

УДК 691.3

ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХИСНИХ ФІБРОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ

REINFORCEMENT OF DRY FIBERCONCRETE COATINGS

Анопко Д.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-2585-2512, Бондаренко О.П., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-8164-6473 (Київський національний університет будівництва і архітектури)

Анопко D.V., PhD., associate professor, ORCID: 0000-0002-2585-2512, Bondarenko O.P., PhD., associate professor, ORCID: 0000-0002-8164-6473 (Kyiv National University of Construction and Architecture)

В останні два десятиліття розпочато широке застосування сталевібробетону. В даний час цей матеріал використовують разом з традиційним залізобетоном з безперервним армуванням. Головні переваги сталевібробетону полягають у підвищеному опорі розтягуванню та високій в'язкості руйнування, оскільки фібри надають ефективний опір розкриттю тріщин не тільки внаслідок зчеплення (опір в осьовому для фібри напрямку), але і завдяки опорі в поперечному напрямку. Річний економічний ефект від використання труби, футерованої вібробетоном, становить 25458,0 грн/м. При довжині шламопроводу в 1 км, сума буде становити 25458000 грн, що дає значну економію основних фондів підприємства. Ця цифра не враховує втрати від простоїв, що пов'язані з монтажем нової труби і демонтажем старої, а також ремонтами шламопроводу, які займають значну кількість часу в процесі експлуатації труби.

In the last two decades, steelfiber concrete has become widely used. Currently, this material is combined with traditional reinforced concrete with continuous reinforcement. The main points of steelfibreconcrete lie on the displaced support due to tension and high viscosity of the structure, fiber fragments provide effective support for opening cracks not only due to consolidation (based on axial for fiber straight), but also support in the transverse direction. The average economical effect of viscous pipe lined with fiber-reinforced concrete is 25458.0 UAH/m. When adding 1 km to the slurry pipeline, the amount will become 25458000 UAH, which provides significant savings in fixed

assets for the enterprise. This figure does not account for the cost of downtime associated with the installation of a new pipe and the dismantling of the old one, as well as repairs to the slurry pipeline, which take up many hours during the operation of the pipe. The use of wear-resistant lining allows you to significantly increase the service life of the pipeline, especially pipelines operating in difficult conditions at high speeds up to 30 m/s and particle sizes up to 4 mm, abrasive rocks, and elevated temperatures up to 1200 °C. Due to their strength properties, products made using fiberconcrete lining (lined pipes, bends, tees, crosses, gutters) can withstand loads significantly exceeding 5 MPa and therefore can be widely used to protect equipment from abrasive wear, exposure to aggressive environments and high temperatures, which is confirmed by many years of experience in operating such products in various industries, ensuring an increase in the service life of equipment by 2...6 times.

**Ключові слова:** високоміцний; сталевібробетон; покриття; зносостійкість; захист.

high-strength; steelfiber concrete; coating; wear resistance; protection.

**Вступ.** Застосування зносостійкої футеровки дозволяє значно збільшити термін служби трубопроводу, особливо трубопроводів, що працюють у важких умовах при високих швидкостях до 30 м/с і розміру частинок до 4 мм, абразивності гірських порід, підвищених температурах до 1200 °C. Труби та коліна, футеровані дрібнозернистим фібробетоном великого діаметру, широко використовуються в системах золотидалення на вугільних теплових електростанціях, хвостосховищах та шламопроводах. Труби і коліна, футеровані дрібнозернистим бетоном малих діаметрів, використовуються в системах подачі сипких матеріалів, пульпопроводах [1-4].

**Огляд останніх досліджень та публікацій.** В останні два десятиліття розпочато широке застосування сталевібробетону. В даний час цей матеріал використовують спільно з традиційним залізобетоном з безперервним армуванням. Головні переваги сталевібробетону полягають у підвищеному опорі розтягуванню та високій в'язкості руйнування, оскільки фібри надають ефективний опір розкриттю тріщин не тільки внаслідок зчеплення (опір в осьовому для фібри напрямку), але і завдяки опорі в поперечному напрямі [3]. При розкритті тріщин спочатку збільшуються обидва опори, потім зчеплення знижується, а поперечний опір зростає та набуває основного значення. Вдосконалення властивостей сталевібробетону стає можливим в результаті зменшення діаметра фібри, що призводить до зростання обох опорів, збільшення міцності фібри, ефективного при досить хорошому зчепленні, забезпечення корозійної стійкості фібри та підвищення міцності матриці та покращення умов її контакту з фіброю [4-7]. Для тонкошарових покриттів 20...40 мм використано тонкий високоміцний дріт діаметром 0,315 мм, та довжиною 12 мм з антикорозійним покриттям, що має підвищену корозійну

стійкість. Збільшення якісних показників фібробетону в порівнянні зі звичайним бетоном визначається наступними показниками: збільшення міцності на розтяг в 2,5 рази; збільшення ударної стійкості в 10 разів; стійкість до утворення тріщин в 5...6 разів; міцність на розтяг в 10...20 разів; стійкість до стираності в 2 рази.

**Мета і задачі досліджень.** Метою даної роботи було встановити особливості впровадження захисних фібробетонних покриттів при виготовленні труб.

**Матеріали і методи досліджень.** Зовнішній вигляд труб, футерованих дрібнозернистим бетоном, малих діаметрів показаний на рис. 1.

В якості варіантів порівняння приймаються: електрозварювальна сталева труба і футерована сталева труба діаметром 1220 мм. Економічний ефект від використання футерованих труб описаний нижче. Характеристики труби наведені в табл. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд труб і відводів малого діаметру, футерованих дрібнозернистим фібробетоном

Таблиця 1

Характеристики труби

Параметри	Значення
Діаметр металеві частини труби, мм	1220
Внутрішній діаметр футерованої труби, мм	1170
Товщина стінки облицювання труби, мм	25
Вага 1 погонного метра футерованої труби, кг	430

Застосування футерованих труб замість сталевих має дозволити:

- виключити витрати на поточний ремонт шлампроводу;
- скоротити витрати на демонтаж зношених труб і встановлення нових;
- виключити витрати на зміну положення зношеної частини труби.

Основним техніко-економічним параметром є термін служби виробу – 10 років.

Зовнішній вигляд футерованої труби показаний на рис. 2.



Рис. 2. Зовнішній вигляд сірих і коричневих труб великого діаметру, футерованих дрібнозернистим фібробетоном

**Результати досліджень.** Для розрахунку вартості виробів футерованих дрібнозернистим фібробетоном була використана стандартна методика визначення вартості продукції будівельного призначення. Результати розрахунків наведені в табл. 2.

Вартість монтажу нової футерованої труби становить:  $56931,0+4200,0+2100,0=63231,0$  грн/п.м. Вартість монтажу нової сталеві труби становить:  $27231,0+3150,0+1400,0=31781,0$  грн/п.м. Протягом 10 років сталева труба повинна бути замінена 10 разів, тобто терміном на 10 років вартість монтажу нової сталеві труби:  $31781,0 \times 10=317810,0$  грн/п.м. Прямий економічний ефект від використання футерованих труб на весь термін експлуатації становить:  $317810,0-63231,0=254579,0$  грн/п.м. Щорічний економічний ефект від використання футерованих труб становить:  $254579,0/10$  років= $25457,9$  грн/п.м. Додаткові капітальні інвестиції на 1 погонний метр футерованої труби становлять:  $63231,0-31781,0=31450,0$  грн/п.м.

Таблиця 2

Розрахунок економічних показників виготовлення футерованої труби

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Футеровані труби	Сталеві труби
Вартість труби діам. 1220 мм з товщиною стінки 20 мм (стандартне рішення)	грн/пог. м	–	27231,0
Вартість футерованої труби з товщиною стінки 4 мм і футеровкою 25 мм	грн/пог. м	56931,0	5048,0
Вартість фібробетонної футеровки – 82000 грн. – за 1т	грн/пог. м	15320,0	–
Строк експлуатації	рік	10	1
Кошторисна вартість монтажу 1 пог. м	грн	4200,0	3150,0
Кошторисна вартість демонтажу 1 пог. м	грн	2100,0	1400,0

Річний економічний ефект від використання труби, футерованої фібробетоном, становить 25458,0 грн/м. При довжині шламопроводу в 1 км, сума буде становити 25 458 000 грн, що дає значну економію основних фондів підприємства. Ця цифра не враховує втрати від простоїв, що пов'язані з монтажем нової труби і демонтажем старої, а також ремонтами шламопроводу, які займають значну кількість часу в процесі експлуатації труби.

Терміни експлуатації технологічного обладнання з фібробетонною футеровкою наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Терміни експлуатації труб великого діаметру гідравлічного транспорту сировинних матеріалів з фібробетонною футеровкою

Вид виробництва, характеристика породи	Термін експлуатації металевої труби, років	Термін експлуатації труби з фібробетонною футеровкою, років
Високо-абразивна алмазна руда (кімберліт)	0,5...1,0	4...5
Залізна руда та її шлами	1...2,5	9...10
Кварцові піски	1...2	6...7
Мідно-цинкові сполуки	1...2	7...8
Золи ТЕС	1...2	15...20

В енергетиці – газоходи брудного газу, труби Вентурі, покриття підлоги промислових будівель, гідравлічні і пневматичні канали золовидалення, футеровка витоків, димососи помольних вентиляторів, пальники, бункери сирого вугілля, пилепроводи. Терміни експлуатації такого обладнання показані в табл. 4.

Таблиця 4

Терміни експлуатації технологічного енергетичного обладнання з фібробетонною футеровкою

Найменування ремонтного обладнання (об'єкта)	Пальники равлика котла ТПП-210	Бункер сирого вугілля	Коліно пилепроводу на котлі ТПП-312А	Прямоточний равлик	Пилепровід котла ТПП-210
1	2	3	4	5	6
Розташування в технологічному ланцюжку	подача палива	подача палива	подача палива	подача палива	подача палива
Температура робочого середовища, t °С	300...400	не більше 200	До 100	не більше 100	300...400
Розмір абразивних частинок, мм	До 1,0	До 1,0	До 1,0	До 1,0	До 1,0
Швидкість руху абразивних частинок, м/с	до 30	до 5,0	До 40	до 40	10...30
Існуючий захисний шар	Сталь 3, товщ. 12 мм + кам'яне литво – 20 мм	Сталь 3, товщ. 16 мм	Сталь 3, товщ. 8 мм + Наплавка електродом	Сталь 3, товщ. 16 мм	Сталь 20, товщ. 10 мм

1	2	3	4	5	6
Наявність агресивних речовин у робочому середовищі	відсутні	відсутні	відсутні	відсутні	відсутні
Термін експлуатації, годин	8200	6000	5000	3000	3600
Система захисту від зносу	фібробетон	фібробетон	фібробетон	фібробетон	фібробетон
Товщина захисного шару, мм	30	30	30	30	30
Орієнтовний термін експлуатації, годин	14000	24000	18000	14000	18000

В табл. 4 показані терміни експлуатації енергетичного обладнання без додаткового захисту та футерованого високоміцним фібробетоном. Терміни експлуатації футерованого обладнання в 2...4 рази більші.

**Технологія нанесення.** При виготовленні відводів та прямих ділянок труб малих діаметрів використовували вібротильовий метод виготовлення. Метод полягає в тому, що в середину металевої труби встановлювали серцевину з пінополістиролу заданого діаметру, створюючи зазор, в яких заливався фібробетон (рухливість суміші – Р2). Бетон ущільнювався навісним вібратором. Після тверднення, пінополістирол розчинявся розчинником (сольвент, уайспирит) і поверхня бетону оброблялася ґрунтом, для захисту поверхні бетону від пересушування. Спосіб нанесення футеровки в трубах малого діаметру показаний на рис. 3.



Рис. 3. Нанесення фібробетону на внутрішню поверхню труби з застосуванням вібротильового методу

Виготовлення труб великого діаметру, відбувався нанесенням фібробетону методом оштукатурення поверхні ручним та механічним способом. Як було встановлено експериментальним шляхом (методом скидання футерованого фрагменту труби з висоти) найкращий результат показали зразки з армуванням

просічновитяжним листом з кріпленням до поверхні зварюванням електродом через кожні 25...30 см. Це забезпечує необхідну міцність кріплення футеровки до металевої конструкції. Дрібнозернистий фібробетон готували в змішувачі примусової дії у кількості, що буде зручно нанести протягом 2...4 годин.

Запропонований композиційний цемент характеризується розширеними термінами тужавлення, початок тужавлення більше 2-х годин та досить швидкою кінетикою набору міцності: на другу добу тверднення значення міцності при стиску становить величину 47 МПа, а на 28 добу тверднення - 111,25 МПа. Деяко уповільнені терміни початку тужавлення можливо пояснити кольматуючою дією пластифікатора на склад новоутворень, а швидкий набір міцності – за рахунок підвищеної питомої поверхні цементу та повної гідратації клінкерних мінералів  $C_3S$ ,  $C_2F$ ,  $C_4AF$ ,  $C_3A$ ,  $CA$  і  $CA_2$ , а також мікроармування – піску та бокситу (мікронаповнювачів) [6-10].

Підвищення міцності композиційного цементу забезпечується за рахунок синтезу у складі продуктів гідратації низькоосновних гідросилікатів кальцію, гідроалюмінату кальцію та гідрогранатів. Слід зазначити, що підвищений вміст низькоосновних гідросилікатів кальцію у складі продуктів гідратації свідчить про взаємодію тонкомолотих частинок кварцу з високоосновними гідросилікатами кальцію та вапном.

Товщину захисного шару перевіряли за допомогою металевої лінійки, занурюючи її перпендикулярно покриттю до металевої оболонки, товщина шару повинна була коливатися в межах 30 мм плюс, мінус 2 мм. На рис. 4 показані методи нанесення фібробетону на плоскі поверхні.



Рис. 4. Нанесення фібробетону на внутрішню поверхню труби методом оштукатурення

**Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено, що за своїми властивостями міцності вироби, виготовлені з використанням фібробетонної футеровки (футеровані труби, відводи, трійники, хрестовини, жолоби), витримують навантаження, що значно перевищують 5 МПа і тому можуть широко застосовуватися для захисту обладнання від абразивного зносу, впливу агресивних середовищ і високих температур, що підтверджується багаторічною практикою експлуатації таких виробів в різних галузях

промисловості, забезпечуючи збільшення терміну служби обладнання в 2...6 разів.

1. Дворкін Л.Й. Бетони спеціального призначення. Навчальний посібник. – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. 354 с. ISBN 978-617-7582-30-3.

2. Дворкін Л.Й. Гідротехнічні бетони. Навчальний посібник. – Київ: Каравела, 2023. 285 с.

3. Hutchings I.M. Wear-resistant materials: into the next century, *Materials Science and Engineering A*. 1994. Vol. 184. №2. P.185-195. [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(94\)91031-6](https://doi.org/10.1016/0921-5093(94)91031-6).

4. Yoo D.-Y., Bantia N. Mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete: A review. *Cement and Concrete Composites*. 2016. Vol. 73. P. 267-280. DOI:10.1016/j.cemconcomp.2016.08.001.

5. Анопко Д.В., Бондаренко О.П. Захисні покриття на основі високоміцних бетонів. Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2025. Вип. 56 (1). С. 267-274. DOI:10.32347/2707-501x.2025.56(1).

6. Anopko D., Bondarenko O. Composition Cement for Wear-Resistant Lining of Technological Equipment. *IOS Press Conf. Series: Advances in Transdisciplinary Engineering*. Ebook. Vol. 81: Hydraulic and Civil Engineering Technology X., Proceedings of the 10th International Technical Conference (HCET 2025), Xiamen, China, 26-28 September, 2025. P. 523-530. DOI: 10.3233/ATDE251270.

7. ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови. [Чинний від 2022-12-27]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 32 с.

8. ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016 Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 28 с.

9. ДСТУ Б В.2.6-2:2009 Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2010-01-10]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2010. 24 с.

10. ДСТУ Б В.2.7-212:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стиранності. [Чинний від 2010-01-09]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2010. 20 с.

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	06.03.2026	Received	06.03.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	17.03.2026	Received in revised form	17.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

### Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

### **Open access policy**

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

### **Конфлікти інтересів**

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

### **Conflicts of Interest**

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

### **Використання штучного інтелекту**

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

### **Use of Artificial Intelligence**

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.