н	
Н	вС	В	Н		В	нС	С	С	
Н	вС	В	С		В	нС	С	В	
Н	В	Н	Н		В	нС	В	Н	
Н	В	Н	С		В	нС	В	С	
Н	В	Н	В		В	нС	В	В	
Н	В	С	Н		В	С	С	С	
Н	В	С	С		В	С	Н	В	
Н	В	С	В		В	С	С	В	
Н	В	В	Н	В	С	В	Н		
Н	В	В	С	В	С	В	С		
С	Н	Н	Н	В	С	В	В		
С	Н	Н	С	В	вС	Н	С		
С	Н	Н	В	В	вС	Н	В		
С	Н	С	Н	В	вС	С	Н		
С	Н	С	С	В	вС	С	С		
С	Н	С	В	В	вС	С	В		
С	Н	В	Н	В	вС	В	С		
С	Н	В	С	В	вС	В	В		
Н	вС	В	В	Середній (С)	В	В	Н	Н	Високий(В)
Н	В	В	В		В	В	Н	С	
Н	вС	В	В		В	В	Н	В	
С	нС	Н	В						

Лінгвістичним висловлюванням, що наведені у таблиці 1, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом

$$\begin{aligned}
 \mu_h(X1) = & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14});
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{hc}(X1) = & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_h(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14});
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_c(X1) = & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_h(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{hc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14});
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{bc}(X1) = & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_h(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \vee \\
 & \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_h(X_{14}) \vee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14});
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 & \bigvee \mu_c(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_n(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_n(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{nc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}); \\
 \mu_b(X_1) = & \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_n(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_c(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_n(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_c(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_{bc}(X_{12}) \wedge \mu_b(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_n(X_{14}) \bigvee \\
 & \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_c(X_{14}) \bigvee \mu_b(X_{11}) \wedge \mu_b(X_{12}) \wedge \mu_n(X_{13}) \wedge \mu_b(X_{14}).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Отримана система нечітких логічних рівнянь (3-7) є підґрунтям для розроблення аналітичних моделей функцій належності експертних нечітких баз знань прогнозування впливу вхідних сигналів моделі, як то компонентів бетону та типу технологічної обробки на її вихідний сигнал, тобто міцність бетону.

Висновки

- Відповідно до виконаної класифікації кількісних та якісних параметрів впливу на міцність бетону отримані нечіткі логічні рівняння на технологічному рівні, що пов'язують функції належності вхідних і вихідних змінних, які обумовлені використанням при їх побудові операцій min та max.
- Ієрархічна система логічних рівнянь (3-7) дозволяє за допомогою аналітичної моделі оцінити величину прогнозованого показника міцності бетону в залежності від технологічних та фізико-механічних факторів впливу, а також розв'язує задачу оптимізації цих чинників з урахуванням економічних показників.

Використана література

1. Дворкин Л. И. Основы бетоноведения / Л. Дворкин, О. Дворкин. – СПб: ООО “Строй- Бетон”, 2006. – 692 с. – ISBN 590319702-7.
2. Современные методы оптимизации композитных материалов / [В. А. Вознесенский, В. Я Керш., В. Н. Выровой и др.]; под ред. В.А. Вознесенского. – К.: – Будивельник, 1983. – 144 с.
3. Дудар І. Н. Теоретичні основи технології виробів із пресованих бетонів / Дудар І.Н. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 89с. – (Монографія) – ISBN 966-641-163-6.
4. 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
5. Будівельне матеріалознавство / [П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, В. Б. Барановський та ін.]; за ред. П. В. Кривенко. – К.: – ТОВ УВПК “Ексоб”, 2004. – 702 с.
6. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с. – ISBN 966-641-051-6.

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