

**ЕФЕКТИВНІ ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ
СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ**

**EFFECTIVE APPLICATION AREAS OF FIBRE REINFORCED
CONCRETE**

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)

Проаналізовано основні галузі ефективного застосування сталевібробетону. Доведено актуальність питання удосконалення методів розрахунку сталевібробетонних конструкцій з урахуванням специфіки цього матеріалу та розробки рекомендацій для їх проектування.

Nowadays, scientists and researchers have obtained many experimental results, which characterize the strength and deformation properties of fine-grained concrete, steel fibers and fibre reinforced concrete.

The inclusion of fibers into the concrete mix in the process of manufacturing it changes the nature of fragile concrete materials. It become more deformable, it is better resistant to stretching, rubbing, impact and other influences. Accordingly, fibre reinforced concrete has a number of advantages over conventional reinforced concrete. Namely, increased crack-resistance, viscosity and elasticity, greater endurance to vibration and shock loads, better resists abrasion and high temperatures.

The advantages of fibre reinforced concrete allow it in many constructions, buildings and structures.

The fibre reinforced concrete is expedient to use for thin-walled coatings, for wall enclosing elements, for elements that operate in a volumetric stress-strain state, in prestressed structures in order to increase the anchoring of the fittings, in engineering facilities, for floors of industrial buildings, in foundations for technological equipment, in

nuclear and thermal power stations for protective screens, in breakwaters, to strengthen structures and so on.

The article analyzes the main fields of effective use of steel fiber reinforced concrete. The urgency of the issue of improvement methods of calculating fibre reinforced concrete structures is substantiated. Taking into account the specifics of this material and the need to develop recommendations for their design.

Ключові слова: сталеві фібробетон, бетон, фібра, міцність.

Keywords: fibre reinforced concrete, concrete, fiber, strength.

На сьогоднішній день науковцями та дослідниками отримано багато експериментальних результатів, що характеризують міцнісні та деформативні властивості дрібнозернистого бетону, сталеві фібри та сталеві фібробетону.

Включення фібр в бетонну суміш в процесі її виготовлення змінює природу крихких бетонних матеріалів. Вони стають більш деформативними, краще чинять опір розтягуванню, стиранню, удару та іншим впливам. У зв'язку з цим сталеві фібробетон має низку переваг над звичайним залізобетоном – підвищену тріщиностійкість, в'язкість і пружність, більшу витривалість на вібраційні та ударні навантаження, краще опирається стиранню і дії високих температур.

Проведений нами аналіз результатів досліджень [1-12 та ін.] показав, що наведені переваги сталеві фібробетону дозволяють його ефективно використовувати в багатьох конструкціях, будівлях та спорудах. Зокрема, сталеві фібробетон доцільно використовувати для тонкостінних конструкцій покриттів, для стінових огорожувальних елементів, для елементів, які працюють в умовах об'ємного напружено-деформованого стану, в попередньо напружених конструкціях з метою підвищення анкерування арматури, в інженерних спорудах (днища резервуарів, водовідвідні лотки тощо), для підлог виробничих будівель, в палях і фундаментах під технологічне обладнання, в атомних і теплових електростанціях для захисних екранів, хвилерізів та набережних, при підсиленні конструкцій тощо.

Експериментальні роботи авторів [2, 3, 5], а також чисельні експериментальні дослідження проведені в провідних науково-

дослідних інститутах показали, що сталевібробетон ефективно використовувати в плитах, в балках і ребрах, в колонах та стояках, в стінових конструкціях, в інженерних спорудах.

При товщині до 70 мм сталевібробетонні плити за міцністю не поступаються перед залізобетонними, економічніші за витратою сталі та бетону і мають меншу масу. Зі зменшенням товщини відносна міцність залізобетонних плит падає, а сталевібробетонних зростає. Автори пояснюють це тим, що захисний шар бетону складає значну частину товщини залізобетонної плити і є по суті тільки додатковим навантаженням. Приблизно 15 % розподільчої арматури орієнтовано в поперечному напрямку і на розтяг не працює. Із зменшенням товщини сталевібробетонних плит збільшується частка фібр, орієнтованих паралельно площині плити. Якщо товщина плити менша за довжину фібр, останні повністю орієнтуються в площині плити. Завдяки цьому особливо ефективною є робота сталевібробетону в тонкостінних просторових конструкціях покриттів [2].

Як показали дослідження [9, 10] міцність нормальних перерізів сталевібробетонних балок в зоні максимального зусилля нижча за міцність залізобетонних. Натомість, в залізобетонних балках значна кількість сталі витрачається на поперечну, монтажну та розподільчу арматуру, тоді як в сталевібробетонних ця арматура відсутня. Тому для розглядуваних елементів доцільно поєднувати сталевібробетон зі стержньовою поздовжньою арматурою. У цьому випадку сталевібробетон сприймає головні розтягувальні та сколювальні зусилля, замінюючи поперечні та відігнуті стержні, а його підвищена розтягуваність дозволяє зменшити ширину елемента. Після появи тріщин, завдяки орієнтації фібри у всіх напрямках вони сприймають зусилля, викликані як згинальним моментом, так і поперечною силою.

Комбіноване армування балок [10] дозволяє використати роботу сталевібробетону в нормальних перерізах і зменшити площу поздовжньої стержньової арматури, а при стержнях із м'якої сталі – використати їх міцнісні властивості за межею текучості внаслідок уповільненого розкриття тріщин і зменшення висоти стиснутої зони. За рахунок підвищеного зчеплення арматури зі сталевібробетоном можна зменшити довжину і підвищити надійність анкерування стержнів.

Результати досліджень показали, що несуча здатність нормальних перерізів комбіновано армованих сталевібробетонних елементів, що працюють на згинання, вища за несучу здатність залізобетонних балок і підвищується із збільшенням довжини фібр. Жорсткість перерізів комбіновано армованих елементів підвищувалась з підвищенням відсотку фібрового армування.

Результати випробування плит 500 x 250 x 100 мм, армованих стержневою арматурою діаметром 10 мм, відрізками дроту довжиною 25 мм, діаметром 0,3 мм та довжиною 120 мм, діаметром 1,2 мм з об'ємним відсотком армування 2%, показали збільшення несучої здатності комбіновано армованих плит на 85 і 93% у порівнянні з залізобетонними плитами. Ширина розкриття нормальних тріщин в комбіновано армованих плитах з фібровою арматурою діаметром 1,2 мм в 3 рази, а з діаметром 0,3 мм в 9 раз менша, ніж в залізобетонних. Ці результати свідчать про те, що фіброве армування значно збільшує момент тріщиноутворення, суттєво уповільнює збільшення кількості тріщин і підвищує жорсткість елементу. Відповідно прогини комбіновано армованих плит з фібрами діаметром 1,2 мм на 12 %, а з фібрами діаметром 0,3мм на 32 % менші за прогини в залізобетонних плитах.

Сопільняк А. В. [10] тривалим навантаженням випробував балки розміром 75 x 120 x 1250 мм. Балки були армовані двома плоскими зварними каркасами з поздовжньою арматурою в розтягнутій зоні діаметром 6 мм. У комбіновано армованих балках розтягнута зона підсилена шаром сталевібробетону висотою 0,29h. Досліджували повзучість бетону стиснутої зони, приріст прогинів і зміну висоти стиснутої зони в процесі навантаження, утворення і розкриття тріщин. У результаті було встановлено, що процес збільшення середніх відносних деформацій крайніх стиснутих волокон бетону і розтягнутої арматури, а також прогинів, якісно аналогічний тому, що має місце в залізобетонних елементах без шару сталевібробетону. Включення в розтягнуту зону балок шару сталевібробетону у порівнянні з залізобетонними балками підвищує момент тріщиноутворення в два рази, несучу здатність до 20%, жорсткість до 22 % і знижує коефіцієнт, що враховує нерівномірність деформацій в арматурі, на 10 – 15 %.

У колонах та стояках за умовою міцності в експлуатаційній стадії поздовжню арматуру, як правило, встановлюють конструктивно (крім випадків, коли діють значні згинальні

моменти). Постановка поперечної арматури викликана наявністю поздовжньої. Стержньова арматура сприймає також зусилля, що виникають при транспортуванні і монтажі та від усадки бетону і випадкових ексцентриситетів. Перелічені вище функції стержньової арматури автори досліджень [10, 11] рекомендують замінити за рахунок застосування сталевібробетону або комбінації його зі стержнями. Іде мова також про можливість виготовлення тонкостінних конструкцій, що працюють на стискання, наприклад колон двотаврового або кільцевого перерізів. Маса таких елементів менша за масу суцільних, а міцність – рівноцінна. За рахунок застосування сталевібробетону в таких конструкціях економлять бетон і частково стержньову арматуру.

Експериментальні дослідження фрагментів сталевібробетонних стінових панелей житлових будівель показали, що ознак руйнування плит та в'язів не було. Прогини зразків були пропорційні зусиллям на всіх етапах завантаження і не перевищували нормативних вимог. Підвищена в'язкість та розтягуваність сталевібробетону при згині веде до збільшення деформацій без розшарування, що дає можливість використовувати його в конструкціях, які сприймають сейсмічні та ударні навантаження.

Про застосування сталевібробетону для зведення монолітних днищ та стінок каналізаційних відстійників, бункерів, силосів і резервуарів відмічено в роботах [5, 6, 12]. У таких конструкціях економічний ефект отримують за рахунок зниження матеріаломісткості, вартості та працевтрат, за рахунок спрощення арматурних робіт, виключення значної частини стержньової арматури та суміщення процесів армування та бетонування. При такому використанні, підвищується опір стінок місткостей, футерованих сталевібробетоном, стиранню при руху продукту зберігання.

Враховуючи підвищений опір сталевібробетону проти впливів навколишнього середовища (нагрівання, заморожування та розморожування, тиск води, агресивність середовища), його можна успішно використовувати для виготовлення збірних лотків іригаційних систем та гідротехнічних споруд, труб (особливо центрифугованих), акведуків тощо [5, 6, 9 та ін.].

Крічевський С. А. [2] показав, що торкретсталевібробетонне покриття ефективно для підсилення залізобетонних балок. Воно

дозволяє збільшити їх жорсткість і тріщиностійкість більш ніж у двічі, а міцність балок у середньому на 35 %. Найбільш ефективним способом підсилення залізобетонних балок є сталеві фібробетонна обойма.

Закордонний та вітчизняний досвід показує, що сталеві фібробетон раціонально використовувати для покриття доріг, злітних смуг аеродромів, проїзних частин мостів та шляхопроводів [8 та ін.]. Позитивний ефект при цьому досягається за рахунок високої в'язкості сталеві фібробетону, підвищеного опору зсуву та стиранню, а також можливості суміщення армування та укладання бетону в один процес.

Зважаючи на широке поширення за останні десятиліття сфер використання матеріалів та конструкцій на основі сталеві фібробетону, наведені вище приклади далеко не в повній мірі показують, де і в яких конструкціях ефективно використовувати цей матеріал. Наприклад, дослідження показали, що сталеві фібробетон можна успішно використовувати у фортифікаційних спорудах, при будівництві хвилерізів, набережних, реконструкції будівель та підсиленні існуючих конструкцій, в малих архітектурних формах та декоративних виробках.

Також, на нашу думку, сучасний стрімкий розвиток перспективних 3-D технологій будівельного виробництва надає важливі переваги сталеві фібробетону, як більш доступнішому для впровадження виробничих процесів автоматизованого друкування залізобетонних конструкцій будівель та споруд за допомогою будівельних 3-D принтерів.

Таким чином, сталеві фібробетон можна рекомендувати для широкого впровадження у практику будівництва там, де його використання є ефективним. Тому актуальними постають питання удосконалення методів розрахунку сталеві фібробетонних конструкцій з урахуванням специфіки цього матеріалу та розробки рекомендацій для їх проектування.

1. Зятюк Ю. Ю. Исследование деформационных характеристик фибробетона со стальной фиброй // Ю. Ю. Зятюк / Весник Белорусско-Российского университета, УПКП МЭУП - №3 (52) Могилев – 2016. – с. 160-168 2. Кричевский С. А. Прочность, деформативность и трещиностойкость торкретсталеві фібробетонных 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.** Семенюк С. Д. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, при статическом и малоцикловом нагружении: монография / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова. - Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. - 274 с. **5.** 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. **6.** Сунак П.О., Сунак О.П. Оцінювання надійності сталефібробетонних елементів. Монографія // П.О. Сунак, О.П. Сунак. - Луцьк: ЛДТУ, 2001. – 142с. **7.** Сунак П. О. Дослідження методів визначення надійності позacentрово стиснутих сталефібробетонних елементів / П. О. Сунак, С. В. Синій, Ю. А. Мельник, Б. О. Парасюк // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – Вип. 7. - С. 245-251. **8.** Сунак П. О. Исследование изменчивости кубиковой прочности сталефибробетона [Текст] / П. О. Сунак, С. В. Синий, О. П. Сунак, Ю. А. Мельник // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 (Гомель, БелГУТ, 23-24 апреля 2015 г.). – Гомель: БелГУТ, 2015. – С. 61-65. **9.** Соломин В.И. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.23.01. - Киев, 1979. – 140 с. **10.** Сопильняк А.В. напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных комбинировано армированных элементов при кратковременном и длительном действии нагрузки: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.23.01.-Киев, 1983. – 150 с. **11** Эйзеншmidt Р. О. Деформативность изгибаемых сталефибробетонных балок, имеющих фибровое и комбинированное армирование при длительном действии нагрузки: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук: 05.23.01. - Рига, РПИ, 1983. – 168 с. **12.** Бабищ Є.М., Андрійчук О.В. Про доцільність використання сталефібробетону для виготовлення безнапінних труб / Є.М. Бабищ, О.В. Андрійчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць – Рівне: НУВГП, 2009. – Випуск 18. – С. 119 – 126.