

УДК 624.012.25: 539.319

Є.М. Бабич докт. техн. наук, проф., С.В. Філіпчук канд. техн. наук, доц.
Національний університет водного господарства та природокористування, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ АРМАТУРИ З ВИСОКОМІЦНИМ БЕТОНОМ

Y.M. Babych Dr., Prof., S.V. Filipchuk Ph.D., Assoc. Prof.
**THE RESEARCH OF ARMATURE ADHESION WITH HIGH-STRENGTH
CONCRETE**

Зчеплення арматури з бетоном є важливою якістю залізобетону, яка визначає його несучу здатність, жорсткість та тріщиностійкість, залежить від великої кількості факторів: міцності бетону, виду і діаметра арматури, довжини зароблення стержнів у бетон, товщини захисного шару бетону, характеру навантаження, тривалих процесів, гранулометричного складу суміші, природи наповнювачів, умов твердіння, розташування стержнів при бетонуванні тощо.

На сьогодні в певній мірі досліджено зчеплення арматури з бетоном класів до С60 залежно від основних факторів, таких як міцність бетону, діаметр арматури, довжин анкерування, характеристики профіля арматури [1].

Системний аналіз передбачає математичне моделювання, що дозволяє кількісно визначити характер і ступінь впливу окремих факторів на напруження зчеплення, а також їхню взаємодію. Цим вимогам відповідає матриця плану Бокса – Бенкіна [2].

Математична модель на підставі виконання математично планованого експерименту знаходиться у вигляді поліному

$$\hat{y} = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_1^k b_{ij} x_{ij} + \sum_1^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

де \hat{y} – розрахункове значення параметра оптимізації;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії, які визначаються статистичним шляхом на підставі експериментальних даних;

x_1, x_2, \dots, x_k – незалежні змінні, які можна варіювати при виконанні експерименту.

В планованому експерименті за фактори впливу (незалежні змінні) прийнято: x_1 – діаметр стержнів; x_2 – довжина анкерування стержня (довжина заробки стержнів в бетон); x_3 – товщина захисного шару бетону.

Повні квадратичні рівняння регресії для описання максимальних напружень зчеплення можна записати у такому вигляді:

$$f_b = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad (2)$$

де b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} – вільний член рівняння регресії та коефіцієнти лінійних, квадратичних факторів та факторів взаємодії.

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} f_{b0}}{n_0}; \quad (3)$$

$$b_i = T_3(i f_b); \quad (4)$$

$$b_{ij} = T_4(ij f_b) + T_5(\sum_{i=1}^3 (ij f_b)) - T_2(0 f_b); \quad (5)$$

$$b_{ij} = T_6(ij f_b), \quad (6)$$

де f_{b0} – вихідні параметри на нульовому рівні;

n_0 – кількість дослідів на нульовому рівні (кількість нульових точок);

i, j – номери дослідів (в дослідях $i = 1 \dots 3; j = 1 \dots 3$);

f_b – вихідні параметри (експериментальні дані);

$T_2; T_3; T_4; T_5; T_6$ – розрахункові значення параметрів, які визначаються для конкретних планів методами математичної статистики.

Вільний коефіцієнт, який визначений за формулою (3) за результатами дослідів в нульових точках виявився рівним $b_0 = 9,45$ МПа. Інші коефіцієнти визначали за формулами (4) – (6), в яких розрахункові параметри для визначення коефіцієнтів знаходилися за формулами:

$$(i f_b) = \sum_1^N x_i f_{bm}; \quad (7)$$

$$(ij f_b) = \sum_1^N x_i^2 f_{bm}; \quad (8)$$

$$(ij f_b) = \sum_1^N x_i x_j f_{bm}; \quad (9)$$

$$(0 f_b) = \sum_1^N x_0 f_{bm}, \quad (10)$$

де N – число точок плану.

Таким чином рівняння регресії, яке можна вважати як математичну модель для визначення граничних напружень зчеплення на поверхні контакту бетону і арматури, за результатами досліджень можна записати у такому вигляді:

$$f_b = 9.45 + 3.97 x_1 + 4.45 x_2 + 0.49 x_3 - 0.39 x_1^2 - 1.26 x_2^2 - 0.05 x_3^2 - 2.17 x_1 x_2 \quad (11)$$

Отримане рівняння регресії адекватно описує результати експериментальних досліджень, оскільки розрахункове значення F -критерія Фішера менше за табличне значення. Розрахункове значення F -критерія Фішера знаходили за формулою

$$F_p = \frac{S_{\{f_b\}}^2}{S_{AD}^2} \quad (12)$$

де $S_{\{f_b\}}^2$ – дисперсія відтворюваності вихідного параметра, яка визначається за [2];

S_{AD}^2 – дисперсія адекватності, яку визначали за [2].

Дисперсія відтворюваності вихідного параметра (граничних напружень зчеплення) склала $S_{\{f_b\}}^2 = 0,91$ а дисперсія адекватності $S_{AD}^2 = 0,76$. За формулою (12) розрахункове значення F -критерія Фішера $F_p = 1,2$. Табличний коефіцієнт з забезпеченістю 0,95 для дослідів дорівнює $F_m = 2,66$. Оскільки табличний критерій більше розрахункового, то побудоване рівняння регресії адекватно описує отримані експериментальні дані. Таким чином, отримане рівняння регресії (11) може бути використане для аналізу впливу окремих факторів на граничні напруження на поверхні бетону з арматурою, а також для нормування граничних напружень зчеплення.

Література

1. Зчеплення з бетоном арматури серпоподібного профілю та її анкерування в згинальних залізобетонних елементах: Монографія / Є. М. Бабич, В. Є. Бабич, О. Є. Поляновська. – Рівне: «Волинські обереги», 2017. – 160 с.

2. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.В. Житковський. – Рівне: НУВГП, 2011. – 174 с.