

*О. Ю. Дорошенко
Ю. М. Дорошенко*

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ФІБРОБЕТОНУ У БУДІВНИЦТВІ

У статті розглядається досвід застосування дисперсного фіб्रो-армування, яке дозволить компенсувати головні недоліки бетону, а саме: низьку міцність на розтяг, знизити усадку й повзучість.

Experience of application of dispersible re-enforcement which will allow to compensate the main lacks of concrete is examined in the article, namely, low durability on tension, to reduce usadku and creep.

В статье рассматривается опыт применения дисперсного фибро-армирования, которое позволит компенсировать главные недостатки бетона, а именно: низкую прочность на растяжение, снизит усадку и ползучесть.

Ключові слова: цементний бетон, довговічність, надійність, дисперсне армування, фібробетон.

Останні десятиліття ХХ ст. ознаменувалися значними досягненнями в будівельній галузі [1, 2, 3, 4]. Високі темпи будівництва вимагають розробки нових ефективних бетонів [5, 6, 7, 8, 9]. До таких бетонів належить дисперсно-армований високоміцний фібробетон [10 – 12]. Дисперсне фіброве армування дозволяє компенсувати головні недоліки бетону, а саме: низьку міцність на розтяг й розтяг при вигині, знизити усадку й повзучість [13 – 19].

Збільшення міцності бетонної суміші на стиск, на розтяг при згині, на розтяг при розколі, на осьовий розтяг залежить від збільшення величини діаметра й об'ємного вмісту волокон; при збільшенні діаметра й об'ємного вмісту волокон збільшується й жорсткість бетонної суміші, що негативно впливає на її легкоукладальність; оптимальний діаметр 0,8 – 1,0 мм і об'ємний вміст волокон 2 – 3 % об'єму бетонної суміші [20 – 22].

Фібробетон вигідно відрізняється від традиційного бетону, маючи в кілька разів більш високі, у порівнянні з ним, міцність на розтяг, ударну міцність, тріщиностійкість, морозостійкість, водонепроникність, жароміцність і пожежостійкість. По показнику роботи руйнування фібробетон може в 15 – 20 разів перевершувати звичайний бетон [23 – 25].

Це забезпечує його високу техніко-економічну ефективність при застосуванні в будівельних конструкціях [12, 26]. Разом з цим, найважливішим фактором

© *Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М., 2014*

низької затребуваності фібробетону в будівництві є його відносно більш висока вихідна ціна в порівнянні зі звичайним бетоном або залізобетоном. При цьому не враховується, що фібробетон забезпечує економічний ефект головним чином за рахунок більш високої довговічності, експлуатаційної стійкості, збільшення міжремонтного ресурсу й підвищення безпеки споруджень при сейсмічних впливах і пожежах [11, 27, 28].

Армування бетону сталевими волокнами вироблялося на початку минулого століття. Нині номенклатура армуючих елементів значно розширена. Сьогодні для армування використовуються різні органічні й неорганічні волокна, такі як скло, поліпропілен, вуглецеві волокна тощо. [29 – 31]. Інтерес до практичного застосування синтетичних волокон у будівництві зріс у зв'язку з розвитком виробництва й застосування сухих будівельних сумішей різного функціонального призначення [32].

Значний розвиток і застосування фібробетон одержав у Японії. У 1980 р. Японська асоціація по тунелебудуванню розробила посібник із проектування й виготовлення бетону, армованого сталевими волокнами, призначеного для обробки тунелів. Японське суспільство інженерів цивільного будівництва також підготувало посібник із проектування й готування бетону, армованого сталевими волокнами, для конструкцій дорожнього одягу й гребель. Уже у вісімдесятих роках кількість використаної в цій країні сталеві фібри досягло 3000 т, з яких 2500 т було виготовлено з углеродистої і близько 500 т з нержавіючої сталі [33]. Одночасно Японським інститутом бетону розроблені методи випробування фібробетону. Крім того, у рамках Японської асоціації по цементу в 1960 р. був заснований комітет з вивчення фібробетону, основні завдання якого – підготовка нормативних матеріалів щодо його виробництва на заводах товарного бетону, дослідження характеристик фібробетону на основі бетону, що розширюється, а також вивчення конструкцій дорожніх покриттів та інших конструкцій з бетону, армованого сталевими волокнами.

Досвід таких розвинених країн, як США, Великобританія, Німеччина, Франція й Австралія, переконливо довів техніко-економічну ефективність застосування фібробетону в будівельних конструкціях [34 – 39]. У будівельній практиці США сталеві фібробетон широко застосовують для монолітних підлог промислових будинків, покриттів в аеропортах і доріг з важкими транспортними навантаженнями [40].

У зарубіжній практиці більш широко застосовується фібробетон з використанням різноманітних асортиментів фібри: сталеві, скляної, вуглецевої, поліпропіленової й ін. [33, 41, 42, 43].

Із зарубіжного досвіду варто виділити застосування фібробетонів у дорожньому й тунельному будівництві, будівництві морських платформ і гребель, а також підлог промислових будинків, терміналів і т.п. Найцікавішими прикладами застосування сталеві фібробетону є: конструкції тунелів метрополітену в Осло (Норвегія); кріплення гідротехнічного тунелю діаметром 2,34 м у Карсінгтоні (Великобританія); тунель Хеггура й газопровідні тунелі під дном Північного моря (Норвегія); залізничні тунелі в Канаді; колекторні тунелі метрополітену в Гамбурзі (ФРН) і Ліоні (Франція); автодорожній тунель довжиною 6,63 км на глибині до 1 км «Энасан-2» (Японія) [35]. В Австралії однієї з основних областей застосування сталеві фібробетону є виготовлення дорожніх покриттів з інтен-

сивним рухом транспорту [17]. У Німеччині понад 25% індустріальних підлог зведене зі сталевібробетону [44].

В останні роки в зарубіжній практиці все більшого застосування знаходять фібробетони з фібровим армуванням із синтетичних волокон, зокрема, високоміцними, корозійно-стійкими в різних середовищах [35, 44]. Волокна знаходять застосування в бетоні для промислових складів, гідротехнічних споруджень, зовнішніх площадок, у бетонних плитах перекриттів, об'єктах нафтохімічної промисловості, мостах, монолітних конструкціях, бетонних плитах фундаментів, залізобетонних палях, у будівельних розчинах і штукатурці, у матеріалах для ремонту бетону, а також у місцях підвищеної сейсмічної активності [17, 36].

Широкий досвід застосування фібробетону з використанням сталеві, скляної, базальтової й поліпропіленової фібри є в Росії. [45]. Перші роботи щодо одержання дисперсно-армованих бетонів із застосуванням сталевих волокон, пов'язують з ім'ям В.П. Некрасова, який ще в 1907 р. виконав комплекс робіт з дослідження бетону, регулярно й хаотично дисперсно-армованого відрізкамі дротів малих діаметрів. Пропонувалося вводити в бетонну суміш металеву вовну, стружки й інші подібні матеріали [17, 36]. У російській практиці будівництва, на відміну від зарубіжної, фібробетон застосовується для виготовлення збірних конструкцій. Перший практичний досвід застосування сталевібробетону зареєстрований у 1979 р. при будівництві монолітного днища прямокутного резервуара розміром 12 x 18 м для зберігання технічної води на Північній водопровідній станції в Ленінграді. Витрата фібри в днище становила 120 кг/м бетону (1,5 % за обсягом) [18].

Дослідження, проведені НДІЗБ, ЛенЗНІЕП, ЦНДІпромбудівель та ін., дозволили найбільш повно вивчити й практично використовувати сталевібробетони [10, 30, 35, 36, 45]. Підготовлена необхідна для масового впровадження нормативна база щодо технології готування, розрахунку й проектування таких бетонів, а також спеціальні рекомендації й для монолітного сталевібробетону. Це дозволило в дослідному порядку впровадити палі, лотки, кільця оглядових колодязів, плити дорожніх покриттів, ребристі й складчасті панелі покриттів, днища резервуарів і дорожні покриття [18].

В останні роки йде ефективне будівництво зі сталевібробетону індустріальних підлог. При цьому знижуються матеріало- і трудомісткість будівництва, вартість будівництва, підвищується якість, експлуатаційна надійність і збільшується міжремонтний ресурс конструкцій підлоги.

Сталевібробетон також застосовується деякими металургійними заводами при виготовленні покриттів дворів і доріг під важке навантаження від 60-тонних автомобілів, як підстава прокатних блюмінгових станів і для створення монолітної вогнетривкої футеровки нагрівальних печей.

Сьогодні досить добре вивчені фібробетони на основі сталі, скла й деревини [17, 46], менше – дисперсно-армовані бетони на синтетичних і вуглецевих волокнах. Склофібробетони, маючи, в порівнянні з бетонами на сталевій фібрі, додаткову перевагу (стійкість у корозійних середовищах), одержали менше практичне застосування. Це обумовлено невеликими обсягами виготовлення таких арматур. У зарубіжній практиці для виготовлення склофібробетону використовуються, як правило, лугостійке скловолокно.

Грунтуючись на результатах, отриманих у вітчизняній і світовій практиці, особливу увагу варто приділити створенню різних видів неорганічних матриць

не тільки на основі цементу й гіпсу, але й із застосуванням різних видів композиційних в'язучих, модифікованих комплексними органічними добавками й дисперсним наповнювачем [36].

При застосуванні дисперсного армування ефективно підвищується морозостійкість бетону [38], незважаючи на деякий ріст при цьому кількості капілярних пор. Волокна фібри сприймають розтяжні напруги, які виникають при заморожуванні води в порах матеріалу. Також не можна не враховувати «утримуючий» ефект волокон, що перешкоджає відшаруванню й відколюванню фрагментів бетону від конструкції (зразка) при заморожуванні й відтаванні.

Зміна властивостей фібробетонів пояснюється із принципу створення композитів, що ґрунтуються на спільній роботі матеріалів з різними фізико-механічними властивостями [42]. Як фібра можуть виступати сталеві, полімерні, скляні, вуглецеві, базальтові й інші волокна [9, 17, 46, 47, 48].

Якість роботи дисперсно-армованих композитів залежить від факторів, що забезпечують спільну роботу елементів структури: зчеплення волокон з матрицею й забезпечення інертності їх щодо один одного. У цементних бетонах зчеплення волокон з матрицею відбувається як за рахунок фізичної адгезії, обумовленої нерівностями на поверхні волокон, так і за рахунок механічного заклинювання фібри частками матриці [49, 50]. Залежно від взаємодії між волокнами фібри з матрицею, їхньої орієнтації й концентрації по-різному відбувається деформація й руйнування армованого композиту [46].

Введення волокон значно збільшує залишкову міцність матеріалу, а його руйнування відбувається при більш високих значеннях деформації. Навантаження деформації зсуву в контактній зоні волокна й матриці до волокна обумовлюється розходженням між їхніми модулями пружності. Постійне зусилля зсуву на кінцях фібри супроводжується зростанням розтяжних напруг з видаленням від кінців фібри. При незначному ступені армування фіброю в поперечному перерізі з'являється ефект концентрації напруг внаслідок наявності кінців фібр.

Волокна фібри здатні нести деяке навантаження, прикладене до композита вже після розтріскування матриці (за даними – до 2 МПа). Але для цього об'ємний зміст фібри в композиті має бути вище деякого «критичного». За рахунок гальмування процесу тріщиноутворення волокнами, дисперсне армування матриці підвищує ударну міцність, тобто критичний коефіцієнт інтенсивності напруг або тріщиностійкість композиту [44].

Дисперсне армування зменшує прогин зразків при навантаженні, а вже після утворення тріщини в армованих бетонах напруга при вигині, що забезпечує той самий прогин, значно вище, ніж у неармованих. Тобто фібра підвищує якість бетону, зокрема й за рахунок своєї розтяжності й роботи волокон після появи тріщин [44]. Ступінь водонасичення також впливає на властивості дисперсно-армованих композитів, оскільки знижують зчеплення волокон, що впливає на спільну роботу фібри й матриці.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Баженов Ю.М., Фаликман В.Р.* Новый век: новые эффективные бетоны и технологии // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: Материалы I Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона. – Москва, 9 – 14 сентября 2001 г. – Т. 1. – М.: Ассоциация «Железобетон», 2001. – С. 91 – 101.

2. *Баженов Ю.М.* Технология бетона. – М.: Высшая школа, 2002. – 415 с.
3. *Кохмохов П.Г.* О бетоне XXI века // Вестник РААСН. – М., 2001. – № 5. – С. 9 – 12.
4. *Михайлов В.В., Волков Ю.С.* Бетон и железобетонные конструкции. Состояние и перспективы применения в промышленном и гражданском строительстве. – М.: Стройиздат, 1983. – 358 с.
5. *Баженов Ю.М.* Повышение эффективности и экономичности технологии бетонов // Бетон и железобетон. – 1988. – № 9. – С. 14 – 16.
6. *Баженов Ю.М.* Бетоны повышенной долговечности // Строительные материалы. – 1999. – № 7 – 8. – С. 21 – 22.
7. *Баженов Ю.М.* Многокомпонентный мелкозернистый бетон для высотного строительства // Сборник докладов. II Международный симпозиум по строительным материалам КНАУФ для СНГ «Современное высотное строительство. Эффективные технологии и материалы». – М., 2005. – С. 7 – 73.
8. *Каприелова С.С.* Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива / С.С. Каприелова, В.Г. Батраков, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – С. 6–10.
9. *Рабинович Ф.Н., Курбатов Л.Г.* Применение сталефибробетона в конструкциях инженерных сооружений // Бетон и железобетон. – 1984. – № 12. – С. 22 – 25.
10. *Волков И.В.* Фибробетонные конструкции // Обз. инф. Серия «Строительные конструкции». Вып. 2. – М.: ВНИИИС Госстроя СССР, 1988. – 18 с.
11. *Волков И.В.* Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы. – 2004. – № 6. – С. 12–13.
12. *Волков И.В.* Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004. – № 5. – С. 5–7.
13. *Антропова В.А., Дробышевский В.А.* Свойства модифицированного сталефибробетона // Бетон и железобетон. – № 3. – 2002. – С. 3 – 5.
14. *Беркович Я.Б.* Исследование микроструктуры и прочности цементного камня, армированного коротковолокнистым хризотил-асбестом: авто-реф. дис... канд. техн. наук. – М., 1975. – 20 с.
15. *Власов В.К.* Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 9 – 11.
16. *Звездов А.И.* Бетон с компенсированной усадкой для возведения трещиностойких конструкций большой протяженности // Бетон и железобетон. – 2001. – № 4. – С. 17 – 20.
17. *Рабинович Ф.Н.* Применение фиброармированных бетонов в конструкциях промзданий // Фибробетон и его применение в строительстве: Труды НИИЖБ. – М., 1979. – С. 27 – 38.
18. *Рабинович Ф.Н., Черномаз А.П., Курбатов Л.Г.* Монолитные днища резервуаров из сталефибробетона // Бетон и железобетон. – 1981. – № 10. – С. 24 – 25.
19. *Рабинович Ф.Н., Романов В.П.* О пределе трещиностойкости мелкозернистого бетона, армированного стальными фибрами // Механика композитных материалов. – 1985. – № 2. – С. 277– 283.
20. *Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М.* Дисперсно-армований бетон – надійний та ефективний матеріал для транспортного будівництва // Транспортное строительство Украины. – 2006. – № 4. – С. 23 – 25.
21. *Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М.* Дисперсно-армований бетон – надійний та ефективний матеріал для транспортного будівництва (продовження) // Транспортное строительство Украины. – 2007. – № 5. – С. 16 – 20.
22. *Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М.* Цементний бетон, армований сталевую дисперсною арматурою // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Серія «Транспортні системи і технології», 2006. – Випуск 10. – С. 66 – 74.
23. *Берг О.Я.* Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Госстройиздат, 1962. – 96 с.
24. *Волков Ю.С.* Применение сверхпрочных бетонов в строительстве // Бетон и железобетон. – 1994. – № 7. – С. 27 – 31.
25. *Демьянова В.С., Ильина И.Е., Куликов И.М.* Повышение эксплуатационных свойств бетона комплексными добавками / Композиционные строительные материалы. Теория и практика / Международная научно-практическая конференция. – Пенза: ПТУ АС, 2005. – С. 38 – 43.
26. *Соломатов В.И.* Интенсивная технология бетонов / В.И. Соломатов, М.К. Тахиров, Шах Мд. Тахер. – М. Стройиздат, 1989. – 264 с.
27. *Соломатов В., Селяев В.Д., Соколова Ю.А.* Химическое сопротивление материалов. – М.: Изд-во МИИТ, 2001. – 283 с.
28. *Ушеров-Маршак А.В., Бабаевская Т.В.* и др. Методологические аспекты современной технологии бетона // Бетон и железобетон. – 2002. – № 1. – С. 5 – 7.

29. *Конацкий А.В., Курбатов Л.Г., Ефремова В.М.* Структура бетонной составляющей зон сталефибробетона с повышенным содержанием крупных фибр // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов: Межвуз. темат. сб. науч. тр. – Ленинград: ЛИСИ, 1986. – С. 44 – 49.
30. *Курбатов Л.Г., Рабинович Ф.Н.* Об эффективности бетонов, армированных стальными фибрами // Бетон и железобетон. – 1980. – № 3. – С. 6 – 7.
31. *Пащенко А.А., Сербиш В.П.* Армирование цементного камня минеральным волокном. – К: УкрНИИТИ, 1970. – 45 с.
32. *Василик П.Г., Голубев И.В.* Применение волокон в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2002. – № 2. – С. 26 – 27.
33. Фибробетон в Японии. Экспресс-информация. Строительные конструкции. – М.: ВНИИС Госстроя СССР, 1983. – 26 с.
34. ВСН 56-97 «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций». – М., 1997.
35. Сталефибробетон и конструкции из него. Серия «Строительные материалы». – Вып. 7. ВНИИТПИ. – М., 1990.
36. Стеклофибробетон и конструкции из него. Серия «Строительные материалы». – Вып. 5. ВНИИТПИ.
37. *Хун Д.Л.* Свойства бетонов, содержащих микрокремнезём и углеродное волокно, обработанное силанами // Экспресс- информация. – Вып. № 1. – 2001. – С. 33 – 37.
38. *Schmidt M., Fenling E.* Ultrahochfester Beton-und Fertigteiltechnik. – 2003. – Н. 1. – Р. 16–19.
39. *A.Magumdar.* Glass fiber reinforced cement. – London. – 1991.
40. *Сычева Л.И., Воловика А.В.* Материалы, армированные волокном / Перевод изд.: Fibre reinforced materials. – М.: Стройиздат, 1982. – 180 с.
41. *Selvadurai A.P.S.* The opening of an elastically bridges penny shaped flaw in a fibre reinforced composite by concentrated surface loads // Wiss. Z., 1982. – №2. – Р. 187 – 190.
42. *Schmidt M.* 50 Jahre Entwicklung bei Zement, Zusatzmittel und Beton. Schriftenreihe Baustoffe. I M. Schmidt Centrum Baustoffe und Material-prufund. – 2003. – Н.2. – Р. 189 – 198.
43. *B. A. Kyrlov and V. P. Trambovetsky.* Investigation of Fibre- Reinforced Materials in the USSR. II Paper 8.5, RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Cement and Concrete. - London, Ed. A.M. Neville, 1975. – Р. 419 – 424.
44. *Рабинович Ф.Н.* Дисперсно-армированные бетоны / Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
45. Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой РФ, НИИЖБ. – М.: Готика, 2001.
46. *Рабинович Ф.Н.* Некоторые вопросы дисперсного армирования бетонных материалов стекловолокном // Дисперсно-армированные бетоны и конструкции из них: Тезисы докл. Республ. совещан. – Рига, 1975. – С. 68 – 72.
47. *Kordms S.* Selbstverdichtender Beton in Beitrage zum 41./ Forschung-skollogium des DafStb; - 3. Marz. – 2003.
48. *Kleingelhofer P.* Neue Betouverflissiger auf Basis Polycarboxylat. II Proc. 13., Ybasil. Weimar. – 1997. – Bd. 1. – S. 491 – 495.
49. *A.Magumdar.* Glass fiber reinforced cement. – London. – 1991.
50. *J.N. Kar and A.K. Pal.* Proc. ASCE J. Struct. – Div. 98(5), 1053 (1972).