



KAPITEL 4 / CHAPTER 4⁴

WAYS TO INCREASE THE DURABILITY OF BASALT FIBER REINFORCED CONCRETE

DOI: 10.30890/2709-2313.2025-42-03-031

Вступ.

В останні роки в сучасній будівельній практиці залізобетон замінюють дисперсно-армовані бетони. Це пов'язано з тим, що залізобетонні конструкції мають недостатню міцність при вигині та тріщиностійкість. Крім того, фібробетон дозволяє значно зменшити робочі перерізи конструкцій, що піддаються навантаженню, та зменшити витрати сталевих арматур.

В статті наведені результати досліджень композиційних матеріалів, армованих дискретними волокнами з низьким модулем пружності поліпропіленові та поліамідні ($E_{пр} = 400-1000$ МПа) та з високим модулем пружності базальтові ($E_{пр} = 40000-65000$ МПа). Композиційні матеріали, армовані дискретними сталевими волокнами, були вивчені раніше.

Визначення фізико-механічних характеристик складів: рухомість, міцність при стиску, міцність при згині та інші, виконувались відповідно до ДСТУ БВ.2.7-126:2011 Суміші будівельні сухі модифіковані.

У ТОВ «Укрбазальтізол» в якості сировини для армованих підлогових покриттів використовували наступні матеріали: портландцемент ПЦІ 500 Кам'янець-Подольського цементного заводу, ПЦІ 500 Здолбунівського цементно-шиферного комбінату, пісок річковий (ДСТУ БВ 2.7-32-95) з Мкр - 1-1,5, базальтове волокно відрізками 12-15 мм, волокна поліамідні фірми «RHOXIMRT».

Розроблені оптимальні склади підлогових покриттів і композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих, армованих відрізками волокон органічного та мінерального походження. Ці склади дисперсно-армованих композицій пройшли апробацію Rodia у ТОВ «Укрбазальтізол».

⁴*Authors: Medviediev Taras, Zakharchenko Petro*

Number of characters: 12842

Author's sheets: 0,32



Визначення фізико-механічних характеристик складів: рухомість, міцність при стиску, міцність при згині та інші, виконувались відповідно до ДСТУ БВ.2.7-126:2011 Суміші будівельні сухі модифіковані.

Методика досліджень. Встановлено, що властивості фібробетону визначаються видом волокон, їх об'ємом та адгезією бетонної матриці до їх поверхні. Досить часто в цементних бетонах застосовується сталеві фібри довжиною від 2 до 4 см, діаметром 0,7-1 мм з коефіцієнтом армування 2,5-4% від маси бетону. В той же час така фібра має суттєві недоліки, пов'язані з малими питомою поверхнею та адгезією до неї цементної матриці, що при навантаженні призводить до «просмикування» фібри при руйнуванні бетону.

Ринок пропонує велику кількість видів сталеві фібри різних за формою та геометричними характеристиками. Для збільшення міцності зчеплення фібри з бетонною матрицею пропонується фібра з загнутими кінцями і хвиляста.

В останні роки в країнах Балтії, Польщі та Німеччині з'явилися бетонні вироби армовані поліпропіленовим волокном, що має високу хімічну стійкість до лужного середовища.

Поліпропіленове волокно являє собою мультифіламентне моноволокно, що має в перерізі круглу форму. Волокна також можуть мати в перерізі квадратну або прямокутну форму і бути або прямолінійними або хвилястими для збільшення анкерної здатності.

Поліпропіленові волокна виготовляють неперервним методом з гранул поліпропілена екструзією. Коли волокна досягнуть певної температури на їх поверхню наносять замащувач, що підвищує зчеплення поверхні волокна з бетонною матрицею. Фібра має вигляд тонких білих волокон поліпропілена і є стійкою до дії лугів і інших хімічних сполук.

При застосуванні поліпропіленового волокна покращуються наступні властивості бетонів:

- знижується тріщиноутворення при усадці бетону;
- підвищується зносостійкість поверхні бетону [5];
- значно підвищується водонепроникність бетону (за рахунок зменшення



капіляр і пор);

- збільшується морозостійкість бетону;
- зменшується розшарування бетонної суміші;
- поліпропіленове волокно оптимальної довжини не комкується і швидко розпрямляється в цементних розчинах.

Дослідженнями встановлено, що поліпропіленове волокно при рівній довжині та перерізі має в 4-5 разів меншу міцність та розтяг, ніж сталеве чи базальтове і значно меншу адгезійну міцність.

Україна має великі запаси базальту та потужності по виробництву базальтового волокна. За міцністю базальтове волокно у кілька разів перевищує сталеве і за рахунок малого діаметру 10-15 мкм має значно більшу питому поверхню зчеплення з цементною матрицею.

Перевагами базальтової фібри для дисперсного армування є те, що крім високої міцності вона не розтягується під дією навантажень, має високу хімічну, корозійну та термічну стійкість. Рублені волокна (чопси) оптимальної довжини при перемішуванні рівномірно розподіляються в об'ємі бетону. Бетон має високу міцність на вигин та стиск, підвищується ударна міцність і тріщиностійкість.

В той же час проблемою є зниження міцності базальтового фібробетону з плином часу. Руйнування поверхні базальтової фібри в цементній матриці бетону, пов'язаної з деградацією його решітки, є постійним процесом. Спочатку в результаті дії на базальтове волокно розчинів лугів руйнується замащувач, потім поверхня волокна гідролізується та покривається плівкою гідросилікатів, що виконують роль бар'єра, через який відбувається подальший гідроліз. З підвищенням лужності розчину (перехід у розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з мінералів клінкеру при гідратації цементу) збільшується розчинність плівки гідросиліката і гідроліз базальтового волокна продовжується. На цій стадії швидкість дії лугів на базальтове волокно є лінійною функцією часу.

На думку багатьох дослідників [1, 2, 3, 4] дія лужних розчинів полягає в поступовому розчиненні поверхні базальтових волокон, починаючи з його поверхні. Якщо катіони лужного розчину утворюють з продуктами руйнування



поверхні базальту нерозчинні в лужному середовищі сполуки, то на поверхні волокон з'являються новоутворення, які гальмують його подальше руйнування. За іншою теорією розчини гідроксидів лужних металів, що реагують з кремнеземом, який утворює каркас волокон, розчиняють його повністю.

Корозія поверхні базальтових волокон може бути уповільнена за рахунок створення захисного шару на їх поверхні. Таким чином необхідно створити умови, при яких весь обсяг лугів, які виділяються при гідратації цементного клінкера, буде зв'язаний активним кремнеземом, що вводять заздалегідь при приготуванні розчинової бетонної суміші.

В якості активного кремнеземистого компонента в роботі було використано пил сухих газоочисток виробництва марганцевих сплавів ТУУ 27.1-5-013-2012, де вміст SiO_2 перевищує 90%.

Це дало можливість зберегти позитивну динаміку довготривалого набору міцності цементного бетону, армованого базальтовим волокном. На рисунках 1 та 2 наведені діаграми набору міцності цементним бетоном, армованим базальтовим волокном, та бетоном, армованим базальтовим волокном з добавкою активного кремнезему в об'ємі 2% від маси цементу.

Базальтове волокно в процесі виробництва також покривають змащувачем, який, крім збільшення адгезивної міцності, має захищати поверхню волокон від дії лугів. Але, вже протягом першого року, змащувач під дією лугів цементу руйнується і починається корозія базальтового волокна.

Аналіз діаграм показує, що введення в розчинову суміш 2% активного кремнезему дозволяє нейтралізувати негативний вплив незв'язаного гідроксиду вапна на поверхню базальтових волокон. Фібробетон без добавки активного кремнезему вже у піврічному віці має міцність таку ж, як в контрольних зразках, а у віці 1 рік – на 10-12% нижчу. Протягом наступних років ця тенденція зберігається.

Вивчення структури матеріалу підтверджує отримані результати. На рисунку 3 представлені мікрофотографії структури фібробетону після 180-добового зберігання зразків у воді.

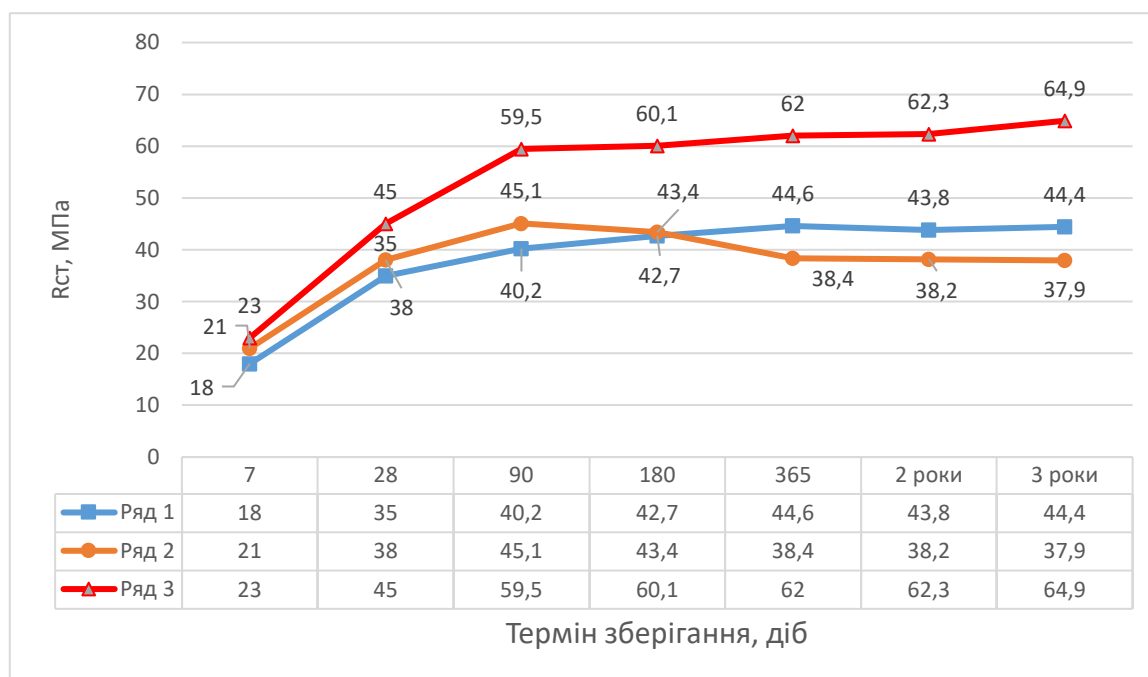


Рис. 1 - Динаміка зростання міцності на стиск, де:

- контрольний зразок,
- зразок, армований базальтовою фіброю довжиною 15 мм,
- зразок, армований базальтовою фіброю довжиною 15 мм з добавкою пилу-виносу феромарганцю (активна кремнеземиста добавка) – 2% від маси цементу

На фотографії 3а видно базальтове волокно, погано зв'язане з цементною матрицею, має частково прокородовану поверхню. На фотографії 3б базальтове волокно щільно укрите шаром новоутворень з вільного гідроксиду вапна, який зв'язав активний кремнезем.

Для вивчення дії лугів на базальтове волокно був проведений експеримент, що мав імітувати кількарічне знаходження волокон в цементній матриці. Волокно поміщали у 1N розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і протягом 4 годин кип'ятили. Потім волокно висувували на фільтрувальному папері і вивчали під мікроскопом. На рисунках 4а та 4б представлені фотографії волокон без добавки активного кремнезему та з добавкою 2% пилу виносу сухих газоочисток виробництва марганцевих сплавів.

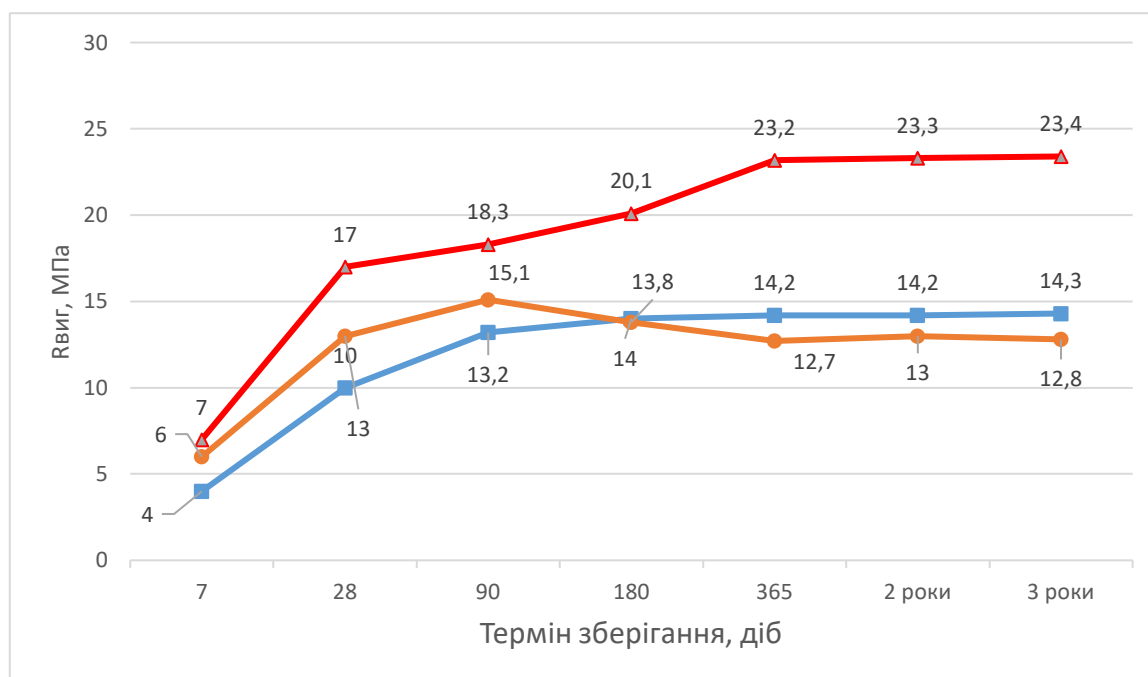
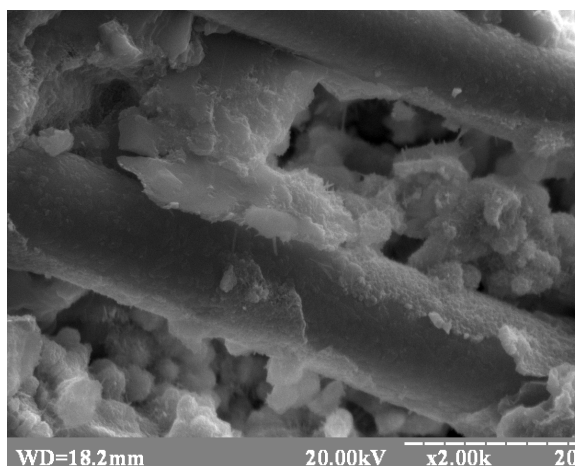


Рис. 2 - Динаміка зростання міцності на вигин, де:

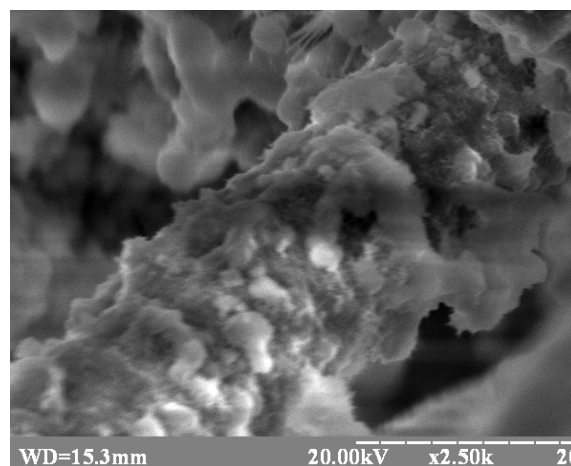
— контрольний зразок,

— зразок, армований базальтовою фіброю довжиною 15 мм,

- зразок, армований базальтовою фіброю довжиною 15 мм з добавкою пилу-виносу феромарганцю (активна кремнеземиста добавка) – 2% від маси цементу.



а



б

Рис. 3 - Мікрофотографії структури фібробетону після 180-добового зберігання у воді.

а – без добавки активного кремнезему;

б – з добавкою 2% пилу виносу сухих газоочисток виробництва марганцевих сплавів.



На рисунку 4а показано, що відбувається з базальтовим волокном при довготривалому зберіганні у лужному середовищі. На рисунку 4б – волокно захищено активним кремнеземом.

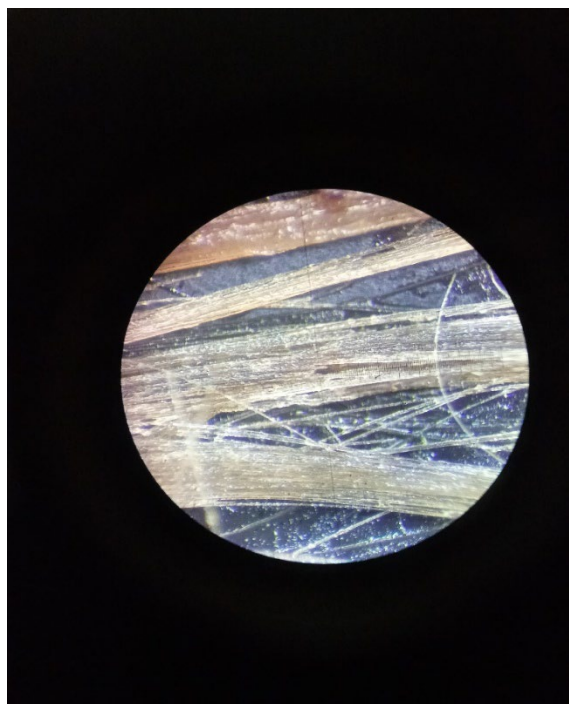
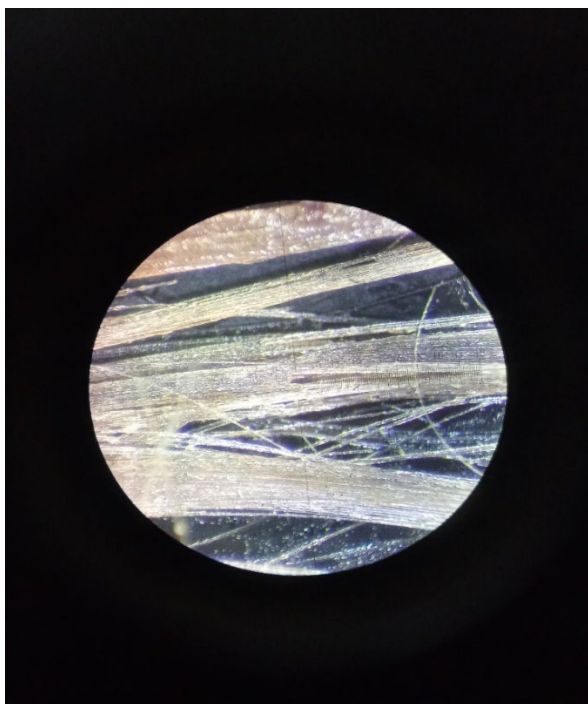


Рис. 4а - Мікрофотографії структури базальтового волокна при кип'ятінні у розчині лугів (імітація довготривалого зберіганні у лужному середовищі).

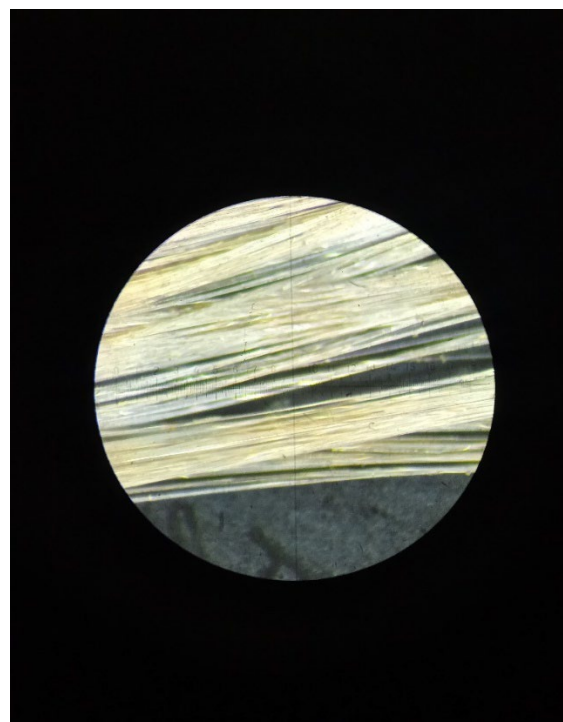
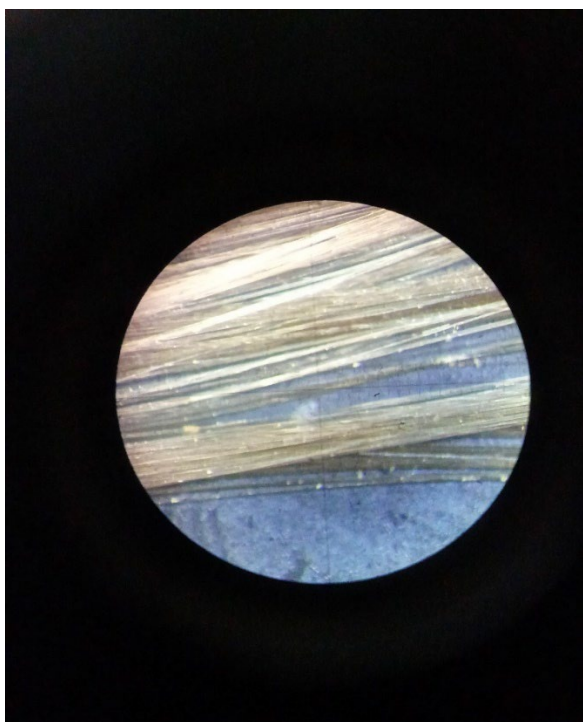
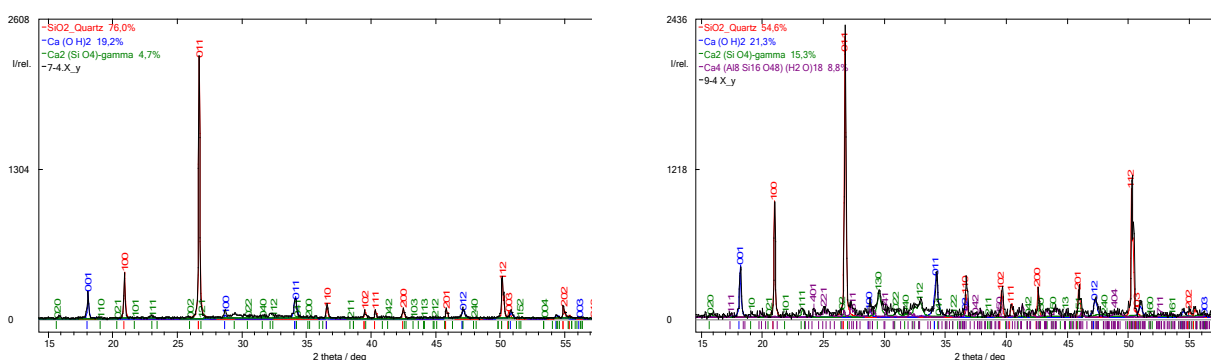


Рис. 4б - Мікрофотографії структури того ж базальтового волокна, поверхня якого захищена активним кремнеземом.



Значна частина даних, що отримані при мікроскопічних дослідженнях, може бути використана для порівняння або характеристики досліджуваних зразків, але вона не характеризує міцнісні характеристики матеріалу. Якщо мікроскопічне дослідження використовується для отримання даних щодо утворення структури, то для такого опису морфології новоутворень необхідно підтверджувати результатами додаткових аналізів, наприклад, рентгеноструктурного.

Проведеними дослідженнями мінералогічного складу армованого базальтовою фіброю цементного бетону, встановлено, що мінералогічні склади зразків, армованих базальтовою фіброю без добавки активного кремнезему та з 2% пилу сухих газоочисток марганцевих феросплавів, кардинально різняться (рисунк 5). В першому зразку виявлені продукти руйнування поверхні волокон і дуже невисокий відсоток гідросилікатів кальцію. У другому – навпаки зменшений вміст кремнезему, але в 5 разів більше гідросилікатів та гідроалюмінатів кальцію.



а

б

Рис. 5 - Дифрактограми армованих базальтовою фіброю зразків з цементного бетону.

а – без добавки активного кремнезему;

б – з добавкою 2% пилу виносу виробництва марганцевих сплавів.

Введення в склад суміші активного кремнезему (пилу сухих газоочисток) дозволяє запобігти руйнуванню поверхні базальтового волокна та забезпечує позитивну динаміку набору міцності армованого базальтовою фіброю бетону.



Економічний ефект досягається за рахунок підвищення фізико-технічних характеристик композиційного матеріалу, що дозволяє підвищити довговічність підлогового покриття (збільшує міцність на стиск, згин, зменшує стиранність) та скорочує і оптимізує технологічні операції.