

УДК 624.12.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ
ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ**

**INVESTIGATION METHODS DETERMINATION OF
RELIABILITY STANDS FIBRE REINFORCED CONCRETE
ELEMENTS**

**Сунак П. О., к.т.н., доц., Синій С. В., к.т.н., доц., Мельник Ю. А.,
к.т.н., Парасюк Б. О. (Луцький національний технічний університет)**

**Sunak P. O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Synii S. V.,
Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Melnyk J. A., Ph.D. in
Engineering, Parasyuk B. O. (Lutsk National Technical University)**

Проведено оцінку надійності розрахунку позациентрово стиснутих сталевібробетонних елементів методом статистичного моделювання (Монте-Карло) та методом статистичної лінеаризації. Доведено, що метод лінеаризації можна застосовувати для оцінки надійності стиснутих сталевібробетонних елементів.

As you know, the main drawback of the most common building material - concrete, and various kinds of modifications is its low tensile strength and low fracture toughness as a result. To improve the performance properties of concrete can be due to concrete reinforcement randomly arranged short segments of steel wire. The resulting material is called fibre reinforced concrete. So fibre reinforced concrete - a composite material consisting of a matrix and randomly located in her short segments of steel wire - fiber. How often use fine-grained matrix of concrete that compared with other concrete is more homogeneous material. Steel fibers can be produced from low-carbon wire of periodical profile or smooth diameter with a value of 0.3 to 2 mm, steel tape. In the article the reliability of the compressed steel-fiber-reinforced concrete elements is determined. The method of statistical modeling (Monte Carlo) and the method of statistical linearization are applied. It is proved that the linearization method can be used to assess the reliability of compressed steel-fiber-reinforced concrete elements.

Ключові слова: сталеві фібробетон, надійність, елемент, міцність.

Keywords: fibre reinforced concrete, reliability, element, strength.

За нинішніх умов основними напрямками прогресу у будівництві є пошук найбільш ефективних матеріалів для нового будівництва, ремонту, підсилення або відновлення несучих залізобетонних конструкцій будівель і споруд.

Сучасні наукові досягнення теорії міцності показують, що висока конструктивна ефективність будівельного матеріалу може бути реалізована за рахунок композиту з декількох матеріалів, кожен з яких, маючи свої переваги, надає утвореному на їх основі композитному матеріалові комплекс необхідних властивостей.

Як відомо, основним недоліком найпоширенішого будівельного матеріалу – бетону різних видів та модифікацій є його низька міцність на розтяг, і, як результат, низька тріщиностійкість.

Покращити експлуатаційні властивості бетону можна за рахунок армування його хаотично розташованими короткими відрізками сталевго дроту. Отриманий таким чином композитний матеріал відомий як сталеві фібробетон.

Несучу здатність стиснутого елемента визначають за формулою:

$$N_u = \alpha R_{sfb} A_{sfb} , \quad (1)$$

де α для дрібнозернистого бетону дорівнює 1; R_{sfb} – міцність сталеві фібробетону на стиск, що обчислюється за формулами:

$$R_{sfb} = R_b + k_n^2 \varphi_f \mu_f R_f , \quad (2)$$

$$\varphi_f = \frac{5 + L}{1 + 4,5L} ; \quad L = \frac{k_n^2 \mu_f R_f}{R_b} , \quad (3)$$

де R_b – розрахунковий опір бетону матриці на стиск; k_n – коефіцієнт, що враховує роботу фібр в перерізі, перпендикулярному до напрямку зовнішньої стискаючої сили; μ_f – коефіцієнт об'ємного фібрового армування; R_f – розрахунковий опір фібр розтягання; A_{sfb} – площа стиснутої зони сталеві фібробетону, яку для елементів прямокутного, таврового і двотаврового поперечного перерізу визначають за залежністю:

$$A_{\text{sfbc}} = bh \left(1 - 2e_0 \frac{\eta}{h} \right). \quad (4)$$

Оцінку надійності проводили двома методами: методом статистичного моделювання (Монте–Карло) та методом статистичної лінеаризації [1].

Для оцінки надійності за методом Монте–Карло позацентровано стиснутих елементів, що працюють з малими ексцентриситетами, були використані два способи визначення впливу мінливості міцності і модуля пружності сталевібробетону [1-6]. У першому випадку випадковими величинами приймали значення R_{sfb} , E_{sfb} і сталевібробетон вважали однорідним композитним матеріалом. В другому – значення R_{sfb} та E_{sfb} визначали в залежності від складових характеристик R_b , R_f та R .

Для переходу від рівномірного до нормального розподілу використана залежність:

$$x = M(x) + \sigma(x) \left(\sum_{i=1}^{12} \xi_i - 6 \right). \quad (5)$$

В чисельному статистичному експерименті розглянуто прямокутний сталевібробетонний елемент із співвідношенням сторін $b : h$ як 3 : 5, армований фібрами з маловуглецевого дроту ($l_f = 50$ мм, $d_f = 0,5$ мм). Значення e_0 прийнято рівним 0,1 м. Оскільки сталевібробетонні елементи частіше виготовляють невеликої довжини, в експерименті не враховано вплив прогину на ексцентриситет поздовжньої сили. Величину η прийнято детермінованою і рівною 1. Таким чином, до випадкових величин віднесено лише опір сталевібробетону на стиск R_{sfb} , який обчислювали, як було зазначено вище, двома способами. Надійність визначали при різних значеннях класів бетону матриці, відсотку фібрового армування і коефіцієнтів варіації випадкових величин. На рис. 1 зображена залежність надійності від відсотку фібрового армування.

Аналогічні залежності отримані для класів бетону матриці C16/20 та C25/30 [6].

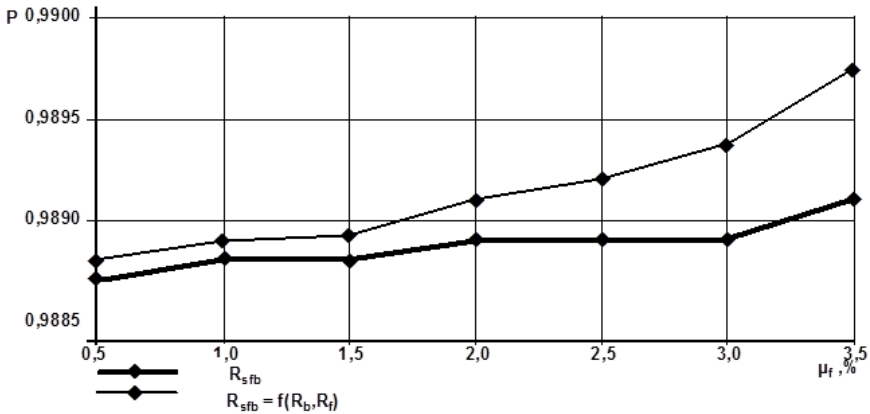


Рис.1. Залежність надійності за міцністю стиснутих сталевібробетонних елементів, що працюють з малими ексцентриситетами, від відсотку фіبرового армування при класі бетону матриці С8/10

Розходження результатів оцінки між першим випадком, коли сталевібробетон представлений як однорідний матеріал з міцністю R_{sfb} і другим, коли його міцність розглянуто в залежності від складових R_b , R_f , які мають свою власну мінливість, при класі бетону матриці С8/10, С16/20 і С25/30 невелике. Цей висновок надає можливість при відсутності даних про змінюваність фізико-механічних властивостей сталевібробетону обчислити надійність сталевібробетонного стиснутого елемента, розглянувши сталевібробетон не як однорідний матеріал, а в залежності від мінливості властивостей складових компонентів: матриці і сталевих фібр.

Із збільшенням відсотку фіبرового армування і класу бетону матриці спостерігається поступове зростання надійності. Більший вплив на підвищення надійності має клас бетону матриці. Так, наприклад, із зміною відсотку фіبرового армування від 0,5% до 3,5% за об'ємом при класі бетону матриці С8/10 надійність зростає в середньому від 0,988799 до 0,989101 у першому випадку, коли сталевібробетон розглядають як однорідний матеріал, і від 0,988809 до 0,989899 у другому, коли сталевібробетон розглядають в залежності від складових компонентів.

Встановлено, що для елементів, які працюють на стискання, характерна найбільша надійність при класі бетону матриці С25/30 і відсотку фібрового армування 3,5 % за об'ємом і найменша – при класі бетону матриці С8/10 і відсотку фібрового армування 0,5 % за об'ємом.

Перевірена можливість застосування методу статистичної лінеаризації при розрахунку надійності сталевібробетонних елементів. Для цього наведені розрахунки надійності елементів, що працюють на стискання і розтягання методом статистичної лінеаризації і порівняні з результатами, отриманими методом Монте–Карло. Для реалізації методу лінеаризації при визначенні надійності стиснутих елементів випадковими величинами з нормальними законами розподілу ймовірностей вважали R_{sfb} , E_{sfb} . Як детерміновані величини прийняті геометричні характеристики поперечного перерізу елемента, а також початковий ексцентриситет e_0 .

Лінеаризуємо функцію міцності $N_u(R_{sfb}, E_{sfb})$, розклавши її в ряд Тейлора в точці m середніх випадкових аргументів \bar{R}_{sfb} , \bar{E}_{sfb} , утримуючи при цьому два члени ряду:

$$N_u = \bar{N}_u + \left(\frac{\partial N_u}{\partial R_{sfb}} \right)_m (R_{sfb} - \bar{R}_{sfb}) + \left(\frac{\partial N_u}{\partial E_{sfb}} \right)_m (E_{sfb} - \bar{E}_{sfb}), \quad (6)$$

де $\left(\frac{\partial N_u}{\partial R_{sfb}} \right)_m$, $\left(\frac{\partial N_u}{\partial E_{sfb}} \right)_m$ – значення похідних функції $N_u(R_{sfb}, E_{sfb})$ в точці m .

Середнє значення \bar{N}_u та дисперсія \bar{N}_u несучої здатності:

$$\bar{N}_u = \bar{R}_{sfb} \bar{A}_{sfb}; \quad (7)$$

$$\hat{N}_u = \left(\frac{\partial N_u}{\partial R_{sfb}} \right)_m^2 \hat{R}_{sfb} + \left(\frac{\partial N_u}{\partial E_{sfb}} \right)_m^2 \hat{E}_{sfb}. \quad (8)$$

Оцінка надійності проводиться за формулою:

$$P = \Phi(\beta) + 0,5, \quad (9)$$

де:

$$\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\beta} e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (10)$$

Характеристика безпеки:

$$\beta = \frac{\bar{N}_u - \bar{N}}{\sqrt{\widehat{N}_u + \widehat{N}}}, \quad (11)$$

де \bar{N}, \widehat{N} – середнє значення та дисперсія поздовжньої сили, що діє в перерізі елемента від зовнішнього навантаження; \bar{N}_u, \widehat{N}_u – середнє значення та дисперсія несучої здатності елемента.

На основі проведених обчислень отримані аналогічні результати як і при розрахунку за методом Монте-Карло. Так, наприклад, із зміною відсотку фібрового армування від 0,5% до 3,5% за об'ємом при класі бетону матриці С8/10 надійність зростає в середньому від 0,986899 до 0,989011.

Отже метод лінеаризації можна застосовувати для оцінки надійності стиснутих сталевібробетонних елементів, що працюють з випадковими ексцентриситетами у тому випадку, коли сталевібробетон приймається як однорідний композитний матеріал.

1. Барашиков А. Я., Сирота М. Д. Надійність будівель і споруд [Текст] // А. Я. Барашиков, М. Д. Сирота. - Київ, 1998. – 204 с.

2. Кричевский С. А. Прочность, деформативность и трещиностойкость торкрет-сталефибробетонных покрытий железобетонных балок: Диссертация на соискание научной. степени кандидата технических наук. – Киев, 1996. – 152 с.

3. Лысенко Е.Ф., Гетун Г.В. Проектирование сталефибробетонных конструкций [Текст] // Е. Ф. Лысенко, Г. В. Гетун. - Киев, 1989. – 184 с.

4. Сунак О. П. Прочность, трещиностойкость и деформативность нормальных сечений изгибаемых комбинированно армированных сталефибробетонных элементов: Диссертация на соискание научной. степени кандидата технических наук: 05.23.01. - Киев, 1986. – 175 с.

5. Сунак О. П. Сталевібробетонні конструкції: Навч. посібн. [Текст] // О. П. Сунак. - Луцьк: Media, 1999. – 158 с. **6.** Сунак П. О. Визначення надійності розтягнутих сталевібробетонних елементів [Текст] / П. О. Сунак, С. В. Синій, Ю. А. Мельник, Б. А. Боярчук, Б. О. Парасюк // Сучасні технології та методи розрахунків в будівництві: зб. наук. праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – Вип. 5. – С.166-173.