

Бікс Ю. С., аспірант (Вінницький національний технічний університет)

ВИЗНАЧЕННЯ ГЛОБАЛЬНИХ ВЕКТОРІВ ПЕРЕВАГ ЗА МЕТОДОМ ПАРНИХ ПОРІВНЯНЬ СААТІ У МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ

Запропоновано методику визначення міцнісної переваги одного класу бетону над іншим у математичній моделі прогнозування міцності бетону шляхом парних порівнянь за методом Сааті. Кількісна оцінка отриманих результатів дозволяє оцінити питому вагу впливу кожного головного та вторинного фактору впливу на кінцеву величину міцнісної переваги певного класу бетону шляхом виявлення відповідних векторів переваг. Отримані глобальні вектори переваг для трьох класів бетону свідчать про достатній ступінь адекватності побудованої математичної моделі прогнозованої міцності бетону.

Ключові слова: метод парних порівнянь, міцність бетону, прогнозування, ієрархічна модель.

Предложена методика определения прочностного преимущества одного класса бетона над другим в математической модели прогнозирования прочности бетона путем парных сравнений по методу Саати. Количественная оценка полученных результатов позволяет оценить удельный вес влияния каждого из главных и второстепенных факторов влияния на конечную величину прочностного преимущества определённого класса бетона путем выявления соответствующих векторов преимуществ. Полученные глобальные векторы для трёх классов бетона свидетельствуют о достаточной степени адекватности построенной математической модели прогнозируемой прочности бетона.

Ключевые слова: метод парных сравнений, прочность бетона, прогнозирование, иерархическая модель.

The method of strength benefits determination of one concrete class over another in mathematical model of concrete strength prediction by the Saaty's method of paired comparisons. Quantitative evaluation of the results allows to estimate the proportion of influence of each of the major and minor factor of influence on the finite value of the strengths benefits of a concrete by detection of the corresponding benefit vectors. Obtained results of global vectors for three concrete classes evidence of a sufficient degree of adequacy of the designed mathematical model of concrete strengths prediction.

Keywords: method of paired comparisons, concrete strength, prediction, hierarchical model.

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 [1-6]. 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 [7-10].

Метою роботи є визначення глобальних векторів переваг моделі прогнозування міцності бетону методом парних порівнянь за Сааті.

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 [7].

Для перевірки адекватності математичної моделі прогнозованої міцності методом парних порівнянь за Сааті була побудована трьохрівнева ієрархія (модель), що відображає вплив головних чинників впливу на кінцеву мету (рис. 1). Шляхом парних порівнянь за Сааті було виявлено вагу переваг кожного з головних факторів впливу (Y1, Y2, Y3, Y4, X1, X2), де

Y1 – блок технологічних факторів впливу на міцність бетону (тиск, температура, вологість, ущільнення);

Y2 – блок фізичних факторів впливу на міцність бетону (форма, поверхня, тип, фракція заповнювача, а також модуль крупності піску);

Y3 – блок впливу пластичності суміші (удобоукладальність, водоцементне співвідношення, клас ефективності пластифікатора та витрата пластифікатора у відсотках від маси цементу [13]);

Y4 – блок впливу пропорційного складу суміші (витрата цементу, води, щебеню та піску);

X1 – вплив рН води затворення;

X2 – вплив марки цементу.

Кожний із головних факторів впливу X1, X2, Y1-Y4 являє собою матрицю [11], що заповнюється наступним чином (1), де r_1, r_2, r_3, r_n – відповідні величини пріоритетів оцінюваних параметрів матриці.

За відомими елементами рядка матриці (1) обчислюють елементи всіх інших рядків. Довільний елемент $a_{ij}=r_i/r_j$, при відомих елементах $a_{kj}=r_k/r_j$, $k, i=1, n$ певного n -ого рядка, обчислюється як $a_{ij} = a_{kj} / a_{ki}$, $i, j, k = 1, n$.

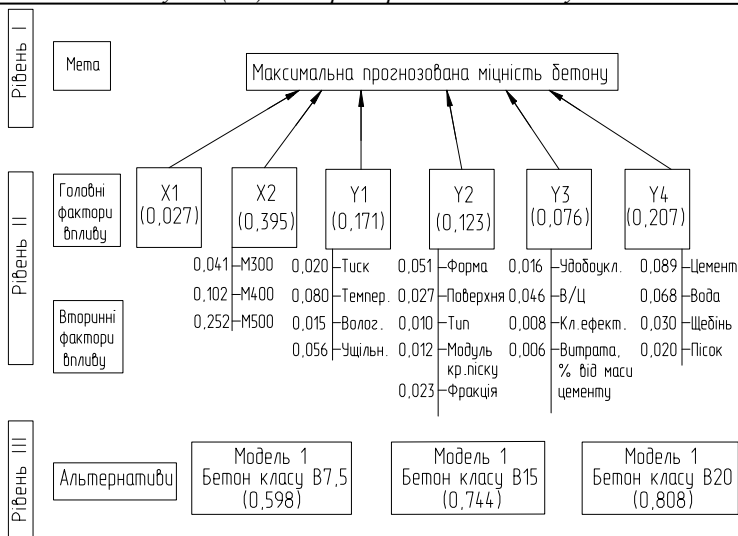


Рисунок. Ієрархічна модель прогнозування міцності бетону

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{r_1}{r_2} & \frac{r_1}{r_3} & \dots & \frac{r_1}{r_n} \\ \frac{r_2}{r_1} & 1 & \frac{r_2}{r_3} & \dots & \frac{r_2}{r_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_n}{r_1} & \frac{r_n}{r_2} & \frac{r_n}{r_3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Вектор переваг кожного оцінюваного параметра знаходився як середнє геометричне елементів кожного рядка матриці поділений на суму всіх середніх геометричних для оцінюваних параметрів за наступними формулами [11].

$$\sqrt[n]{1 \times \frac{r_1}{r_2} \times \frac{r_1}{r_3} \times \dots \times \frac{r_1}{r_n}} = m_1, \quad (2)$$

Далі знаходимо вектор переваг для першого рядка матриці (1) з урахуванням середніх геометричних елементів кожного з рядків за формулою

$$\frac{m_1}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = x_1, \quad (3)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – вектор переваг відповідно першого, другого, n-ого рядка матриці.

Аналогічно визначаються компонент власного вектору та вектор переваг для інших m_n рядків.

В якості множини відносних вагів альтернатив пропонується використовувати компоненти власного вектора, відповідаючи максимальному характеристичному числу λ_{\max} [11, 12]. Для неузгодженої матриці завжди $\lambda_{\max} \geq n$.

В якості показника ступеня узгодженості елементів матриці А використовується величина індексу узгодженості (consistency index – CI) [11, 12]

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / n - 1. \quad (4)$$

Для оцінки достатності ступеня узгодженості використовується відношення узгодженості (consistency ratio – CR), яке дорівнює

$$CR = CI / CIS, \quad (5)$$

де CIS – середнє значення CR, яке обчислено для великої кількості випадковим чином матриць парних порівнянь, що згенеровані у фундаментальній шкалі [12].

Рекомендується результируючий вектор щодо ваг переваг певної матриці парних порівнянь вважати прийнятним, якщо CR рівне 0,10 (але не перевищує 0,20).

Заповнення та знаходження всіх компонентів матриці, а саме власного вектора λ_{\max} , індексу узгодженості матриці парних порівнянь C.I., а також відносної узгодженості матриці парних порівнянь C.R. наведено на прикладі матриці “Марка цементу” у табл. 1.

Таблиця 1

Матриця парних порівнянь “Марка цементу”

Марка цементу				
	M300	M400	M500	Вектор переваг(x_i)
M300	1	1/3	1/5	0.105
M400	3	1	1/3	0.258
M500	5	3	1	0.637
			λ_{\max}	3.039
			C.I.	0.019
			C.R.	0.037

В цій матриці у кожному чарунку заносимо експертні оцінки переваги однієї марки цементу над іншим за 9-бальною шкалою Сааті [11]. При цьому заповнення матриці (табл. 2) ведеться за наступним порядком: числа більше одиниці виставляються у чарунку, якщо оцінюваний параметр зліва має перевагу з оцінюваного критерію над параметром, що знаходиться зверху над ним; і, навпаки, числа менше одиниці ставляться у відповідні чарунки, якщо оцінюваний параметр зліва має нижчу перевагу з оцінюваного критерію над параметром, що знаходиться зверху над ним.

Після цього кожний локальний вектор переваг кожного із вторинних фак-

торів впливу матриць (блоків) Y1-Y4 множиться на глобальний вектор переваги блоку у головній матриці, що можна пояснити на прикладі матриці “Марка цементу”

для цементу марки 300 : $0,105 \cdot 0,395 = 0,041$;

для цементу марки 400 : $0,258 \cdot 0,395 = 0,102$;

для цементу марки 500 : $0,637 \cdot 0,395 = 0,252$.

При чому числа 0,027; 0,395; 0,171; 0,123; 0,076; 0,207, що знаходяться у дужках нижче назви кожного з головних факторів впливу (рис. 1) – головні вектори переваг, що отримані для головних факторів впливу за аналогічним принципом, що й для матриці “Марка цементу”.

В свою чергу, кожний із факторів Y1-Y4 складається з вторинних факторів впливу. Кожний вторинний фактор впливу оцінюється відповідними кількісними або якісними нечіткими термами для оцінки лінгвістичних змінних [14]. За допомогою методу парних порівнянь Сааті для цих факторів також будується матриця із знаходженням векторів переваг одного терму над іншим. Числа навпроти з кожного із вторинних факторів впливу (рис.1), наприклад для матриці Y1:

(0,020 – тиск, 0,080 – температура, 0,015 – вологість, 0,056 – ущільнення) – добуток локального вектору переваг кожного з вторинних факторів матриці Y1 на її глобальний вектор переваг (0,171).

Таким же чином, за аналогією до прикладу визначення всіх перелічених величин у матриць “Марка цементу” знаходяться всі ваги векторів переваг для решти матриць та факторів впливу.

Для отримання векторів переваг III рівня (табл. 2) частково використано експериментальні дані [13]. Виконано формалізацію та ієрархічну класифікацію параметрів факторів, що впливають на кінцеву прогнозовану міцність бетону. Це дозволяє кількісно оцінити перевагу одного класу бетону над іншим, що видно із табл. 2.

Отримані глобальні вектори переваг (табл. 2) (0,598 для B7,5, 0,744 для B15 та 0,808 для B20) є кількісним відображенням переваги бетону трьох класів: B7,5, B15 та B20 одного відносно другого за критерієм міцності. Це є підтвердженням адекватності побудованої трьохрівневої моделі прогнозованої міцності бетону.

Висновки

1. Відповідно до виконаної класифікації кількісних та якісних параметрів впливу на міцність бетону отримана трьохрівнева ієрархічна модель прогнозованої міцності бетону, яка дозволяє оцінити питому вагу впливу кожного складового фактору моделі на кінцеву міцність бетону шляхом виявлення відповідних векторів переваг методом парних порівнянь Сааті.

2. Кількісна оцінка отриманих результатів табл. 2 при порівнянні переваг за критерієм міцності бетону свідчить про адекватність побудованої ієрархічної моделі прогнозування міцності бетону.

Таблиця 2

Визначення глобальних векторів переваг для бетонів класу В7,5, В15 та В20

Порівняння переваг по вибору класу бетону за критерієм міцності на основі парних порівнянь ієрархічної моделі за Саати																			
Бетон кл. В7.5	Технологічні параметри (Y1)		Фізико-механічні параметри (Y2)				Параметр пластичності (Y3)		Параметр пропорційності складу (Y4)			Глобальний вектор переваг							
	Тиск, МПа	Температура, °С	Вологість, %	Ущільнення	Форма	Поверхня	Тип зап.	Модуль крутності піску	Фракція	Удобоуклад.	В/Ц		Клас ефективн.	Витрата, % від маси цементу	Витрата цементу, кг	Витрата води, кг	Витрата щебня, кг	Витрата піску, кг	рН води затворення
низький	10...40	Середня	статичне	йццеподібна	гладка	гравій	2.1...2.5	20...40	ПІ	1.15	П	0.20	200	174	1250	774	6.6...9.0	300	0.598
низький	10...40	Середня	динамічне	Малообкатна	шорстка	щебінь	2.1...2.5	20...40	ПІ	1.50	П	0.22	312	175	1250	675	6.6...9.0	300	0.744
низький	10...40	Середня	динамічне	Малообкатна	шорстка	щебінь	2.1...2.5	20...40	ПІ	1.84	П	0.22	387	176	1245	613	6.6...9.0	300	0.808

1. Дворкин Л. И. Основы бетоноведения /Л. Дворкин, О. Дворкин. – СПб: ООО “Строй-Бетон”, 2006. – 692 с. – 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 / І. Н. Дудар. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 89 с. – 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., Барановський В. Б. та ін.]; за ред. П. В. Кривенко. – К. : – ТОВ УВПК “Екоб”, 2004. –

702 с. **7.** Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации / Ротштейн А. П. – Винница : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с. – ISBN 966-7199-49-5. **8.** 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. – ISBN 966-641-051-6. **9.** Штовба С. Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с. – ISBN 5-93517-359-X. **10.** 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 **11.** Саати Т. Аналитическое планирование : Организация систем / пер. с англ.; Т. Саати, К. Кернс. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с. – ISBN 5-256-00380-1. **12.** Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях : Аналитические сети / пер. с англ.; Томас Л. Саати. – М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 360 с. – ISBN 978-5-397-00844-0. **13.** Файнер М. Ш. Новые закономерности в бетоноведении и их практическое приложение / Марк Шикович Файнер. – К. : Наукова думка, 2001. – 448 с. **14.** Бікс Ю. С. Моделювання прогнозованої міцності бетону з використанням лінгвістичних змінних / Ю. С. Бікс // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві. – 2010. – №1 – С. 95-99. – ISBN 5-256-00380-1.

Рецензент: д.т.н. Дурарь І. Н. (Вінницькій національний технічний університет)