

**ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОСТЯГНУТИХ  
СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**DETERMINATION OF RELIABILITY STRETCHED FIBRE  
REINFORCED CONCRETE ELEMENTS**

Сунак П.О., к.т.н., доц., Синій С.В., к.т.н., доц., Мельник Ю.А., к.т.н., Боярчук Б.А., к.т.н., доц., 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, Boyarchuk B.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Parasyk B.O. (Lutsk National Technical University)

Оцінено надійність розтягнутих сталевібробетонних елементів. Проаналізовано залежність надійності від класу бетону матриці та відсотку фібрового армування. Проаналізовано змінюваність несучої здатності розтягнутого сталевібробетонного елемента.

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 reviewed reliability stretched fibre reinforced concrete elements. Class reliability analysis of concrete matrix and reinforcement percentage fibreboard. Analyzed the variability bearing capacity stretched fibre reinforced concrete element.

Ключові слова: сталевібробетон, надійність, елемент, міцність.  
Keywords: fibre reinforced concrete, reliability, element, strength.

Забезпечення надійності будівель і споруд – одна з найважливіших проблем будівельної науки. Це зумовлюється двома основними причинами. По-перше, системи надзвичайно поскладнішали (сучасні споруди можуть мати багато елементів із складним характером взаємодії як між собою так і з навколишнім середовищем) і, по-друге, багато будівель і споруд мають особливу цінність у національних і навіть загальнолюдських масштабах (унікальні споруди, великі атомні, теплові та гідроенергетичні станції, мережі найбільших енергосистем тощо), порушення функціонування яких може призвести до великих матеріальних втрат. Отже нині є актуальним впровадження в практику розрахунку будівельних конструкцій на надійність.

Вагомий внесок в розробку методів теорії надійності будівельних конструкцій зробили В.А.Балдін, А.Я.Барашиков, Б.І.Беляєв, В.В.Болотін, А.П.Буличьов, О.О.Гвоздєв, А.В.Геммерлінг, І.І.Гольденблат, М.М.Застава, В.М.Кєлдиш, В.А.Клевцов, М.Б.Краковський, А.П.Кудзіс, Є.М.Бабич, З.Я.Бліхарський, Є.В.Клименко, В.В.Шваб'юк, С.Д.Семенюк, М.Г.Сур'янінов, О.С.Личьов, С.Ф.Пічугін, Д.М.Подольський, В.Д.Райзер, О.Р.Ржаніцин, О.П. Сунак, О.А.Ужегова, О.С.Чернева та інші.

З аналізу випливає, що надійність сталевібробетонних конструкцій до цього часу практично не розглянута. Отже виникає багато питань як з точки зору надійності самих конструкцій так і з точки зору надійності розрахункових формул.

Сталевібробетон – композиційний матеріал, складається з матриці – дрібнозернистого бетону, і хаотично розташованих в просторі фібр – сталевих волокон [5]. Основна перевага сталевібробетону полягає в значному покращенні роботи бетонної матриці, армованої сталевими фібрами, при виникненні розтягувальних напружень [3]. Під час роботи матеріалу в пружній стадії сталеві волокна, маючи більший модуль пружності у порівнянні з бетоном, сприймають значну частину навантаження, частково розвантажуючи бетонну матрицю. В момент утворення і розкриття тріщин в бетоні сталеві фібри, перетинаючи мікротріщину, стримують її ріст, сприяючи більш повному перерозподілу зусиль по всьому об'єму елемента [2].

В основу детермінованого розрахунку центрально розтягнутого сталевібробетонного елемента [4] покладено умову міцності, що має вигляд:

$$N \leq N_{ut} = R_{sfbt} A_{sfb,tot} \quad (1)$$

де  $N$  – поздовжня сила в перерізі елемента від розрахункового навантаження;  $R_{sfbt}$  – розрахунковий опір сталевібробетону на розтяг;  $A_{sfb,tot}$  – площа поперечного перерізу елемента  $b \times h$ .

Як зазначено в [2] міцність сталевібробетону на розтяг залежить від об'ємного коефіцієнта армування, виду, розмірів і характеру поверхні фібр, класу бетону матриці, а також від геометричних розмірів перерізу елемента. При цьому розрізняють два випадки руйнування сталевібробетонного елемента: випадок 1 – висмикування усіх фібр; випадок 2 – розрив і висмикування частини фібр. У першому випадку, при  $l_{f,an} > l_f/2$ , міцність сталевібробетону на розтяг визначають за формулою

$$R_{sfbt} = m_2 R_b \left( \frac{k_{0r}^2 \mu_{fV} l_f}{4 \eta d_f} + 0,08 - 5,5 \mu_{fV} \right). \quad (2)$$

У другому випадку, коли  $l_{f,an} < l_f/2$

$$R_{sfbt} = m_1 \left[ k_{0r}^2 \mu_{fV} R_f \left( 1 - \frac{l_{f,an}}{l_f} \right) + R_b (0,08 - 5,5 \mu_{fV}) \right]. \quad (3)$$

У формулах (2) та (3) прийняті такі позначення:

$l_{f,an}$  – мінімальна довжина замурування фібр в бетоні, що відповідає їх обриву при висмикуванні, мм,

$$l_{f,an} = \frac{\eta d_f R_f}{R_b}; \quad (4)$$

$m_1 = 1,1$  (для фібр з анкерами);  $m_1 = 1,0$  (для фібр без анкерів);  $m_2 = 1,2$  – коефіцієнт умов роботи фібр;  $R_b$  – призмova міцність бетону матриці, МПа;  $R_f$  – розрахунковий опір фібр, МПа;  $d_f, l_f$  – відповідно діаметр та довжина фібр, мм;  $k_{or}$  – коефіцієнт орієнтації фібр відносно напрямку головних розтягувальних напружень;  $\eta$  – характеристика зчеплення фібр з бетоном.

Для оцінювання надійності використано метод статистичного моделювання (Монте-Карло) [1]. При цьому статистичні

характеристики міцності сталевібробетону ( $R_{sfbt}$ ,  $V_{R_{sfbt}}$ ) визначені двома шляхами. У першому – випадковою величиною приймали значення  $R_{sfbt}$ , представлене у вигляді композитного умовно однорідного матеріалу, а в другому – значення  $R_{sfbt}$  визначали із співвідношень (2), (3) в залежності від складових  $R_b$  та  $R_f$ , які утворюють характеристику  $R_{sfbt}$ .

Враховавши лінійну залежність у співвідношенні (1), кількість статистичних випробувань можна прийняти дещо меншою і обмежити її 30000. У статистичному експерименті розглянуто сталевібробетонний елемент з площею поперечного перерізу  $A_{sfb,tot} = 1\text{ м}^2$ , армований фібрами з маловуглецевого дроту ( $l_f = 50$  мм,  $d_f = 0,5$  мм). До випадкових величин віднесено опір сталевібробетону на розтяг  $R_{sfbt}$ , який у першому випадку обчислення підставляли у формулу (1) як для однорідного матеріалу з його власною мінливістю. У другому випадку, при обчисленні  $N_{ut}$  за (1)  $R_{sfbt}$  знаходили за формулою (2), коли відбувається часткове висмикування фібр з матриці і сталевібробетон працює більш ефективно з урахуванням мінливості усіх складових, тобто  $R_b$  та  $R_f$ . При цьому прийняті такі вихідні дані:  $m_1=1$ ,  $k_{0r}=0,516$ ,  $\eta=0,6$ ,  $l_f = 50$  мм,  $d_f = 0,5$  мм. Для дослідження надійності оцінка проводилась при різних значеннях класів бетону матриці, відсотку фібрового армування і коефіцієнтів варіації випадкових величин. Оскільки статистичних досліджень розтягнутого сталевібробетону недостатньо, то значення  $V_{R_{sfbt}}$  були прийняті в 1,3 рази вищими за  $V_{R_{sfb}}$ . На рис. 1, 2, 3 зображені графічні залежності надійності розтягнутих сталевібробетонних елементів від відсотку фібрового армування при різних класах бетону матриці.

Взагалі розтягнуті сталевібробетонні елементи у порівнянні зі стиснутими мають значно нижчу надійність – від 0,957573 до 0,999394, залежно від класу бетону матриці і відсотку фібрового армування та мінливості міцнісних характеристик сталевібробетону. В результаті виконаних розрахунків встановлено, що при прийнятих коефіцієнтах варіації вихідних параметрів надійність перевищує значення 0,9986 тільки при класі бетону

матриці В30. При класах бетону матриці В10, В20 вона є недостатньою.

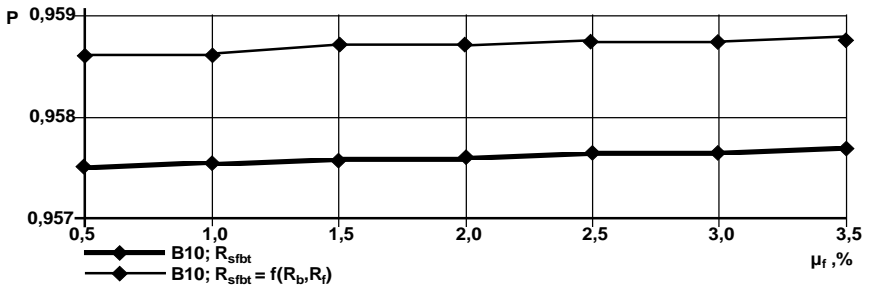


Рис.1. Залежність надійності розтягнутих сталевібробетонних елементів при класі бетону матриці В10 від відсотку фібрового армування

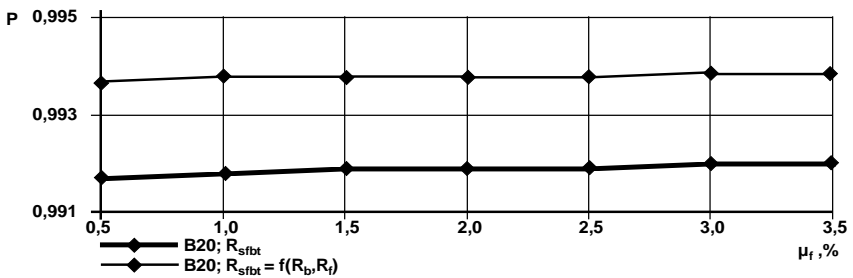


Рис.2. Залежність надійності розтягнутих сталевібробетонних елементів при класі бетону матриці В20 від відсотку фібрового армування

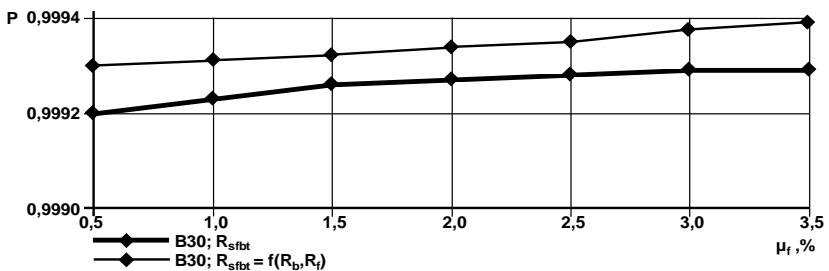


Рис.3. Залежність надійності розтягнутих сталевібробетонних елементів при класі бетону матриці В30 від відсотку фібрового армування

Отже при коефіцієнтах варіації вихідних параметрів більших за 12% прийняті розрахункові формули треба використовувати досить обережно, так як надійність розтягнутих сталевібробетонних елементів не відповідає нормам щодо забезпеченості розрахункових опорів. Розходження результатів оцінки між першим випадком, коли сталевібробетон представлений як однорідний матеріал міцністю  $R_{sfbt}$ , і другим, коли його міцність розглянуто в залежності від складових  $R_b$ ,  $R_f$ , які мають свою власну мінливість, при всіх розглянутих класах незначне. Це дає змогу, при відсутності даних про змінюваність фізико-механічних властивостей сталевібробетону обчислити надійність, розглянувши сталевібробетон в залежності від мінливості властивостей складових компонентів: матриці і сталевих фібр. Такий підхід є досить важливим тому, що статистичних досліджень змінюваності величини  $R_{sfbt}$  не достатньо.

Із збільшенням відсотку фібрового армування і класу бетону матриці спостерігається поступове зростання надійності. Більший вплив на підвищення надійності має клас бетону матриці. Так, із зміною відсотку фібрового армування від 0,5% до 3,5% за об'ємом при класі бетону матриці В10 надійність зростає в середньому від 0,957573 до 0,957665 у першому випадку і від 0,958684 до 0,958684 – у другому; при класі бетону матриці В20 – від 0,991803 до 0,991882 у першому і від 0,993804 до 0,993883 – у другому і при класі бетону матриці В30 – від 0,999209 до 0,999299 у першому і від 0,999306 до 0,999394 – у другому. Це очевидно можна пояснити тим, що із збільшенням класу бетону матриці і відсотку фібрового армування відбувається зменшення мінливості призмової міцності сталевібробетону, оскільки мінливість величини  $R_{sfbt}$  взято в залежності від мінливості  $R_{sfb}$ . Окрім того із збільшенням класу бетону матриці зменшується мінливість призмової міцності самої матриці.

Таким чином, для розтягнутих елементів характерна найбільша надійність при класі бетону матриці В30 і відсотку фібрового армування 3,5 % за об'ємом і найменша при класі бетону матриці В10 і відсотку фібрового армування 0,5 % за об'ємом.

Щодо коефіцієнта варіації несучої здатності, то він є досить різним (рис. 4).

Так, при класі бетону матриці B10 в першому випадку, коли сталеві фібробетон представлений як однорідний матеріал міцністю  $R_{sfbt}$ , він коливається від 23,9 до 23,7%, і в другому, коли його міцність розглянуто в залежності від складових  $R_b$ ,  $R_f$ , які мають свою власну мінливість – від 22,7% до 22,5%; при класі бетону матриці B20 в першому випадку  $V_{N_{utt}}$  коливається від 16,1% до 15,9%, в другому випадку – від 15,5% до 15,3% і при класі бетону матриці B30  $V_{N_{utt}}$  знаходиться в межах від 10,2% до 10,1% – у першому випадку і в межах від 9,2% до 9,1% – у другому випадку.

Отже коефіцієнт варіації несучої здатності розтягнутих сталеві фібробетонних елементів має тенденцію зменшуватись із збільшенням відсотку фібрового армування і класу бетону матриці. Окрім того, значний вплив на змінюваність несучої здатності має мінливість вихідних параметрів, а саме коефіцієнт варіації  $V_{R_{sfbt}}$  у першому випадку і коефіцієнти варіації  $V_{R_b}$  та  $V_{R_f}$  у другому.

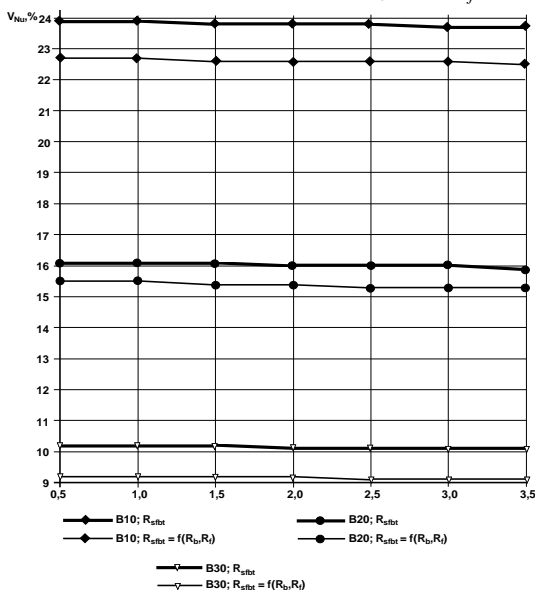


Рис.4. Залежність коефіцієнта варіації несучої здатності розтягнутих сталеві фібробетонних елементів від відсотку фібрового армування

Таким чином встановлено що при прийнятих коефіцієнтах варіації вихідних параметрів надійність перевищує значення 0,9986 тільки при класі бетону матриці В30. При класах бетону матриці В10, В20 вона є недостатньою. Отже при коефіцієнтах варіації вихідних параметрів більших за 12% прийняті розрахункові формули треба використовувати досить обережно, оскільки надійність розтягнутих сталевібробетонних елементів не відповідає нормам щодо забезпеченості розрахункових опорів. При відсутності даних про змінюваність фізико-механічних властивостей сталевібробетону можна обчислити надійність, розглянувши сталевібробетон в залежності від мінливості властивостей його складових компонентів: матриці і сталевих фібр [6].

**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-сталевібробетонных покрытий железобетонных балок: Диссертация на соискание научной. степени кандидата технических наук. – Киев, 1996. – 152 с. **3.** Лысенко Е.Ф., Гетун Г.В. Проектирование сталевібробетонных 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 сталевібробетонных 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. Оцінювання надійності сталевібробетонних елементів: Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.23.01. - Львів, 2001. – 154с.