

**ОСНОВНІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ ТА  
ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ  
КОНСТРУКЦІЙ**

**FEATURES OF CALCULATION AND DESIGN  
CONSTRUCTION OF THE STEEL FIBER CONCRETE**

**Андрійчук О.В., к.т.н., доцент, Гречко О.Г, студент (Луцький  
НТУ, м. Луцьк)**

**Andriichuk O.V., Candidate of Engineering Sciences, Associate  
Professor, O.G. Grechko, student (Lutsk National Technical University,  
Lutsk)**

У статті описано властивості сталевібробетону, його характеристики та сфери застосування. Подано переваги конструкцій виготовлених із дисперсно-армованого бетону в порівнянні з конструкціями з класичного важкого бетону. Розглянуто основні аспекти проектування та особливості розрахунку будівельних конструкцій із сталевібробетону за граничними станами.

During the construction of engineering structures plays an important application of energy efficient building materials and structures of them.

Constructional durability, reliability, durability, small deformation and crack resistance, water resistance, frost is very important. One of these materials is steelfiberconcrete. Steelfiberconcrete are increasingly used in construction because of its specifications lately.

This article describes steelfiberconcrete properties, its characteristics and scope. Posted benefits of dispersed-reinforced concrete in classic heavy concrete. The main aspects of the design and characteristics of the calculation of building structures steelfiberconcrete by boundary conditions. The basic requirements for the calculation of structures with steelfiberconcrete. The algorithm to design strong, reliable and durable elements of steelfiberconcrete.

Ключові слова: фібра, бетон, сталевібробетон, міцність.

Keywords: fiber, concrete, steelfiberconcrete, strength.

Сталефібробетон (СФБ) є різновидом дисперсно-армованого залізобетону та виготовляється з важкого або дрібнозернистого бетону, в якому в якості арматури використовуються сталеві фібри, дисперсно та рівномірно розподілені по об'єму бетону. Спільна робота бетону і сталевих фібр забезпечується зчепленням по їх поверхні, анкеруванням фібри в бетоні за рахунок її періодичного профілю кривизни в поздовжньому і поперечному напрямках, а також наявністю анкерів на кінцях фібр.

Ефективність застосування сталефібробетону в будівельних конструкціях може досягатися за рахунок зниження трудовитрат на арматурні роботи, суміщення технологічних операцій на приготування, армування, укладання та ущільнення сталефібробетонної суміші, продовження терміну експлуатації конструкцій. Для широкого використання в будівництві необхідно подальше вивчення властивостей СФБ з різними фібрами, удосконалення технології виготовлення та методів розрахунку.

У дисперсно-армованому бетоні в якості армуючого матеріалу застосовується фібра – спеціальна дрібна металева або сталева стружка, дріт, а також скловолокно, пропіленове волокно або інші матеріали. Фібра додається в бетон на стадії його формування та надає йому нові властивості. Збільшується міцність на стиск, розтяг і вигин, ударна міцність, довговічність, морозостійкість, водонепроникність, підвищується тріщиностійкість, стійкість до стирання; вогне-, вибухо- та сейсмостійкість.

Доцільність застосування дисперсно-армованих конструкцій (і в т.ч із сталефібробетону) слід визначати на основі техніко-економічних обґрунтувань із врахуванням усіх "за" і "проти". При проектуванні конструкцій такого типу слід керуватись положеннями "ДСТУ Конструкції будинків і споруд. Дисперсно-армовані залізобетонні конструкції. Настанова з проектування та виконання робіт" та "ДБН В.2.6-98. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування".

Сталефібробетонні конструкції будівель і споруд можуть бути різного призначення та виконуватися з важкого або дрібнозернистого бетону класів за міцністю на стиск С20...С60. Застосування СФБ в конструкціях ставить високі вимоги до виготовлення бетону-матриці на бетонно-розчинних вузлах.

Сталефібробетон рекомендується застосовувати для виготовлення конструкцій, в яких найбільш ефективно можуть бути використані наступні його технічні переваги в порівнянні з традиційним бетоном і залізобетоном:

- підвищена тріщиностійкість, водонепроникність, ударна міцність, сейсмостійкість, в'язкість руйнування, зносо- та морозостійкість, опір кавітації;

- знижені усадка і повзучість;

- можливість використання технологічно більш ефективних конструктивних рішень, ніж при традиційному стержневому армуванні, наприклад тонкостінних конструкцій, конструкцій без стрижневої розподільної, непрямої або поперечної арматури;

- знижені витрати праці на арматурні роботи;

- підвищення ступеня механізації та автоматизації виробництва конструкцій;

- можливість застосування нових і продуктивніших прийомів влаштування конструкцій;

В Україні розроблено "Настанову з проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій", яка розповсюджується на проектування сталефібробетонних конструкцій будівель і споруд різного призначення, котрі виконуються з важкого та дрібнозернистого бетону, армованого сталевими волокнами. Даний стандарт встановлює вимоги до проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій без попередньо напруженої арматури, котрі експлуатуються при статичному навантаженні у середовищі з неагресивним ступенем впливу і в кліматичних умовах України. Але нормами не передбачено розроблення каталогу номенклатури композиційних матеріалів, не передбачається виготовлення конструкцій і виробів з використанням інших волокон (базальтових, скляних, синтетичних) для будівель і споруд промислового, цивільного та житлового призначення. Тому дуже актуальними задачами є проведення стендових досліджень конструкцій із СФБ і розроблення алгоритмів їх розрахунку.

Під час проектування конструкцій із СФБ зусилля, напруження і деформації від зовнішніх навантажень та впливів середовища в сталефібробетонні та комбіновано армованих конструкціях та в системах споруд слід визначати за загальними правилами

будівельної механіки з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності роботи конструкції у системі.

Під час проведення розрахунку статично невизначених конструкцій необхідно враховувати перерозподіл зусиль в елементах системи внаслідок нелінійних деформацій сталевібробетону та арматури і процесів тріщиноутворення за граничним станом, що розглядається.

Надійність конструкцій із СФБ при проектуванні забезпечується розрахунком шляхом застосуванням розрахункових значень навантажень і впливів, розрахункових значень характеристик матеріалів, що визначаються за допомогою часткових коефіцієнтів надійності. Характеристичні значення навантажень і впливів, коефіцієнтів сполучень, коефіцієнтів надійності за навантаженнями приймають згідно з ДБН В.1.2-2, а коефіцієнти відповідальності відповідно до ДБН В.2.2-14.

Розрахунки СФБ конструкцій проводять із урахуванням можливого утворення тріщин і непружних деформацій у бетоні та арматурі.

СФБ конструкції повинні бути убезпечені від виникнення всіх видів граничних станів розрахунком із необхідною надійністю.

Розрахунок сталевібробетонних конструкцій за граничними станами виконується за аналогією з розрахунком залізобетонних та армоцементних конструкцій із урахуванням розрахункових характеристик СФБ. Під час розрахунку СФБ конструкцій середню щільність СФБ допускається приймати рівною:

- 2500 кг/м<sup>3</sup> для важкого бетону-матриці;
- 2400 кг/м<sup>3</sup> для дрібнозернистого бетону-матриці.

Вміст фібрової арматури ( $\mu$ ) в одиниці об'єму СФБ визначається розрахунком згідно з вимогами до його фізико-механічних властивостей.

Розрахунок СФБ конструкцій проводять за граничними станами, що включають:

- граничний стан першої групи – до повної непридатності для експлуатації внаслідок втрати несучої здатності;
- граничні стани другої групи – до непридатності для нормальної експлуатації внаслідок утворення чи надмірного розкриття тріщин, прогинів, появи неприпустимих деформацій та ін.

До тріщиностійкості СФБ конструкцій пред'являють вимоги залежно від умов, в яких вони працюють, і від виду армування, а також величини гранично допустимої ширини розкриття тріщин:

- I категорія – не допускається утворення тріщин;
- II категорія – допускається розкриття тріщин обмежене по ширині.

При розрахунку сталевібробетонних конструкцій по міцності вони розглядаються як залізобетонні з фібрової арматурою, рівномірно розподіленим по всьому об'єму (перерізу). Розрахунок міцності сталевібробетонних конструкцій проводиться за граничними зусиллям з урахуванням виду армування фібрового або комбінованого.

Здійснюють розрахунок міцності нормальних перерізів сталевібробетонних елементів виробляють на основі граничних зусиль.

При розрахунку позацентрово-стиснутих СФБ елементів слід враховувати вплив прогину на їх несучу здатність, як правило, шляхом розрахунку конструкцій за деформативною схемою.

Розрахунки за граничними станами другої групи включають:

- розрахунок по розкриттю тріщин;
- розрахунок по розкриттю тріщин, нормальних і нахилених до поздовжньої осі елемента.

Розрахунок на закриття тріщин для СФБ конструкцій не проводять, а на утворення тріщин здійснюють для перевірки необхідності розрахунку по розкриттю тріщин, а також для перевірки необхідності врахування тріщин при розрахунку за деформаціями.

Розрахунок елементів СФБ конструкцій за деформаціями проводять із урахуванням експлуатаційних вимог до конструкцій. Розрахунок по деформаціям слід проводити на дію:

- постійних, тимчасових, тривалих і короткочасних навантажень при обмеженні деформацій технологічними або конструктивними вимогами;
- постійних і тимчасових, тривалих навантажень при обмеженні деформацій естетичними вимогами.

Деформації (прогини, кути повороту) елементів СФБ конструкцій визначають за формулами будівельної механіки.

Під час проектування СФБ конструкцій їх надійність встановлюють розрахунком, шляхом використання розрахункових

значень навантажень та впливів, розрахункових значень характеристик матеріалів, що визначаються за допомогою відповідних коефіцієнтів надійності за нормативним значенням з урахуванням ступеня відповідальності будівель і споруд.

Основними показниками, що встановлюються при проектуванні якості бетону-матриці є:

- клас бетону-матриці за міцністю на стиск;
- клас за міцністю на осьовий розтяг (призначають у випадках, коли ця характеристика має вільне значення та її контролюють на виробництві);
- марка за морозостійкістю (призначають для конструкцій, що піддаються дії поперемінного заморожування і відтавання);
- марка за водонепроникністю (призначають для конструкцій, до яких пред'являють вимоги обмеження водопроникності).

Для конструкцій із СФБ рекомендується застосовувати бетон класу за міцністю на стиск не нижче С20/25. Застосування бетону-матриці більш низького класу повинно бути обґрунтовано.

Основними характеристиками міцності бетону-матриці є нормативні значення:

- опору осьовому стиску,  $f_{cm}$  ;
- опору осьовому розтягу,  $f_{ctk}$  .

Розрахункові значення опору бетону-матриці осьовому стиску  $f_{cm}$  і осьовому розтягу  $f_{ctk}$  визначають за формулами:

$$f_{cm} = f_{cm} / \gamma_c \quad (1)$$

$$f_{ctk} = f_{ctk} / \gamma_{ct} \quad (2)$$

Основними деформаційними характеристиками бетону-матриці є значення:

- граничних відносних деформацій при осьовому стисненні і розтягуванні (при однорідному напруженому стані бетону-матриці)  $\varepsilon_{cu}$  і

$\varepsilon_{ctu}$  ;

- початкового модуля пружності  $E_{ck}$  ;
- коефіцієнт (характеристики) повзучості  $\varphi(t, t_0)$
- коеф. поперечної деформації бетону (коеф. Пуассона)  $\nu_c$  ;

- коефіцієнт лінійної температурної деформації бетону  $\alpha_{ct}$  ;

Значення граничних відносних деформацій бетону-матриці приймають рівними:

- при нетривалому дії навантаження:

$\varepsilon_{cu} = 0,003$  - при осьовому стисненні,

$\varepsilon_{ctu} = 0,00015$  при осьовому розтягу;

- при тривалій дії навантаження – в залежності від відносної вологості навколишнього середовища.

Значення початкового модуля пружності бетону-матриці при стисненні та розтягуванні приймають залежно від класу бетону-матриці за міцністю на стиск.

Основною міцнісною характеристикою фібри є нормативне значення опору розтягуванню  $f_{ctk}$  прийняте в залежності від виду фібрової арматури.

Розрахунковий опір фібри на розтяг для граничних станів першої групи  $f_{ctk}$  визначається шляхом ділення нормативного опору на коефіцієнт надійності фібрової арматури  $\gamma_s$  ,

Для забезпечення несучої здатності, придатності до нормальної експлуатації та довговічності бетонних і СФБ конструкцій крім вимог, на основі розрахунку, виконують конструктивні вимоги:

- по геометричних розмірах елементів конструкцій;
- по армуванню (вмісту та розташування арматури, товщини захисного шару бетону і з'єднанням арматури);
- по захисту конструкцій від агресивних впливів середовища.

Арматура, розташована всередині конструкції, повинна мати захисний шар бетону, щоб забезпечувати:

- спільну роботу арматури з бетоном;
- анкерування арматури в бетоні та можливість влаштування стиків арматурних елементів;
- захист арматури від впливів навколишнього середовища;
- необхідну вогнестійкість.

Товщина захисного шару сталефіробетону призначається виходячи з вимог з урахуванням типу конструкцій, ролі арматури в конструкціях (поздовжня робоча, поперечна, розподільна, конструктивна арматура), умов навколишнього середовища та діаметра арматури.

Сталефібробетон є перспективним будівельним матеріалом, який дозволяє поліпшити деформативно-міцнісні характеристики будівельних виробів і конструкцій. Застосування конструкцій із СФБ взамін типових залізобетонних дозволяє (після детального обґрунтування) знизити матеріалоемність конструкції і, як наслідок, їх вагу, знизити витрати праці під час їхнього виготовлення, та значно підвищити довговічність конструкції.

Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Дисперсно-армований бетон – надійний та ефективний матеріал для транспортного будівництва // Транспортное строительство Украины. – 2007. – № 5. – С. 16 – 20.

Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф.Н. Рабинович // Монография. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 642 с.

ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Конструкції будинків і споруд. Наставна з проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій. – К., Мінрегіонбуд України, 2009. – 46 с.

Сунак О.П. Сталеві фібробетонні конструкції.–К.: ІЗІМН, 1999.– 158 с.

Билозир В.В. Образование и раскрытие трещин в нормальных сечениях изгибаемых сталефибробетонных элементов на фибре из листа: Дис ... канд. техн. наук: 05.23.01 – М., 1991. – 164 с.

Андрійчук О.В. Сталефібробетонні безнапірні труби /О.В. Андрійчук, С.М. Бабич // Монографія. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. – 150 с.

Андрійчук О.В. Методика експериментального дослідження придорожніх лотків водовідведення із сталефібробетону / О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: науковий збірник №30 – Рівне, НУВГП, 2015. – С. 86-95.

Войлоков И.А. Применение дисперсного армирования при строительстве гидротехнических сооружений / И.А. Войлоков // Инженерно-строительный журнал – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2009. – Выпуск 1. – С. 28 – 32.