

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРНОЇ КОРЕЛЯЦІЇ МІЖ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ САМОУЩІЛЬНЮЮЧОГО БЕТОНУ

*Бринзяник А.В. ДМ-51-21, Плужник І.Є. ДМ-41-18  
Науковий керівник: д.т.н., проф. Бугаєвський С.О.  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Склад СУБС суттєво відрізняється від складу звичайної бетонної суміші. Першою відмінністю є принципово інший підхід до співвідношення і гранулометрії заповнювачів. Друга відмінність полягає в обов'язковій присутності в суміші мінеральних добавок і підвищеній витраті цементу. Третя відмінність – це тип і дозування добавки, що пластифікує (суперпластифікатор), доза якої на порядок перевершує стандартні витрати для звичайного бетону. До недавнього часу для отримання СУБС використовувалися тільки імпорتنі суперпластифікатори четвертого покоління на полікарбосилатній основі. При цьому витрата суперпластифікатора досягала граничної для цих добавок величини в 1,4–2,0%.

Нормативних документів щодо отримання самоущільнюючих бетонів (СУБ) в Україні не існує, крім настанови щодо визначення складу важкого бетону, де надані загальні рекомендації, які не враховують особливостей будівельних матеріалів, що застосовуються в Україні [1]. Проте можна скористатися світовим досвідом [2-5] та після необхідних лабораторних досліджень отримати склади СУБС на місцевих матеріалах.

Завдання з одним вихідним параметром мають очевидні переваги [6]. Але на практиці частіше за все доводиться враховувати кілька вихідних параметрів. При виробництві самоущільнюючої бетонної суміші доводиться враховувати різні технологічні параметри (розплив конусу, розрахунковий опір на стиск та ін.). Математичні моделі можна побудувати для кожного з параметрів, але одночасно оптимізувати кілька функцій неможливо.

Зазвичай оптимізується одна функція, найбільш важлива з точки зору дослідження, при обмеженнях, що накладаються іншими функціями. Тому з багатьох вихідних параметрів вибирається один в якості параметра оптимізації, а інші служать обмеженнями. Завжди корисно дослідити можливість зменшення числа вихідних параметрів. Для цього можна скористатися кореляційним аналізом.

При цьому між усіма можливими парами параметрів необхідно обчислити коефіцієнт парної кореляції, який є загальноприйнятою в математичній статистиці характеристикою зв'язку між двома випадковими величинами. Якщо позначити один параметр через  $y_1$ , а інший – через  $y_2$ , і число дослідів, в яких вони будуть вимірюватися – через  $N$  так, що  $u = 1, 2, \dots, N$ , де  $u$  – поточний номер дослідів, то коефіцієнт парної кореляції  $r$  обчислюється за формулою:

$$r_{y_1 y_2} = \frac{\sum_{u=1}^N (y_{1u} - \bar{y}_1) \cdot (y_{2u} - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{u=1}^N (y_{1u} - \bar{y}_1)^2 \cdot \sum_{u=1}^N (y_{2u} - \bar{y}_2)^2}} \quad (1)$$

де  $\bar{y}_1 = \sum_{u=1}^N \frac{y_{1u}}{N}$  та  $\bar{y}_2 = \sum_{u=1}^N \frac{y_{2u}}{N}$  середнє арифметичне відповідно для  $y_1$  і  $y_2$ .

Значення коефіцієнта парної кореляції можуть лежати в межах від -1 до +1. Якщо зі зростанням значення одного параметра зростає значення іншого, у коефіцієнта буде знак «+», а якщо зменшується, то «-». Чим ближче знайдене значення  $r_{y_1 y_2}$  до «1», тим сильніше значення одного параметра залежить від того, яке значення приймає інший, тобто між такими параметрами існує лінійний зв'язок, і при вивченні процесу можна розглядати тільки один із них. Коефіцієнт парної кореляції як міра тісноти зв'язку має чіткий математичний сенс тільки при лінійній залежності між параметрами і в разі їх нормального розподілу.

Для перевірки значимості коефіцієнта парної кореляції потрібно порівняти його значення з табличним (критичним) значенням  $r$ , яке наведене у табл. 1 [6].

Таблиця 1 – Критичне значення коефіцієнта парної кореляції при  $\alpha = 0,05$ 

Число ступенів свободи, $f$	Критичне значення, $r_{кр}$	Число ступенів свободи, $f$	Критичне значення, $r_{кр}$
1	0,997	9	0,602
2	0,950	10	0,576
3	0,878	11	0,553
4	0,811	12	0,532
5	0,754	13	0,514
6	0,707	14	0,497
7	0,666	15	0,482
8	0,632	16	0,468

Для користування табл. 1 потрібно знати число ступенів свободи  $f = (N - 2)$  і вибрати певний рівень значимості, наприклад, рівний 0,05. Таке значення рівня значимості відповідає ймовірності вірної відповіді при перевірці гіпотези  $p = 1 - \alpha = 1 - 0,05 = 0,95$ , або 95%. Це означає, що в середньому лише в 5% випадків можлива помилка при перевірці гіпотези.

Задача наших досліджень полягала в отриманні кореляційного зв'язку між технологічними властивостями самоущільнюючої бетонної суміші та бетону. За об'єкт досліджень була обрана самоущільнююча бетонна суміш. Під час досліджень вивчалася кореляція між технологічними показниками бетонної суміші та бетону – розплив конусу РК ( $Y_1$ ) та розрахунковий опір на стиск  $R_{cm}$  ( $Y_2$ ) для складу бетонної суміші: добавка МГ 116 – 0,7%, Ц-400 кг, В/Ц=0,48–0,49, змінювалася кількість піску і мінеральної добавки.

В нашому випадку число ступенів свободи  $f = (9 - 2) = 7$ .

Якщо прийняти рівень значимості  $\alpha = 0,05$ , тоді  $p = 1 - \alpha = 1 - 0,05 = 0,95$ , а критичне значення коефіцієнта парної кореляції  $r_{кр} = 0,666$  (табл. 1).

Проведемо попередні розрахунки для визначення значення коефіцієнта парної кореляції для технологічних показників бетонної суміші та бетону (табл. 3).

Таблиця 2 – Вихідні параметри для складу 1

№	Складові		РК, см, $Y_1$	$R_{cm}$ , МПа, $Y_2$
	пісок	мінеральна добавка		
1	950	140	62	34,4
2	950	80	68	35,9
3	670	140	52	41,0
4	670	80	50	46,1
5	810	110	60	39,2
6	950	110	66	35,3
7	670	110	51	44,0
8	810	140	58	38,5
9	810	80	63	40,8

Таблиця 3 – Розрахунок кореляційного аналізу між параметрами  $Y_1$  та  $Y_2$

№	$Y_{1u}$	$Y_{2u}$	$Y_{1\text{сеп}}$	$Y_{2\text{сеп}}$	$Y_{1u} - Y_{1\text{сеп}}$	$Y_{2u} - Y_{2\text{сеп}}$	$(Y_{1u} - Y_{1\text{сеп}}) * (Y_{2u} - Y_{2\text{сеп}})$	$(Y_{1u} - Y_{1\text{сеп}})^2$	$(Y_{2u} - Y_{2\text{сеп}})^2$
1	62	34,4	58,89	39,47	3,11	-5,07	-15,76	9,68	25,67
2	68	35,9	58,89	39,47	9,11	-3,57	-32,50	83,01	12,72
3	52	41	58,89	39,47	-6,89	1,53	-10,56	47,46	2,35
4	50	46,1	58,89	39,47	-8,89	6,63	-58,96	79,01	44,00
5	60	39,2	58,89	39,47	1,11	-0,27	-0,30	1,23	0,07
6	66	35,3	58,89	39,47	7,11	-4,17	-29,63	50,57	17,36
7	51	44	58,89	39,47	-7,89	4,53	-35,76	62,23	20,55
8	58	38,5	58,89	39,47	-0,89	-0,97	0,86	0,79	0,93
9	63	40,8	58,89	39,47	4,11	1,33	5,48	16,90	1,78
							$\sum_{u=1}^9 (Y_{1u} - Y_{1\text{сеп}}) * (Y_{2u} - Y_{2\text{сеп}}) =$	$\sum_{u=1}^9 (Y_{1u} - Y_{1\text{сеп}})^2$	$\sum_{u=1}^9 (Y_{2u} - Y_{2\text{сеп}})^2$
							-177,13	350,89	125,44
							$\sum_{u=1}^9 (Y_{1u} - Y_{1\text{сеп}})^2 * \sum_{u=1}^9 (Y_{2u} - Y_{2\text{сеп}})^2$		
							44015,50		

Результати розрахунку коефіцієнта парної кореляції наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Коефіцієнт парної кореляції

Технологічні показники СУБ	Вихідні параметри	$r_{y_1y_2}$	$r_{кр}$
розплив конусу та розрахунковий опір на стиск	Y1, Y2	-0,844	0,666

### Висновки

1. Отримані результати обчислення коефіцієнту парної кореляції між парою технологічних властивостей самоущільнюючих бетонних сумішей показали відсутність лінійного зв'язку.

2. Експериментальні значення коефіцієнта парної кореляції для розглянутої пари вихідних параметрів більше критичного  $r_{кр} = 0,666$ .

3. Отримані результати підтверджують необхідність при дослідженні визначення обох технологічних властивостей самоущільнюючої бетонної суміші та бетону.

### Література:

1. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. Настанова щодо визначення складу важкого бетону. - К. : Мінрегіон України, 2014. - 87 с.
2. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use, 2005. - 68 p.
3. СТО 70386662-306-2013. Добавки на основе эфиров поликарбоксилатов для изготовления вибрационных и самоуплотняющихся бетонов.
4. СТО СРО-С 60542960 00050-2015. Основные требования при производстве работ с самоуплотняющимися бетонными смесями.
5. Выбор сырьевых материалов для производства самоуплотняющихся бетонов. Бюллетень Construction Chemicals. - 2009, № 5. - С. 13-16.
6. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента). – В 4-х кн. - Кн. 1. - К.: 2011. – 508 с.