МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Влаштування двошарової підлоги промислових будівель з підвищеною зносостійкістю

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-мбг
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Міське будівництво та господарство
(назва освітньої програми)
Ковш М.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н, Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент проф., к.арх, Осиченко Г. О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«01» 09 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Ковшу Марку Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Влаштування двошарової підлоги промислових будівель з підвищеною зносостійкістю

керівник роботи проф., д.т.н, Банах В.А.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «19» 09 2025 року № 1303-с.

1 Строк подання студентом роботи 01.12.2025

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об`єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд та аналіз конструктивних рішень підлог промислових будівель. Аналіз ефективності застосування та експлуатаційних характеристик фібробетонних композитів для влаштування промислових підлог. Дослідження фізико-механічних властивостей сталефібробетону в конструкції шару зносу та впливу технологічних параметрів на якість суміші. Експериментальні дослідження технології влаштування покриттів з

підвищеною зносостійкістю та оптимізація складу сталефібробетон
Техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованої технолог
4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язк
креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань науков
напряму досліджень, результатами експериментальних дослідж
результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних мето
досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Банах В.А.		
2	Банах В.А.		
3	Банах В.А.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	15.10	
3	Розділ 2	01.11	
4	Розділ 3	15.11	
5	Розробка графічної частини	20.11	
6	Оформлення роботи	25.11	
7	Попередній захист	01.12	

Студент _____ (підпис) Ковш М.В. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ (підпис) Банах В.А. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) Гребенюк І.В. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ковш Марк Володимирович. Влаштування двошарової підлоги промислових будівель з підвищеною зносостійкістю.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.А. Банах. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2025.

У магістерській роботі досліджено технологію влаштування промислових підлог із підвищеною зносостійкістю шляхом використання сталефібробетону. Встановлено, що звичайні бетонні підлоги мають недоліки (пилоутворення, тріщини, руйнування швів), які можна усунути використанням двошарової конструкції з верхнім шаром зі сталефібробетону.

Визначено, що використання бігункових змішувачів та спеціальних пристроїв для орієнтації волокон підвищує міцність на розтяг при згині на 5–12%.

Доведено, що заміна традиційного армування на сталеву фібру дозволяє заощадити 70% сталі, скоротити трудовитрати на 60% та знизити загальну вартість робіт на 34% порівняно із залізобетонними плитами.

Ключові слова: СТАЛЕФІБРОБЕТОН, ПРОМИСЛОВІ ПІДЛОГИ, ДИСПЕРСНЕ АРМУВАННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ШАР ЗНОСУ, ОРІЄНТАЦІЯ ВОЛОКОН. КВАРЦИТОПІСКОВИК.

ABSTRACT

Kovsh Mark Volodymyrovych. Installation of a Two-Layer Floor for Industrial Buildings with Increased Wear Resistance.

Master’s qualification thesis for obtaining the Master's degree in specialty 192 - Construction and Civil Engineering, scientific supervisor V.A. Banakh.

Yu.M. Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute of ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2025.

The master's thesis investigates the technology of installing industrial floors with increased wear resistance through the use of steel fiber reinforced concrete. It is established that ordinary concrete floors have disadvantages (dust formation, cracking, joint destruction), which can be eliminated by using a two-layer structure with a top layer made of steel fiber reinforced concrete.

It is determined that the use of roller mixers and special devices for fiber orientation increases flexural tensile strength by 5–12%.

It is proven that replacing traditional reinforcement with steel fiber allows saving 70% of steel, reducing labor costs by 60%, and lowering the total cost of works by 34% compared to reinforced concrete slabs.

Keywords: STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE, INDUSTRIAL FLOORS, DISPERSE REINFORCEMENT, WEAR RESISTANCE, WEAR LAYER, FIBER ORIENTATION, QUARTZITE SANDSTONE.

ЗМІСТ

	Вступ	8
Розділ 1	СТАН ПИТАННЯ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВЛАШТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДЛОГ	12
1.1	Конструкції підлог промислових будівель	12
1.2	Аналіз ефективності застосування фібробетонних композитів для влаштування промислових підлог	23
1.3	Технології влаштування підлог промислових будівель з підвищеною зносостійкістю	35
1.4	Висновки до розділу 1	40
Розділ 2	АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ	41
2.1	Конструкційні параметри сталефібробетонних сумішей зі шаром зносу	41
2.2	Дослідження фізико-механічних властивостей сталефібробетону в конструкції шару зносу	42
2.3	Дослідження впливу технологічних параметрів сталефібробетонної суміші на технологію влаштування шару зносу	52
2.4	Висновки до розділу 2	56
Розділ 3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УЛАШТУВАННЯ ШАРУ ЗНОСУ ТА ПЕРЕВІРКА ЙОГО МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	58
3.1	Методика планування, проведення лабораторних експериментів, матеріали та обладнання	58
3.2	Технологія влаштування покриттів з підвищеною зносостійкістю	66

3.3 Техніко-економічна ефективність технології влаштування покриттів з підвищеною зносостійкістю 72
3.4 Висновки до розділу 3 74
Основні висновки 76
Список використаних джерел 78
Додаток А 84

ВСТУП

Актуальність дослідження. У сучасному матеріалознавстві провідні позиції займає фібробетон — композитний матеріал на цементній матриці, дисперсно армований волокнами різного походження. Завдяки своїй структурі він характеризується підвищеними фізико-механічними показниками: тріщиностійкістю, ударною в’язкістю та стійкістю до стирання.

Важливою технологічною перевагою фібробетону є можливість відмови від традиційного стрижневого або каркасного армування. Це дозволяє спростити виробничий цикл та суттєво знизити трудомісткість виготовлення конструкцій.

Проте ефективність матеріалу безпосередньо залежить від якості його структури. Ключовою науково-технічною проблемою залишається забезпечення гомогенності суміші (рівномірного розподілу волокон) та їхньої правильної орієнтації для ефективного сприйняття розтягувальних зусиль. У цій роботі запропоновано вирішення зазначених проблем шляхом використання бігунових змішувачів та спеціальних пристроїв для орієнтованого укладання волокон.

Ключовим викликом у технології фібробетону є забезпечення гомогенності суміші, тобто рівномірного розподілу волокон у всьому об'ємі. Чинні державні стандарти, що стосуються мінеральної фібри, не містять вказівок щодо керованої орієнтації волокон, а розрахункові моделі базуються на зведенні довільно орієнтованих волокон до умовного об'ємно-паралельного розташування.

Незважаючи на широкий спектр доступних армувальних матеріалів, науковий та практичний інтерес зосереджено переважно на сталевій фібрі. Це зумовлено її високим модулем пружності, корозійною стійкістю у лужному середовищі цементної матриці та налагодженою технологією виробництва. Саме тому переважна більшість сучасних нормативних документів регламентує виробництво та застосування саме сталефібробетону.

У провідних країнах світу ЄС, США, Японія проектування, виготовлення та контроль якості фібробетонних конструкцій регламентуються сформованою системою нормативних документів. Натомість в Україні процес створення повноцінної нормативної бази для фібробетонів на основі різних волокон перебуває на етапі становлення.

Імплементація нових стандартів у вітчизняну будівельну галузь ускладнюється необхідністю проведення тривалих досліджень довговічності та фізико-механічних властивостей матеріалів. На сьогодні проектування конструкцій зі сталефібробетону в Україні спирається переважно на низку рекомендаційних документів та відомчих норм.

Існуюча нормативно-технічна документація регламентує повний цикл створення сталефібробетонних конструкцій: від розрахунку за граничними станами (міцність, деформації, розкриття тріщин) до технології виробництва. Керівні матеріали деталізують вимоги до використання фібри різного походження дротяна, різана, фрезерована та обладнання, надаючи перевагу змішувачам примусової дії.

Окрему увагу в рекомендаціях приділено забезпеченню гомогенності суміші. Для цього передбачено використання пластифікаторів, спеціальних диспергаторів та чіткий контроль часу перемішування. Також описано методи введення фібри у суху або готову суміш та специфіку роботи з автобетонозмішувачами.

Ключовим нормативним документом є ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016, дія якого поширюється на проектування та виготовлення широкого спектру несучих та огороджувальних конструкцій як зі сталефібробетону, так і зі склофібробетону.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є дослідити влаштування промислових підлог із підвищеною зносостійкістю.

Завдання дослідження :

- Проаналізувати теоретичні засади влаштування та роботи підлогових покриттів у промислових будівлях.

- Дослідити експлуатаційні та технологічні показники сталефібробетонних сумішей.
- Експериментально визначити фізико-механічні характеристики (міцність, стійкість до стирання) верхнього шару підлоги, виконаного зі сталефібробетону.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є технологія влаштування промислових підлог із підвищеною зносостійкістю.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є технологічні параметри та режими виконання як окремих етапів, так і всього виробничого циклу влаштування промислових підлог із високою стійкістю до стирання.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та комплексні дослідження експлуатаційних властивостей промислових підлог.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна полягає у дослідженні технологічних параметрів влаштування підлоги промислових будівель зі сталефібробетонних сумішей та перевірка їх експлуатаційних характеристик та характеристик міцності.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість роботи полягає в обґрунтуванні можливості застосування високоміцних сталефібробетонних композитів для влаштування зносостійких підлог. Запропоновані рішення є універсальними та можуть бути реалізовані як при новому будівництві промислових об'єктів, так і при реконструкції існуючих споруд.

Особистий вклад дослідника. Систематизовано та проаналізовано сучасний стан нормативної бази та технологічних підходів до виготовлення сталефібробетонних промислових підлог в Україні та за кордоном, виявлено недоліки існуючих методів забезпечення гомогенності суміші.

Апробація результатів роботи. Результати роботи докладалися на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів,

докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025» з доповіддю «Теоретичні аспекти дослідження покриттів підлог промислових будівель»[57].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, основних висновків та списку використаних джерел із 57 найменувань; загальний обсяг становить 84 сторінки, містить 14 рисунків і 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1
СТАН ПИТАННЯ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВЛАШТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДЛОГ

1.1 Конструкції підлог промислових будівель

Принцип дисперсного армування матеріалів відомий людству з давніх часів. Історичним прототипом сучасного фібробетону можна вважати саман — матеріал на основі глинистого ґрунту з додаванням соломи та інших органічних волокон, споруди з якого зберігають свою цілісність протягом століть [4].

У сучасному розумінні фібробетон — це композитний матеріал, що складається з гідравлічного в'яжучого, заповнювачів дрібних, а за потреби й крупних та розподілених у матриці армувальних волокон. Геометрія та матеріал волокон можуть варіюватися. Для досягнення підвищених показників міцності допускається застосування комбінованого армування, що поєднує дисперсну фібру з традиційними арматурними стрижнями.

Згідно з теорією композитних матеріалів, якщо модуль пружності армувальних волокон перевищує модуль пружності цементної матриці, то основні напруження перерозподіляються саме на волокна. При цьому загальна міцність композиту зростає пропорційно до об'ємного вмісту фібри [4].

Історичні витоки цієї технології сягають другої половини XIX ст. Піонерським вважається патент А. Берарда (США, 1874 р.), який запропонував додавати у бетон гранульовані відходи заліза. У подальшому, в період з 1898 по 1933 рр., зусилля винахідників були спрямовані на оптимізацію геометричних параметрів волокон, підбір матеріалів та вдосконалення технології виробництва фібробетону [12].

Процес становлення технології дисперсного армування як альтернативи традиційним каркасним рішенням мав еволюційний характер [13]. Тривалий час широке впровадження фібробетону стримувалося високою собівартістю

виробництва, відсутністю належної теоретичної бази та домінуванням на ринку класичного залізобетону.

Переломним етапом стали дослідження 1950–60-х років під керівництвом Дж. Ромуальді (Romualdi, Batson, Mandel). Опубліковані ними у 1963–1964 рр. праці з механіки тріщиноутворення сталефібробетону заклали наукове підґрунтя для розвитку галузі. Паралельно з цим відбулося розширення номенклатури армувальних елементів за рахунок появи полімерних, мінеральних та вуглецевих волокон.

Сукупність цих факторів призвела до того, що вже у 1970-х роках дисперсне армування стало економічно виправданою та технічно ефективною альтернативою стрижневому [16]. Це, у свою чергу, активізувало науковий пошук у напрямку створення доступних високоміцних композитів та вдосконалення технологій їх виготовлення.

Що стосується конструкції підлоги промислової будівлі, то відносно типу виробництва та виду навантажень, можна виділити такі різновиди:

- влаштування бетонних промислових підлог для приміщень помірного навантаження;
- влаштування бетонних промислових підлог для приміщень високого навантаження;
- влаштування бетонних промислових підлог приміщень надвисокого навантаження [1].

Розглянемо конструкції бетонних підлог для приміщень помірного навантаження при влаштуванні по ґрунту та по панелі перекриття; решта пунктів розглядатиметься тільки по ґрунту.

Як і в інших приміщеннях у виробничих приміщеннях також промислові бетонні підлоги виконуються по ґрунту та по плиті перекриття і так само, влаштування підлог по ґрунту більш трудомістке, ніж по плиті перекриття [2].

Розглянемо, як то кажуть, «що і як» у влаштуванні підлоги по ґрунту (див. рисунок 1.1).

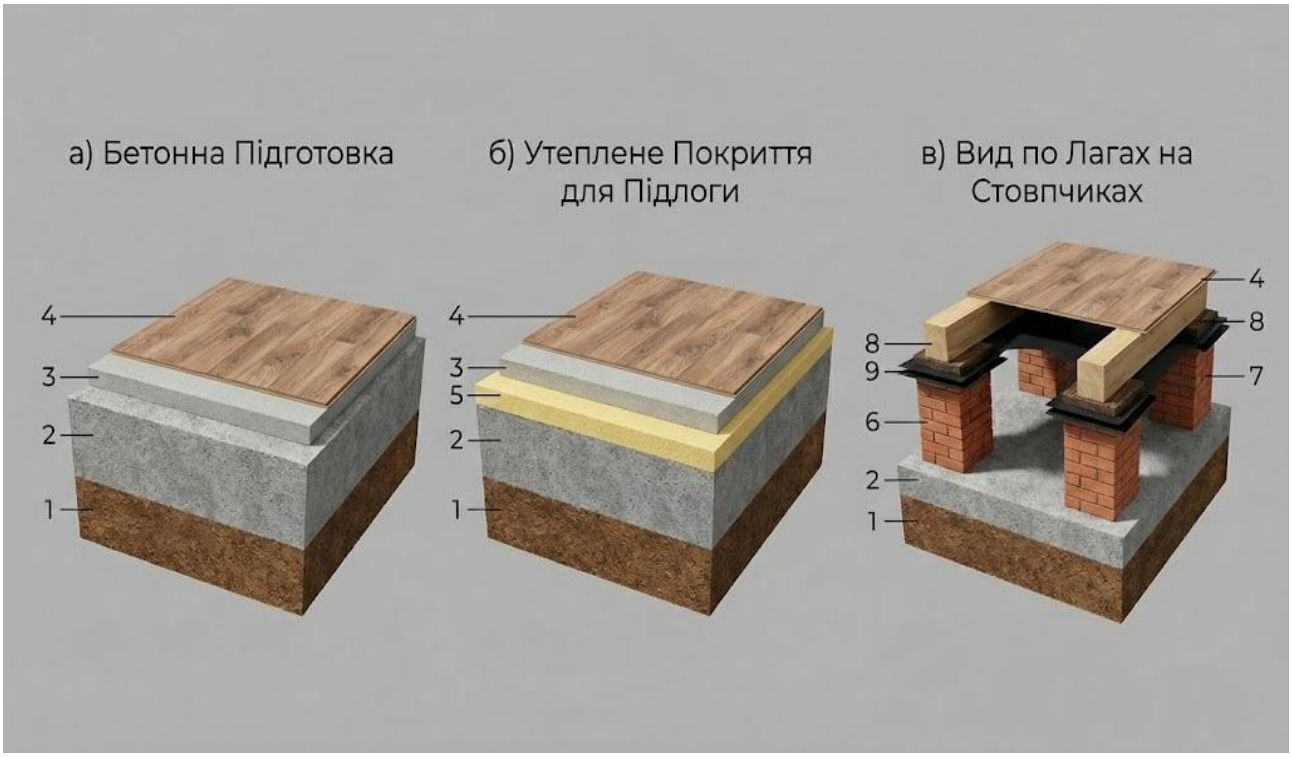


Рисунок 1.1 - Види підлог по ґрунту: 1 - ущільнений ґрунт; 2 - бетонна підготовка; 3 - стяжка; 4 - покриття підлоги; 5- утеплюючий шар; 6 - цегла; 7 - два шари руберойду; 8- лага; 9 - антисептована підкладка

Конструктивна схема підлоги передбачає влаштування гідроізоляційної мембрани, яка виконує подвійну функцію: захист від капілярного підсосу ґрунтових вод та запобігання протіканню технологічних рідин у ґрунт при аварійних ситуаціях.

Наступним елементом є бетонна стяжка, що слугує для вирівнювання основи, розміщення інженерних комунікацій водопостачання, водовідведення та рівномірного перерозподілу експлуатаційних навантажень на нижні шари. Підготовка до нанесення фінішного покриття включає укладання спеціального контактного прошарку. Вибір типу фінішного покриття визначається специфікою технологічного процесу [42].

Для об'єктів автосервісу (СТО, гаражі, автомийки) найбільш раціональним рішенням є класичні бетонні підлоги зі зміцненим верхнім шаром. Такі покриття відзначаються високою міцністю, надійністю та

відсутністю пилоутворення [7].

Наливні промислові підлоги характеризуються високою резистентністю до механічних пошкоджень та хімічно агресивних середовищ. Завдяки кращим естетичним властивостям порівняно з бетонними топінгами, такі покриття широко застосовуються в цивільному будівництві: торгових центрах, адміністративних та офісних будівлях.

Як зазначає Пушкарьова К. К. та Каверин К. О. [15], полімерні підлоги є незамінними на об'єктах із суворими санітарно-гігієнічними нормами (фармацевтична та харчова промисловість). Це зумовлено їхньою інертністю до хімікатів та стійкістю до частого миття. Окремо виділяють магнезіальні покриття, які завдяки своїй безшовності є оптимальним рішенням для складських комплексів та паркінгів. Для приміщень з помірними експлуатаційними навантаженнями такі як офіси, заклади харчування, торгівля використовуються збірні типи покриттів, які, однак, не розраховані на інтенсивний рух важкої техніки.

Ось варіанти перефразування, які надають тексту професійного та технічного звучання:

Влаштування промислових бетонних підлог є високотехнологічним процесом, що вимагає залучення кваліфікованого персоналу. Конструкція може виконуватися як по ґрунтовій основі з обов'язковим попереднім ущільненням, так і по існуючому бетонному покриттю.

Підготовка старої основи є критично важливим етапом, що передбачає санацію поверхні: усунення вибоїн, нівелювання перепадів висот та ін’єктування тріщин спеціальними ремонтними сумішами. У випадках критичного фізичного зносу існуючої основи її відновлення вважається економічно недоцільним, тому рекомендується повний демонтаж.

Для укладання знадобляться такі інструменти та матеріали [18]:

- бетон марки М400 та вище;
- маяки, арматура діаметром 1 см, дріт для зв'язування;
- рулонні гідроізоляційні матеріали, теплоізоляція;

- маяки, матеріали для топінгу чи іншого полімерного настилу;
- глибинний вібратор або віброрейка;
- бетонозагладжувальна машина;
- рівень, шпатель, малярський скотч, правило;
- інші підсобні матеріали.

Це, безумовно, відбивається на конструктивних рішеннях підлоги: використовуються надміцні бетони та спеціальні добавки для їх посилення; обов'язкове армування кожного чорнового шару бетону; велика товщина шару; надміцне покриття для підлоги. Загалом є відмінності від підлог для приміщень з високими навантаженнями.

Відмінною рисою чорнової армованої стяжки є використання бетону підвищеної міцності не менше 40 МПа на стиск та 1,5 МПа на розтяг замість стандартних 35 МПа. Для покращення фізико-механічних властивостей до складу суміші рекомендовано вводити модифікатори міцності та дисперсне армування скляну, целюлозну або сталеву фібру.

Основне функціональне призначення цього шару — стабілізація ґрунтової основи та створення надійної бази для подальшого влаштування гідроізоляції. Проектна товщина шару становить 150 мм. Технологічний процес передбачає обов'язкову фінішну обробку поверхні методом фрезерування.

Постернак О. М. пише, що надійність промислових підлог залежить від якості виконання чорнових робіт. Класичні бетонні підлоги без спеціалізованої обробки не ергономічні, вони є джерелом пилу та бруду. Для більшості підприємств оптимальним рішенням стане укладання наливного або полімерного покриття. Така підлога витримує інтенсивне навантаження, легка у догляді, довговічна [13].

Підлога промислових будівель є безпосереднім технологічним майданчиком виробництва. Вибір конструктивного рішення та матеріалів покриття визначається характером технологічного процесу, інтенсивністю механічних впливів та величиною статичних і динамічних навантажень.

Відповідно до чинних нормативів [21], промислові підлоги повинні задовольняти комплекс вимог:

- Механічні: висока міцність на стиск, розтяг та згин; стійкість до абразивного зносу або стирання та ударних навантажень.
- Експлуатаційні: ремонтопридатність, легкість очищення, стійкість до температурних перепадів та вологості.
- Вимоги безпеки: рівність поверхні у поєднанні з протиковзкими властивостями; забезпечення безпечного руху транспорту; наявність діелектричних властивостей.
- Санітарно-гігієнічні: хімічна інертність, безпильність, відсутність шкідливих випарів та запахів.

Конструктивно підлоги промислових будівель є багатошаровою системою, що базується на ґрунтовій основі. Для рівномірного розподілу навантажень на ґрунт влаштовується підстильний шар з ущільненого піску. Наступним обов'язковим елементом є шар тепло- та звукоізоляції, який мінімізує тепловтрати через ґрунт та запобігає поширенню ударного шуму на суміжні конструкції.

Згідно з В.І. Григор'євим [16], технологічний процес влаштування підлоги включає такі етапи:

- Підготовчі роботи: геодезична розбивка рівня чистої підлоги (нівелювання) та монтаж опалубки в зонах прорізів і технологічних люків.
- Підготовка основи: пошарове укладання та ретельне ущільнення піщаної та щебеневої подушок.
- Ізоляція та чорнова підготовка: настилання гідро- і теплоізоляційних матеріалів з подальшим влаштуванням чорнової стяжки (бетонної підготовки) товщиною 45–50 мм.
- Армування: монтаж арматурної сітки (комірка 200×200 мм), з’єднаної методом в’язання або зварювання. Для забезпечення проектного рівня використовуються маякові напрямні швелери, кутники тощо.
- Бетонування: укладання бетонної суміші посекційно для великих

площ з обов'язковим влаштуванням деформаційних швів уздовж стін за допомогою поліпропіленової стрічки. Це запобігає утворенню тріщин внаслідок нерівномірних деформацій будівлі.

Як зазначають Бліхарський З.Я., Стащук М.Г., Малик О.М. [17], досягнення необхідної щільності бетону та видалення защемленого повітря забезпечується використанням віброрейок або глибинних вібраторів. Нормативним допуском відхилення площини вважається 3 мм, що не впливає на експлуатаційні властивості покриття. Після набору первинної міцності виконується механізоване затирання поверхні.

Для компенсації температурних деформацій та нерівномірного осідання конструкцій виконують нарізку деформаційних швів. Геометрія карт нарізки повинна виключати утворення гострих кутів та Т-подібних перетинів, які є концентраторами напружень. Герметизація швів здійснюється поліуретановими компаундами.

Згідно з [30], для приміщень з інтенсивним навантаженням влаштування класичної бетонної підлоги є недостатнім. У таких випадках застосовується технологія зміцнення верхнього шару сухими сумішами (топінгами), що містять високоміцні наповнювачі. Внесення зміцнювача починається через 6 годин після укладання бетону: 2/3 матеріалу рівномірно розподіляють по поверхні та втирають бетонообробними машинами.

Категорично забороняється зволожувати сухий зміцнювач водою, оскільки це призводить до зниження міцності та погіршення естетичних якостей. Фінішним етапом є нанесення спеціального лаку, який забезпечує режим вологого догляду та надає блиску. Для підтримки зносостійкості процедуру лакування рекомендовано періодично повторювати.

Згідно з твердженнями С.Й. Солодкого, Т.Є. Марківа та О.М. Гуняка [41], для забезпечення високої стійкості підлог до інтенсивних навантажень у виробничих приміщеннях допускається влаштування полімерного покриття поверх шару топінгу, проте початок цих робіт можливий не раніше ніж через місяць після укладання бетонної основи. Критичною умовою технологічного

процесу є низька залишкова вологість поверхні, для контролю якої застосовують метод герметичного накриття ділянки наприклад, скляною ємністю, де утворення конденсату свідчить про неготовність основи до обробки. Нанесення полімерної композиції виконується у три шари з дотриманням шестигодинного інтервалу сушіння між ними, при цьому роботи повинні проводитися за стабільних параметрів мікроклімату: відносної вологості повітря не вище 70% та температури середовища в діапазоні від +10 до +30 °С.

Влаштування наливного промислового покриття виконується на попередньо підготовленій бетонній основі, де допускаються лише незначні нерівності. Технологічний процес розпочинається з нанесення ґрунтовки глибокого проникнення, час висихання якої становить 24 години. Критичним параметром є вологість основи, яка перед нанесенням полімеру не повинна перевищувати 5%. Приготування робочої суміші здійснюється відповідно до інструкцій виробника, а укладання проводиться захватками з контролем товщини шару. Для видалення защемленого повітря та вирівнювання суміші свіжоукладене покриття обробляють аераційним голчастим валиком.

Згідно з рекомендаціями М.А. Саницького [21], для запобігання дефектам (здуття, відшарування) необхідно забезпечити оптимальний режим твердіння: відносна вологість повітря не вище 60%, температура середовища в межах +5...+25 °С без різких перепадів. Пішохідне навантаження дозволяється через добу, монтаж обладнання — через 14 діб, а повна полімеризація та набір експлуатаційних характеристик завершуються протягом місяця. У цей період покриття слід берегти від механічних пошкоджень та хімічного впливу.

Згідно з А. М. Бамбурою, О. Б. Гурківським та Ю. Г. Амето [22], полімерні підлоги характеризуються високою хімічною стійкістю, механічною міцністю, а також здатністю витримувати температурні перепади та значні ударні навантаження. Вибір конкретного типу покриття ґрунтується на аналізі експлуатаційних вимог та специфіки технологічних процесів

підприємства. Зокрема, у харчовій промисловості широкого застосування набули епоксидні системи. Автори визначають їх як економічно вигідний варіант полімерного покриття, зазначаючи при цьому їх меншу еластичність порівняно з іншими аналогами.

Поліуретанові покриття рекомендовані для промислових об'єктів, де висуваються підвищені вимоги до резистентності щодо механічних пошкоджень та впливу агресивних хімічних середовищ. Завдяки своїм властивостям вони є оптимальним рішенням для підприємств хімічної галузі.

Метилметакрилатні підлоги вирізняються серед аналогів унікальними експлуатаційними характеристиками, насамперед швидкістю полімеризації: пішохідне навантаження допускається вже через 2 години після укладання. Крім того, ці системи характеризуються високою термостійкістю, витримуючи значні температурні перепади, що дозволяє їх застосування у низькотемпературних камерах морозильниках.

На основі аналізу фахової літератури та наукових праць, бетонні підлоги можна класифікувати наступним чином:

1. Топінгові підлоги. Технологічна схема влаштування таких підлог наведена на рисунку 1.2.

Основні переваги бетонних підлог із топінгом включають:

- Підвищена ударостійкість: значно перевищує показники звичайних бетонних основ.
- Зносостійкість: високий опір абразивному зносу є ключовою перевагою, що суттєво подовжує термін експлуатації покриття.
- Естетичність: покриття має привабливий зовнішній вигляд, що відповідає вимогам сучасного промислового дизайну.
- Хімічна пасивність: поверхня не є абсолютно хімічно стійкою, проте характеризується низькою реакційною здатністю при контакті з активними речовинами. Хоча тривалий вплив агресивних рідин є небажаним.
- Гігієнічність та безпильність: завдяки високій щільності структури верхнього шару виключається пилоутворення.

- Експлуатаційна зручність: легкість у прибиранні та догляді.

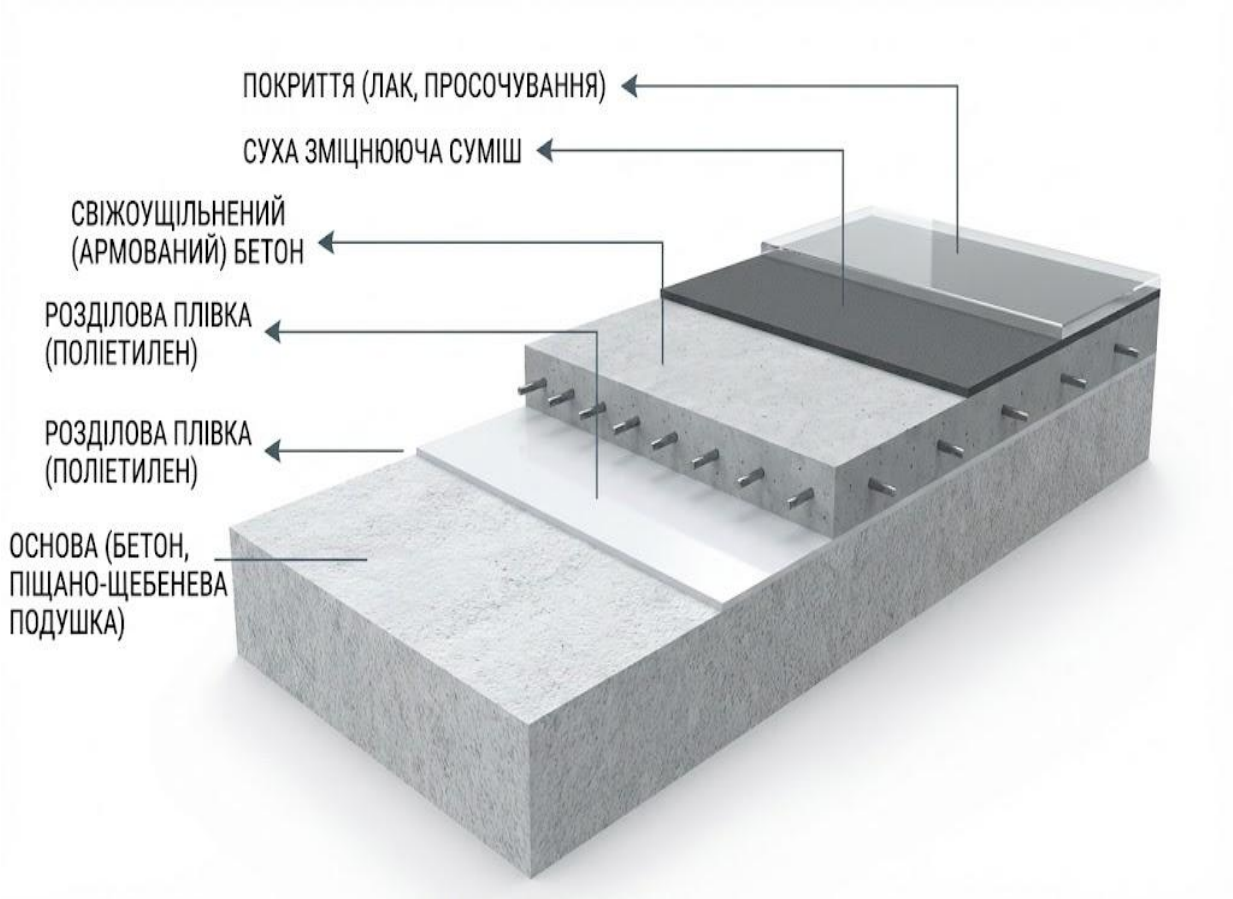


Рисунок 1.2 - Пошаровий склад промислової підлоги з топінгом

2. Полімерні підлоги - це високоміцне покриття, нанесене на бетонну основу. На рисунку 1.3 показано технологію влаштування полімерних наливних підлог. Такі підлоги мають низку переваг:

- міцні та довговічні;
- стійкі до хімічних речовин;
- герметичні;
- повністю безпилові;
- гігієнічні та прості у догляді;
- гладкі, рівні та не ковзають.

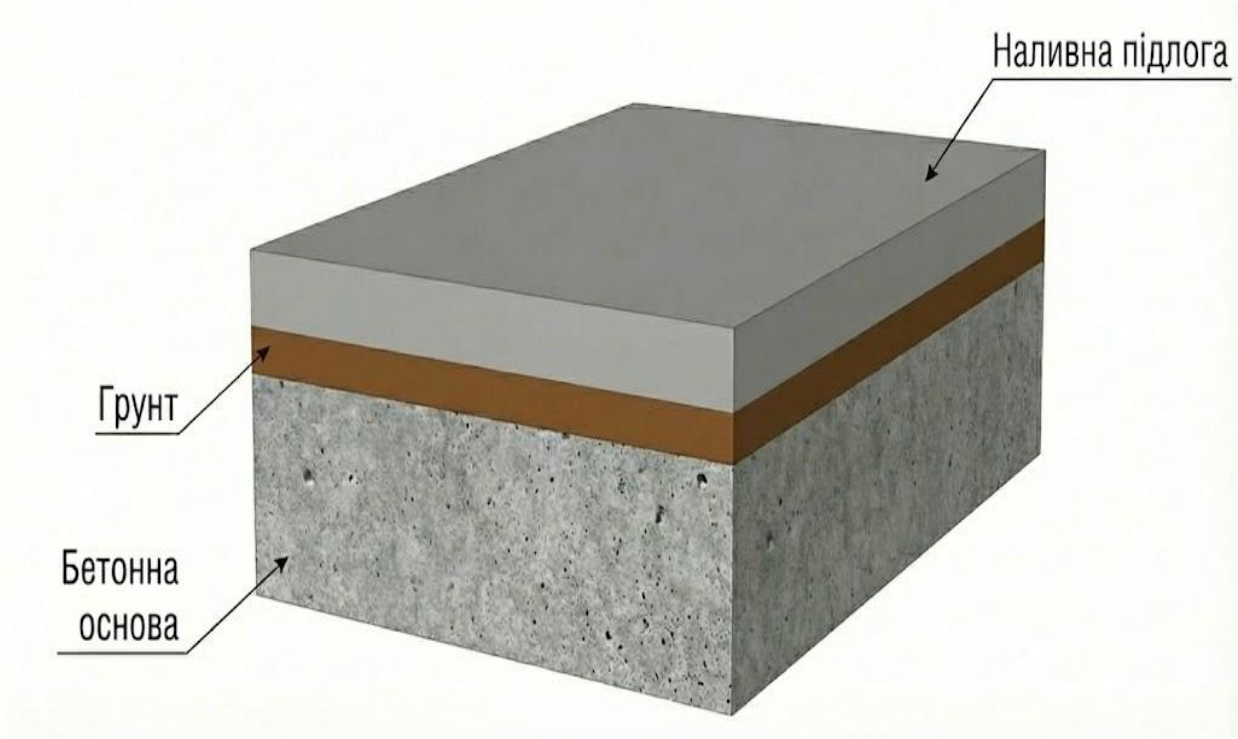


Рисунок 1.3 - Шари полімерних наливних підлог

Класифікація полімерних наливних підлог здійснюється за типом основного в'яжучого компонента. Відповідно до цього критерію розрізняють два основні різновиди систем:

- поліуретанові;
- епоксидні.

Поліуретанові наливні підлоги відрізняються високою еластичністю, міцністю на стиск та розтяг, удароміцністю. Крім того, відмінно протистоять вібрації, хімічним впливам та перепадам температур, тому такі покриття широко застосовуються в неопалюваних приміщеннях з різного роду обладнанням. Ці покриття підходять для виробничих цехів, приміщень із великою прохідністю людей. Це найеластичніші та удароміцніші покриття, які легко миються як ручним, так і автоматичним способом.

Епоксидні наливні підлоги мають високу міцність і вологостійкість, відмінно протистоять хімічним речовинам і механічним впливам. Ці покриття найбільш актуальні в закритих 23 приміщеннях з підвищеною вологістю, де використовуються різноманітні хімікати: кислоти, луги, розчинники та інші.

Ці покриття піддаються прибиранню водою, у тому числі і гарячою, та миючими складами. Мити такі покриття можна вручну або автоматичним способом.

Поєднання високих експлуатаційних показників таких як міцність, зносостійкість та відсутності пилоутворення визначає широку сферу застосування даних покриттів. Згідно з [6], їх влаштування є найбільш доцільним на об'єктах промислового та цивільного призначення, таких як: виробничі цехи, складські та логістичні комплекси, паркінги та гаражі. Крім того, завдяки естетичним та гігієнічним властивостям, такі підлоги рекомендовані для закладів торгівлі, холодильних камер та технічних приміщень.

1.2 Аналіз ефективності застосування фібробетонних композитів для влаштування промислових підлог

Відповідно до положень ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016, сталефібробетон класифікується як різновид дисперсно-армованого бетону. Основу матеріалу становить матриця з важкого або дрібнозернистого бетону, насичена сталевою фіброю, що рівномірно розподілена в об'ємі.

Ефективність спільної роботи компонентів досягається завдяки адгезії та механічному анкеруванню фібри в матриці. Останнє забезпечується геометричними особливостями волокон: періодичним профілем, поздовжньою або поперечною кривизною, а також наявністю спеціальних анкерів на кінцях [45]. Приклади конструктивних рішень промислових підлог по ґрунтовій основі із застосуванням цього матеріалу наведено на рис. 1.4.

За типом армування сталефібробетонні конструкції поділяють на дві категорії:

1. Власне фібробетонні**:** розрахункове армування виконується виключно дисперсними волокнами.
2. Комбіновано армовані: поєднують дисперсне армування фіброю та

традиційне армування сталевими стрижнями (каркасами/сітками).

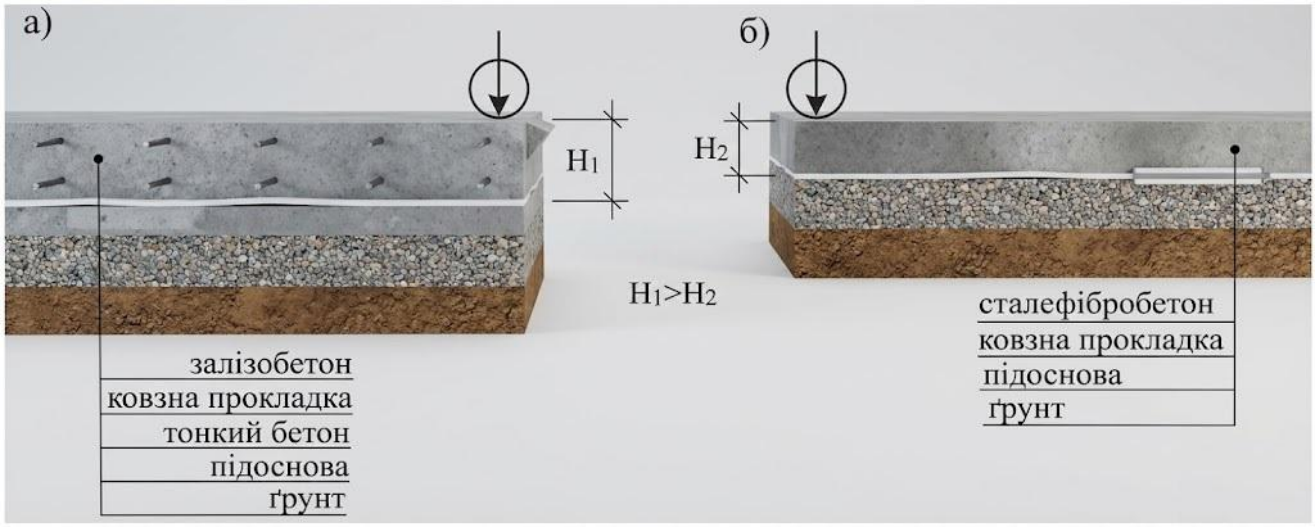


Рисунок 1.4 – Варіанти конструктивного виконання промислових підлог на ґрунтовій основі: а) класична залізобетонна плита; б) покриття зі сталефібробетону.

Доцільність використання сталефібробетону визначається можливістю реалізації його ключових переваг над звичайним бетоном та залізобетоном. Зокрема, цей матеріал рекомендовано застосовувати для конструкцій, що потребують:

- Покращених фізико-механічних характеристик: високої тріщиностійкості, ударної міцності, в’язкості руйнування, а також стійкості до зносу, морозів та кавітації.
- Мінімізації явищ усадки та повзучості бетону.
- Можливості створення тонкостінних елементів та відмови від традиційного стрижневого армування.
- Зменшення трудомісткості виконання арматурних робіт.
- Підвищення рівня автоматизації при виготовленні збірних елементів та влаштуванні монолітних конструкцій промислових підлог, дорожніх покриттів, ємностей.
- Застосування методів торкретування, роликового пресування або формування виробів складної конфігурації [33].

Фіброве армування є універсальним рішенням, ефективним як для важких, так і для легких бетонів. Відповідно, матрицею для композиту можуть слугувати різноманітні в’яжучі системи: цементний або гіпсовий камінь, дрібнозернисті суміші, а також ніздрюваті бетони, зокрема пінобетон [45].

Характер розподілу арматури в об'ємі залежить від типу волокон. Спрямована орієнтація зазвичай властива безперервним волокнам, проте за певних технологічних умов може бути досягнута і при використанні короткої фібри. Для коротких волокон найбільш типовою є довільна орієнтація. Згідно з [7], на практиці класифікують такі види розподілу фібри: площинно-довільна (хаотична в одній площині), об'ємно-довільна (хаотична у всьому масиві), просторово-паралельна (впорядкований паралельний розподіл) та стиснено-довільна (виникає при обмеженні вільного руху волокон).

Технологія виробництва сталефібробетонних виробів безпосередньо залежить від типу в'яжучого, а також матеріалу та геометричних параметрів фібри. Зокрема, такі характеристики волокна, як жорсткість і довжина, визначають оптимальний спосіб його введення в бетонну суміш.

При проектуванні конструкцій необхідно комплексно враховувати умови їх виготовлення, транспортування, монтажу та подальшої експлуатації. Форма та розміри перерізів елементів повинні обиратися так, щоб максимально ефективно реалізувати фізико-механічні властивості сталефібробетону та забезпечити високий рівень механізації виробничих процесів.

Згідно з [39], виготовлення конструкцій може здійснюватися широким спектром методів: від приготування суміші в заводських умовах чи безпосередньо на об'єкті до специфічних способів ущільнення та формування (вібрування, вакуумування, роликове пресування, торкретування, центрифугування).

Порівняльна характеристика звичайного бетону та сталефібробетону наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Характерні особливості сталефібробетону та традиційного бетону [27]

Характеристики	Звичайний бетон	Сталефібро-бетон
Напруження, що викликає тріщиноутворення на вигині, МПа	2,0-5,4	3,4-15,4
Міцність на розтяг при вигині, МПа	2,0-5,4	5,4-26,0
Міцність при стисненні, МПа	21,5-35,5	35,5-120,5
Міцність при зсуві, МПа х 10 "5	2,0-3,4	2,4-5,4
Коефіцієнт теплового розширення	9,8-10,7	10,5-11,2
Міцність на удар, кг/см^2	4,7	13,7
Показник опору стиранню	1	2
Межа обмеженої витривалості (граничні значення)	0,4-0,54	0,79-0,94
Показник опору тріщиноутворенню (при тестуванні на теплостійкість)	1	7

Технологія дисперсного армування, як і традиційні методи посилення конструкцій, бере свій початок у другій половині XIX століття. Першим офіційним документом у цій галузі вважається патент А. Берарда (США, 1874 р.), який запропонував додавати до бетонної суміші гранульовані відходи заліза. У період 1898–1933 рр. активізувалися дослідження, спрямовані на оптимізацію форми волокон, підбір компонентів в’яжучого та вдосконалення технології виробництва, що підтверджено низкою міжнародних патентів [15].

Фундаментальні дослідження механіки руйнування та тріщиностійкості сталефібробетону були проведені у 1950–60-х роках групою вчених під керівництвом Ромуальді (Romualdi, Batson, Mandel). Паралельно з цим

розширилася номенклатура матеріалів для фібри: полімери, вуглець, мінеральні волокна. У результаті, починаючи з 1970-х років, сталефібробетон почав розглядатися як повноцінна та ефективна альтернатива класичному стрижневому армуванню [16].

Зростаючий інтерес вчених до галузі будівництва стимулює розробку міцних та економічно ефективних композиційних матеріалів, зокрема фібробетонів. Розміщення армуючих волокон може бути як спрямованим що є типовим для безперервної фібри, але досягається і для коротких волокон за спеціальних умов, так і довільним. На практиці довільна орієнтація класифікується на площинно-довільну, об'ємно-довільну та стиснено-довільну, а також виділяють просторово-паралельну орієнтацію, при якій волокна розташовані впорядковано [7]. Що стосується сировини, то сталеву фібру виробляють із трьох основних матеріалів: низьковуглецевого сталевого дроту [40], холоднокатаного листа або сталевих слябів. Залежно від вихідного матеріалу та технології, металева фібра має різні форми. Основні види фібри — хвильова, анкерна та пряма — детально представлені на рисунку 1.5.

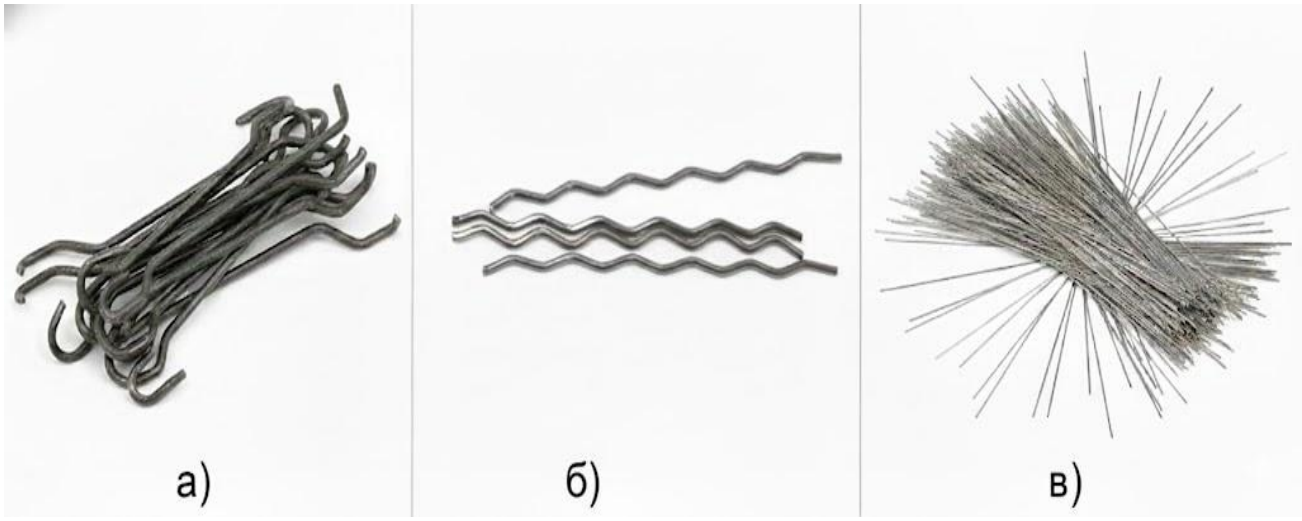


Рисунок 1.5 - Сталева фібра та її види

а) анкерна; б) хвильова; в) у вигляді прямих відрізків [26]

Використання сталевої фібри має значні переваги над застосуванням класичного армованого бетону. Зокрема, рівномірне додавання 25–50 кг/м³ сталевої фібри до бетонної суміші створює міцну тривимірну структуру, яка забезпечує підвищену якість та надійність будівельних робіт. Ця тривимірна структура ефективно витримує розтягувальні напруження і попереджає розвиток мікротріщин, які часто виникають внаслідок згубного впливу вологого середовища або інтенсивних навантажень. Таблиця 1.2 містить базові нормативні дані для сталевої різаної фібри, виробленої з холоднокатаного листа, включаючи характеристики опору розтягуванню, коефіцієнт надійності та розрахункові опори розтягуванню для третього виду сталевої фіброві арматури.

Таблиця 1.2 - Нормативні показники міцності та надійності сталевої фіброві арматури

Вид фіброві арматури	Нормативні опори розтягуванню R_{fn} та розрахункові опори розтягуванню для граничних станів другої групи $R_{f,ser}$, МПа (кгс/см^2)	Коефіцієнт надійності по фіброві арматурі y_f при розрахунку конструкцій за граничними станами		Розрахункові опори розтягуванню фіброві арматури для граничних станів першої групи R_f, МПа (кгс/см^2)
		Першої групи	Другої групи	
1	2	3	4	5
Сталева різана фібра зі сталевого холоднокатаного листа, виготовлена відповідно до ДСТУ EN 14889-1:2022 зі сталі наступних марок				
Ст. 08 кп	460	1,05	1,0	440
Ст. 20	640	1,10	1,0	580

Застосування фібри як армуючого компонента є виправданим для армування як важких, так і легких бетонів. Отже, матрицею для такого композиту можуть слугувати різноманітні матеріали, включаючи дрібнозернистий бетон, цементний та гіпсовий камінь, а також різні види ніздрюватих бетонів, зокрема пінобетон [1]. Методи дисперсного армування дозволяють отримати у тілі бетону як спрямовану, так і довільну орієнтацію волокон.

Спрямоване розміщення типове для безперервної фібри, проте його можна досягти і для коротких волокон за дотримання певних технологічних умов. Влаштування бетонних підлог для промислових об'єктів є складним технологічним процесом, який має виконуватися виключно професіоналами. Підлоги можуть заливатися або на підготовлену існуючу основу, або безпосередньо на ґрунт після його ретельного трамбування по всій площі.

При підготовці старої основи необхідно ліквідувати всі значні дефекти за допомогою ремонтного розчину. Сильно зруйновані основи, відновлення яких нерентабельне, рекомендується повністю демонтувати.

Довільна орієнтація волокон, що зазвичай досягається при використанні короткої фібри, на практиці класифікується на кілька видів:

- Площинно-довільна. Волокна розподілені хаотично, але лише у двох вимірах (в межах площини).
- Об'ємно-довільна. Волокна розташовані хаотично у всьому тривимірному об'ємі бетонної суміші.
- Просторово-паралельна. Волокна розташовані паралельно одне відносно одного по всьому об'єму бетону.
- Стиснено-довільна. Орієнтація, при якій вільний рух волокон обмежений зовнішніми умовами або конструктивними елементами [7].

Окрім того, на рисунку 1.6 представлено зовнішній вигляд фібри, виготовленої з поліпропілену.



Рисунок 1.6 - Форма та текстура фібри, виготовленої з поліпропілену[49]

Застосування фібри, виготовленої з поліпропілену, надає бетону та розчину такі ключові переваги:

1. Підвищення Міцності та Стійкості:
   - Поліпшується опір матеріалу ударам та впливу важких предметів.
   - Підсилюється міцність бетону при розтягуванні на вигині.
   - Значно підвищується морозостійкість.
   - Фібра робить матеріал більш стійким до зносу.
2. Якісне Армування та Структура:
   - Забезпечує більш ретельне армування розчину в порівнянні з

традиційною металевою сіткою.

- Сприяє утворенню однорідної, єдиної маси в структурі матеріалу.

3. Адгезія та Водонепроникність:

- Характеризується вищим зчепленням із розчином.
- Поліпропілен блокує мікрокапіляри в бетоні, що робить його менш водопроникним [43].

Гідроізоляційна мембрана укладається поверх основи, щоб захистити підлогу від впливу ґрунтових вод і можливих протікань рідин через основу при аваріях. Наступним шаром є бетонна стяжка, яка необхідна для вирівнювання поверхні, приховування систем каналізації та водопроводу, а також для підготовки основи до укладання фінішного покриття.

Крім того, стяжка ефективно розподіляє навантаження на нижчі шари конструкції. Поверх стяжки розміщують спеціальну підкладку, яка слугує для забезпечення надійного зв'язку між стяжкою та фінішним настилом. Нарешті, вид фінішного покриття обирається відповідно до технологічних вимог конкретного виробництва [45].

Укладання бетонних підлог на промислових об'єктах є складним технологічним процесом, який вимагає виконання виключно професіоналами. Такі підлоги можуть заливатися або поверх вже існуючої основи, або безпосередньо на ґрунт, але лише після його ретельного трамбування по всій площі. При використанні старої основи необхідна її ретельна підготовка: усунення вибоїн, висотних перепадів, тріщин та інших значних дефектів за допомогою ремонтного розчину. Якщо ж основа має значні руйнування, її відновлення вважається нерентабельним, і рекомендується повний демонтаж.

Для укладання знадобляться такі інструменти та матеріали [21]:

- бетон марки М400 і вище;
- маяки, арматура діаметром 1 см, дріт для зв'язування;
- рулонні гідроізоляційні матеріали, теплоізоляція;
- маяки, матеріали для топінгу або іншого полімерного настилу;
- глибинний вібратор або віброрейка;

- бетонозагладжувальна машина;
- рівень, шпатель, малярний скотч, правило;
- інші підсобні матеріали.

На рисунку 1.7 зображена фібра, виготовлена з полімерних волокон. Виготовлену з полімерних волокон фібру використовують для того, щоб посилити міцнісні властивості стяжок, а також для підвищення міцності конструкцій фундаментів різних будівель, перекриттів для мостів і т.д.

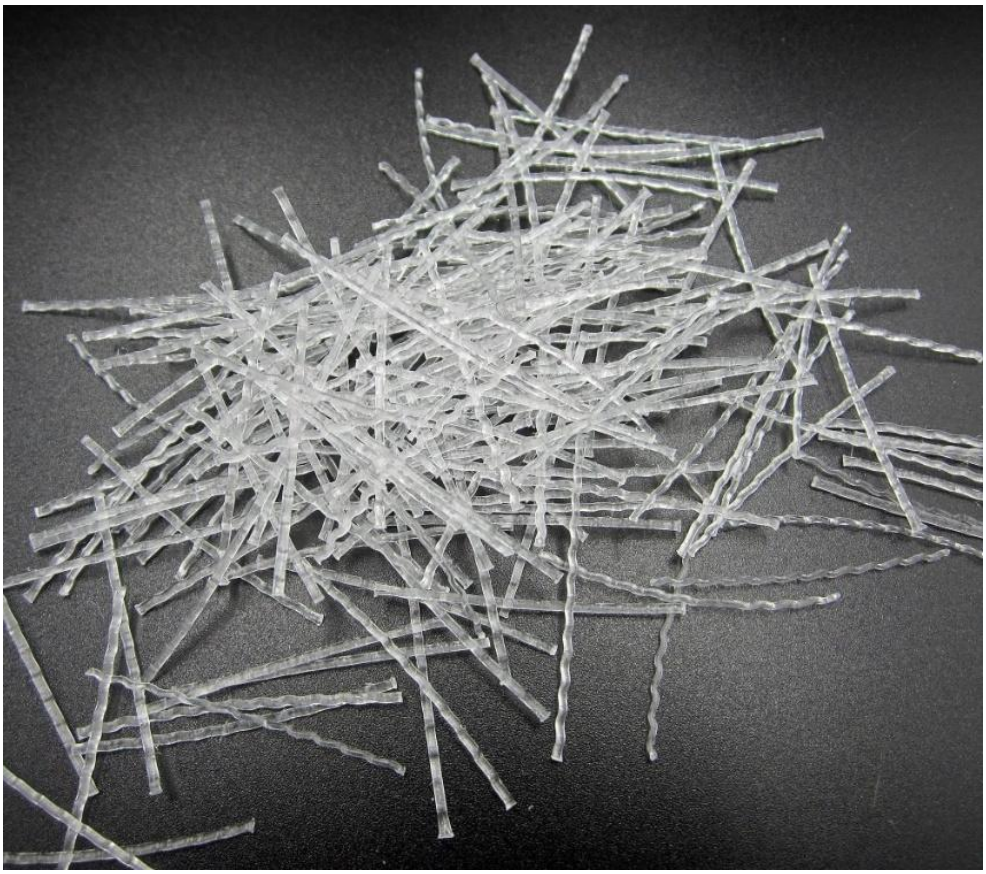


Рисунок 1.7 - Зовнішній вигляд фібри з полімерних волокон [49]

Фібра як армуючий компонент доцільна для зміцнення як важких, так і легких бетонів. Це означає, що як бетонна матриця можуть використовуватися різноманітні матеріали, зокрема: дрібнозернистий бетон, цементний камінь, гіпсовий камінь, пінобетон та інші різновиди ніздрюватих бетонів [47].

Що стосується орієнтації волокна, спрямована орієнтація зазвичай характерна для безперервного армуючого волокна. Проте, така орієнтація також можлива і при армуванні короткими волокнами, якщо дотримані певні технологічні умови в процесі змішування та укладання.

Використання саме вуглецевої фібри як армуючого компонента має такі основні переваги, зумовлені її унікальними характеристиками:

- Вуглецева фібра демонструє підвищений ступінь зчеплення з цементною матрицею.
- Волокна є стійкими до руйнування після взаємодії з різними чинниками навколишнього середовища.
- Фібра стійка до дії солей, лужних розчинів і кислот.
- Застосування вуглецевої фібри робить бетон дуже міцним і довговічним.
- Вона добре протистоїть пошкодженням, спричиненим значними змінами температур.
- Їй притаманні високі теплоізоляційні властивості
- Вуглецева фібра є негорючою



Рисунок 1.8 - Фібра з вуглецю

Головним недоліком використання вуглецевого волокна як фібри є його висока ціна.

Базальтова фібра — це фрагменти волокна, які виготовляються з природної сировини, а саме базальту. Цей вид фібри широко застосовується у будівництві для дисперсного армування бетонних та інших сумішей. Волокна

базальтової фібри мають довжину від 1 мм до 150 мм і діаметр від 20 мкм до 500 мкм. Базальтова фібра виробляється шляхом розплавлення магматичної вулканічної породи при екстремально високому температурному режимі, що перевищує 1400°C [50].

Зовнішній вигляд традиційної базальтової фібри можна побачити на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 - Фібра базальтова 12 мм

Спрямована орієнтація типова переважно для безперервного армуючого волокна, хоча за певних технологічних умов її можна досягти і при армуванні короткими волокнами.

Довільна орієнтація частіше реалізується при використанні коротких волокон.

На практиці виділяють такі основні види орієнтації:

- Волокна хаотично розподілені лише в одній площині матеріалу.
- Волокна хаотично розподілені по всьому об'єму бетону чи іншого матеріалу.
- Волокна розташовуються паралельно одне одному по всьому

об'єму матеріалу.

- Це довільна орієнтація, але з обмеженням можливості вільного розміщення волокон через технологічні або інші умови.

1.3 Технології влаштування підлог промислових будівель з підвищеною зносостійкістю

Армовані бетонні підлоги є найбільш поширеним рішенням як при зведенні нових будівель і споруд, так і при їх реконструкції. Вони розроблені для сприйняття значних силових навантажень від обладнання та підлогового транспорту і широко застосовуються у промислових цехах, на складах, у цивільних будівлях, паркінгах тощо. Завдяки чудовим механічним характеристикам армованого бетону, такі підлоги здатні забезпечити необхідну опірність цим навантаженням протягом тривалого часу [42].

Незважаючи на переваги, бетонні армовані підлоги мають суттєві недоліки, які обмежують їх використання без захисних покриттів. Під час традиційного укладання за допомогою бетононасосів зазвичай застосовують рухливі бетонні суміші та вібраційне ущільнення глибинними або поверхневими вібраторами. Через це вода та дрібні фракції значною мірою підіймаються у верхній шар бетонної плити. Випаровування надлишку води призводить до утворення додаткових пор, капілярів та мікротріщин у поверхневій зоні. Це, у свою чергу, знижує міцність бетону на стиск і розтяг та спричиняє підвищене пилоутворення. Зростання пористості та концентрація дрібних фракцій у верхньому шарі також призводить до збільшеної усадки бетону під час твердіння, що викликає інтенсивне тріщиноутворення в цій зоні, а також знижує морозостійкість і підвищує стираність покриття [43].

Ще одним недоліком традиційних бетонних підлог є систематичне руйнування бетону в місцях температурно-усадкових швів , які створюються штучно для розділення підлоги на окремі плити.

Ця зона швів може ослаблюватися не лише через температурні деформації та усадку, але й унаслідок додаткового осідання основи в зоні шва, що часто відбувається через його вимивання.

Таке ослаблення і просідання призводить до так званого консольного варіанту навантаження на край плити, що, в поєднанні зі значними динамічними навантаженнями від транспорту, ініціює появу тріщин у зоні шва з подальшим руйнуванням цих критичних ділянок [55].

Уникнути перерахованих недоліків традиційних бетонних армованих підлог можна, застосувавши нове конструктивне рішення – двошарову бетонну підлогу з шаром зносу зі сталефібробетону. Ця конструкція передбачає, що нижній шар бетонної плити армується стержневою арматурою, а верхній шар, який піддається безпосереднім експлуатаційним навантаженням, виконується зі сталефібробетону. Такий підхід поєднує високу міцність на стиск і розтяг та здатність перерозподіляти зусилля від зосереджених навантажень із високою міцністю на розтяг, підвищеною тріщиностійкістю, ударною міцністю та зносостійкістю сталефібробетону. Таким чином, зазначені переваги сталефібробетону використовуються найбільш ефективно у зоні, що зазнає найбільшого зносу.

Застосування шару зносу зі сталефібробетону стає ще більш доцільним при ремонті існуючих, сильно зруйнованих бетонних підлог, коли альтернативою є дорогий демонтаж або капітальний ремонт. Після належної підготовки, укладання сталефібробетону у якості верхнього шару зносу може суттєво знизити вартість і скоротити терміни ремонту.

Що стосується армування, то спрямована орієнтація волокна, як правило, характерна для безперервних волокон, але може бути досягнута і при армуванні короткими волокнами за певних технологічних умов. Довільна орієнтація здійснюється переважно при використанні коротких волокон, при цьому на практиці виділяють кілька її видів : площинно-довільна (хаотичне розподілення у площині), об'ємно-довільна (хаотичне розподілення по всьому об'єму бетону), просторово-паралельна (волокна паралельні одне одному по

всьому об'єму) та стиснено-довільна (довільна орієнтація з обмеженням можливості вільного розташування).

При загальній товщині бетонної підлоги 200–220 мм, типова товщина шару зносу зі сталефібробетону зазвичай становить 50–80 мм. Для об'єктів із меншими навантаженнями, таких як паркінги, товщина шару зносу може бути зменшена до 40–50 мм, а при використанні напружуючого цементу — навіть до 35–40 мм [56]. Щоб забезпечити спільну роботу обох шарів, шар зносу зі сталефібробетону укладається на ще не схоплений бетон нижнього (силового) шару з обов'язковим поверхневим вібраційним ущільненням. Ця вібрація забезпечує проникнення сталефібробетону в нижній шар на 10–15 мм, що призводить до механічного змішування, міцного зчеплення шарів та їх хімічного зрощення завдяки спільній гідратації цементу і взаємопроникненню нових утворень у контактній зоні [50]. Додатковим важливим ефектом поверхневої вібрації є те, що сталева фібра набуває переважно односпрямованого горизонтального або близького до нього положення по всій товщині шару зносу, що істотно підвищує міцність сталефібробетону на розтяг. Технологічна схема влаштування таких бетонних армованих підлог із шаром зносу зі сталефібробетону детально показана на рисунку 1.10.

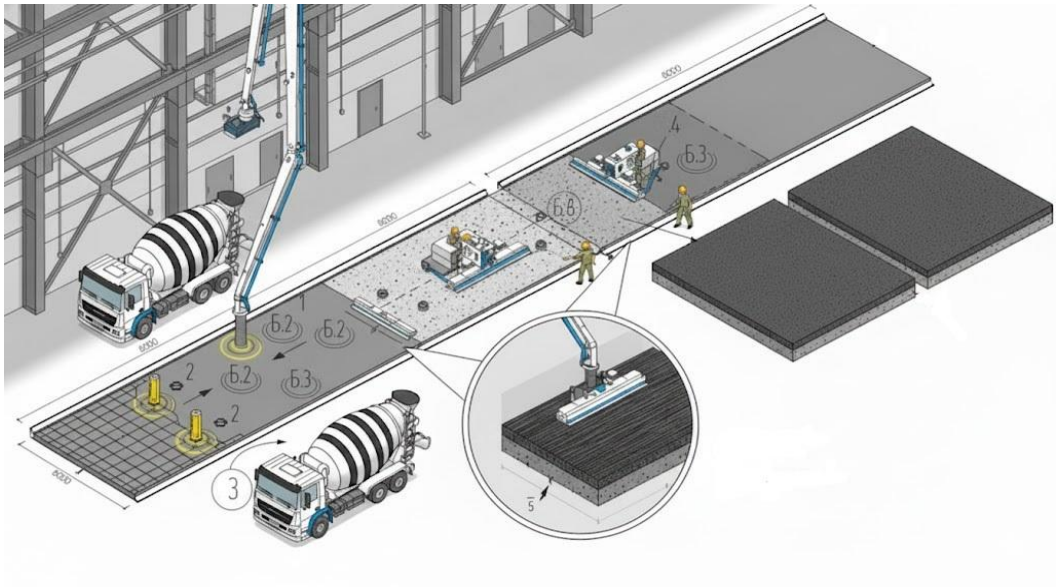


Рисунок 1.10 - Технологія улаштування двошарових підлог

1 - напрямні; 2 - маяки; 3 - автобетонозмішувач; 4 - шліфувальна машина; 5 - формування шару. Б1, Б2, БЗ, Б4 – бетонярі

Бетонна суміш, призначена для укладання у шар зносу, за складом компонентів аналогічна суміші, що використовується для нижнього шару плити підлоги. Для армування шару зносу використовується сталева фрезерована фібра «FiberMix» або «BUTER» із нормою витрати від 40 до 120 кг на 1 м³ бетонної суміші. При цьому, довжина відрізної фібри повинна бути принаймні удвічі більшою за максимальну крупність використовуваного заповнювача. Важливо зазначити, що у випадку невисоких навантажень на підлогу шар зносу може бути виконаний з базальтофібробетону — із застосуванням базальтової фібри замість сталевої.

Для розв'язання технологічних проблем, що виникають при суміщенні укладання звичайного бетону та сталефібробетону, приготування фібробетонної суміші доцільно виконувати безпосередньо на будівельному майданчику. Для цього застосовуються змішувачі примусової дії, а точність складу забезпечується ваговим дозуванням усіх компонентів. Після технологічної витримки поверхня обробляється затиральними машинами (одно- чи двороторними) або шліфується.

Влаштування шару зносу зі сталефібробетону за цією методикою суттєво покращує фізико-механічні властивості та довговічність підлоги, а також зменшує поточні й експлуатаційні витрати. Зокрема, використання даної технології дозволяє знизити металомісткість (економія арматурної сталі на 10–20 %) та скоротити загальні витрати на 15–20 % [47].

Для підвищення стійкості підлоги до пиловідділення, поверхня шару зносу може бути посилена топінгом (підлоги зі зміцненим верхнім шаром) або по цій поверхні виконано полімерне покриття (наливна або високонаповнена полімерна підлога).

Для гарантування надійної адгезії між існуючою бетонною основою та новим шаром зносу необхідна ретельна підготовка поверхні методами дробоструминної або гідропіскоструминної обробки. Проектна товщина сталефібробетонного покриття варіюється в межах 40–100 мм залежно від експлуатаційних навантажень. При влаштуванні тонкошарових покриттів

(менше 50 мм) обов’язковим є створення контактного шару з використанням латекс-цементних, епоксидних або поліуретанових композицій [44].

Особливу ефективність демонструє використання піщаних або щебеневих базальтофібробетонів на основі напружуючого цементу (НЦ-20, НЦ-10). Такі матеріали перевершують аналоги на портландцементі за зносостійкістю у 1,5–2,5 рази. Завдяки ефекту самонапруження, базальтофібробетони формують покриття з високою тріщиностійкістю та водонепроникністю. Ці підлоги характеризуються мінімальним пилоутворенням, тому для забезпечення тривалого безремонтного терміну служби часто достатньо лише захисного просочення полімерними складами [43].

Номенклатура інженерних волокон (фібри), що застосовуються для дисперсного армування бетонів, будівельних розчинів, стяжок та бітумних матеріалів, включає широкий спектр типорозмірів. Зокрема, у виробництві використовуються: поліефірна ПЕТ фібра (6, 12, 20 мм), базальтова (6, 12, 18, 24 мм) та поліпропіленова (12, 20 мм) [42].

Армовані бетонні підлоги є найбільш поширеним рішенням для промислових цехів, складських комплексів, паркінгів та громадських будівель, як при новому будівництві, так і при реконструкції. Це обумовлено високими фізико-механічними характеристиками залізобетону, що дозволяють конструкції витримувати значні статичні та динамічні навантаження від обладнання і техніки протягом тривалого часу [42].

Водночас, суттєвим експлуатаційним недоліком традиційних бетонних підлог є руйнування зон примикання до деформаційних (температурно-усадочних) швів. Деградація крайових ділянок плит часто посилюється внаслідок просідання основи, викликаного вимиванням ґрунту або вібраційними навантаженнями в зоні шва.

1.4 Висновки до розділу 1

1.Звичайні бетонні армовані підлоги, незважаючи на міцність, мають серйозні недоліки: вони схильні до пилоутворення, розтріскування та руйнування біля усадкових швів. Це відбувається через міграцію води та дрібних фракцій у верхній шар під час укладання.

2.Новим конструктивним рішенням є двошарові підлоги, де на нижній силовий шар бетону укладається верхній шар зносу (товщиною 40-100 мм) зі сталефібробетону або базальтофібробетону.

3.Верхній шар значно підвищує тріщиностійкість, ударостійкість та зносостійкість підлоги. Він поєднує переваги армованого бетону та високі експлуатаційні характеристики фібробетону.

4.Для забезпечення якості, сталефібробетонну суміш готують безпосередньо на місці за допомогою змішувачів примусового перемішування та точного дозування на вагах. Для ущільнення шару та орієнтації фібри використовується віброрейка, а фінішна обробка для гладкості та зміцнення виконується бетонозатиральними машинами (одно- або двороторними) чи шліфуванням

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

2.1 Конструкційні параметри сталефібробетонних сумішей зі шаром зносу

Сталефібробетон, матеріал, що отримується при введенні в бетонну суміш сталевих волокон (фібр), відомий давно. Він має підвищену, порівняно з традиційними бетонами, міцність на розтяг, тріщиностійкість, морозостійкість, витривалість при динамічних та ударних навантаженнях і, як наслідок, довговічність.

Підвищення дозування фібри у бетонній суміші позитивно впливає на деформативність матеріалу при розтягу, однак ця залежність не є лінійною і має межу. Існує певний оптимум насичення, після перевищення якого показники розтяжності починають знижуватися.

Експериментально, що для порошкових бетонів при використанні волокон довжиною 12,7 мм (та/або 16 мм) цей максимум досягається при вмісті фібри 1,6 %. Саме це співвідношення забезпечує найкращий баланс міцності та граничної розтяжності. Водночас для фібри більшої довжини точку екстремуму в межах проведених дослідів виявити не вдалося, що дає підстави вважати, що оптимальне дозування для довгих волокон перевищує досліджені значення.

Доведено, що дисперсне армування позитивно впливає на здатність бетону чинити опір динамічним навантаженням. Спостерігається чітка кореляція: ударна в'язкість композиту суттєво зростає при збільшенні як об'ємної частки, так і довжини волокон.

Найбільшу ефективність зафіксовано для порошкових бетонів: при введенні 3,24 % базальтової фібри (за об'ємом) їхня ударна міцність перевищила показники контрольного неармованого складу у 3–3,5 рази. Для

важких бетонів аналогічне армування забезпечило приріст показників у 2–2,5 рази.

Влаштування промислових бетонних підлог є високотехнологічним процесом, що вимагає залучення кваліфікованого персоналу та суворого дотримання регламенту робіт. Конструкція може укладатися безпосередньо на ґрунтову основу (за умови її попереднього ретельного ущільнення по всій площі) або на існуючу бетонну плиту.

Підготовка старої основи передбачає обов'язкову санацію: усунення вибоїн, нівелювання перепадів висот, розшивання та заповнення тріщин ремонтними сумішами. У випадках, коли наявна основа має критичний ступінь руйнування, її відновлення вважається економічно недоцільним, тому рекомендується повний демонтаж.

Максимізація міцності композиту на розтяг та згин досягається лише за умови створення анізотропної структури, де волокна мають об'ємно-паралельну орієнтацію. Це пояснюється тим, що фібра працює найбільш ефективно, коли її положення в матриці співпадає з вектором головних розтягуючих напружень конструкції. Втім, аналіз існуючої науково-технічної бази свідчить про відсутність ефективних технологічних рішень для забезпечення такої орієнтації у фібробетонах, армованих мінеральними волокнами.

2.2 Дослідження фізико-механічних властивостей сталефібробетону в конструкції шару зносу

Ключовою умовою максимізації міцності на розтяг та згин є забезпечення об'ємно-паралельної орієнтації волокон. Ефективність армування безпосередньо залежить від колінеарності (співвісності) фібри з вектором головних розтягуючих напружень конструкції.

Однак, аналіз існуючих наукових розробок свідчить про відсутність дієвих технологічних рішень для керування орієнтацією саме мінеральних

волокон у матриці бетону.

Окрім технологічних бар'єрів, існують суттєві нормативні прогалини. Попри тривалу історію досліджень, вітчизняна нормативна база щодо проектування конструкцій з базальтової фібри досі не сформована.

Парадокс ситуації полягає в тому, що навіть за наявності чинних норм для загального фібробетону та успішного закордонного досвіду, цей матеріал все ще має низький рівень імплементації у вітчизняну будівельну практику.

У ході експериментальних досліджень впливу технології перемішування на фізико-механічні властивості фібробетону було апробовано застосування бігункових змішувачів.

Порівняльний аналіз показав, що зразки, виготовлені у таких змішувачах, демонструють підвищення границі міцності на розтяг при згині на 5–12 % порівняно з аналогами, отриманими у традиційних лопатевих змішувачах. Це свідчить про здатність бігункових агрегатів сприяти впорядкуванню структури матеріалу.

Аналогічний приріст міцності (5–12 %) було зафіксовано при використанні спеціальних пристроїв для примусової орієнтації фібри. Отримані дані підтверджують ефективність обох методів для забезпечення паралельної орієнтації волокон (анізотропії), що є критично важливим для конструкцій, які працюють переважно на згин.

Встановлено, що для кожного типу фібробетону існує оптимум насичення армуючими волокнами, який залежить від їх геометричних параметрів (довжини) та матриці композиту. При цьому вплив фібри на різні характеристики бетону є неоднозначним. Стосовно міцності на стиск, визначальним фактором залишається водоцементне відношення (В/Ц), тоді як вплив дисперсного армування є другорядним.

Більше того, надмірне збільшення вмісту фібри призводить до зниження границі міцності на стиск.

Натомість, введення базальтової фібри критично впливає на граничну розтяжність бетону, суттєво підвищуючи його тріщиностійкість.

Спостерігається кореляція: зі збільшенням довжини волокон зростає і деформативність матеріалу. Однак залежність від дозування має екстремальний характер. Експериментально доведено, що для порошкових бетонів оптимум (максимум розтяжності та міцності) досягається при вмісті 1,6 % для волокон середньої довжини (12,7–16 мм).

При подальшому збільшенні дозування показники знижуються. Для довгих волокон точку оптимуму в межах проведених досліджень досягнуто не було — ймовірно, вона знаходиться в зоні вищих концентрацій.

Основні фізико-механічні характеристики та геометричні параметри сталевої фібри (типу "рубана з дроту") наведені у таблиці 2.1.

Відповідно до положень ДСТУ EN 14889-1:2022 [48], початковий модуль пружності (E_f) для цього виду армування становить 2·105 МПа. [48].

Таблиця 2.1 - Базові показники фібри

Тип фібри	Нормативні опори розтягуванню R_{fn} і розрахункові опори розтягуванню для граничних станів другої групи $R_{f,ser}$, МПа	Коефіцієнт надійності фібрової арматури γ_f при розрахунку конструкцій за граничними станами		Розрахункові опори розтягуванню фібрової арматури для граничних станів першої групи R_f, МПа
		Група I	Група II	
Фібра сталева рубана з дроту, що виготовляється ТОВ "ДНІПРОМЕТИЗТАС"	1100	1,1	1,00	1050

Для порівняльної оцінки ефективності різних конструктивних рішень промислових підлог виконано розрахункове моделювання.бетон марки М400

і вище.

В основу розрахунків покладено фізико-механічні характеристики матеріалів плити та ґрунтової основи, а саме:

- Бетон: важкий бетон класу міцності С20/25 (що відповідає марці М400 і вище) з наступними нормативними характеристиками: модуль пружності E_b=30000 МПа, опір осьовому стиску R_b=14,5 МПа, опір розтягу R_{bt}=1,05 МПа.
- Дисперсне армування: сталева дротяна фібра (параметри наведено вище).
- Стрижневе армування: арматура періодичного профілю класу А400 (E_s= 200000 МПа МПа*, R_s=355 МПа).
- Основа: щільні піски середньої крупності.

Дані розрахунки проводилися відповідно до зводу ДСТУ 9262:2023. «Настанова з контролю якості влаштування підлог». [44]. Розрахункова модель базується на гіпотезі місцевих пружних деформацій (модель Вінклера). Основним параметром жорсткості основи виступає коефіцієнт постелі (K_0). Для спрощення чисельного моделювання, нівелюючи вплив другорядних факторів, прийнято значення K_0=65 МН/м³.

Згідно з ДСТУ [44], це відповідає характеристикам піщаних ґрунтів середньої крупності за умов відсутності водонасичення.

Паралельно з цим, дослідження технології виготовлення суміші підтвердили, що використання спеціальних змішувачів забезпечує приріст міцності на згин на 5–12% завдяки ефективній орієнтації волокон.

Проектування бетонних підлог регламентується національними стандартами, які передбачають використання методу граничних станів. Зазначена методика забезпечує детальний облік усіх факторів впливу та поведінки конструкції під навантаженням, гарантуючи достовірність результатів розрахунку.

Так, базове рівняння міцності ми можемо записати у вигляді:

$$M_d \leq M_{ul}t \qquad (2.1)$$

де: M_d – розрахунковий згинальний момент, що виникає в перерізі плити від дії зовнішніх навантажень, кН·м;

M_{ult} – граничний згинальний момент, який може сприйняти даний переріз, кН·м.

При розрахунку залізобетонних конструкцій підлоги з урахуванням обмеження ширини розкриття тріщин (друга група граничних станів), на додаток до умови міцності (2.1), необхідно також забезпечити виконання умови (2.2):

$$A_{crc} \leq a_{crc,ult} \tag{2.2}$$

де: a_{crc} – розрахункова ширина розкриття тріщин у перерізі при дії експлуатаційних навантажень, мм;

$a_{crc,ult}$ – гранично допустима ширина розкриття тріщин, що приймається рівною 0,3 мм.

Визначення розрахункового згинального моменту M_1 виконується відповідно до методики, наведеної в джерелі [3], за формулою:

$$M_1=\frac{P_p}{K_1},\text{кН·м}, \tag{2.3}$$

де: P_p – розрахункове навантаження на слід (пляму контакту), прикладене в його геометричному центрі, кН;

K_1 – коефіцієнт, що визначається залежно від геометричних співвідношень (2.4):

$$\alpha = \frac{\alpha_p}{L}, \beta = \frac{\beta_p}{L}, \tag{2.4}$$

де: α_p і β_p – відповідно довжина і ширина розрахункового сліду

навантаження, м;

L – пружна характеристика плити обчислюється за виразом (2.5):

$$L = 4\sqrt{\frac{B}{K_0}}, \text{ м} \quad (2.5)$$

де: B – циліндрична жорсткість перерізу плити, приведена до одиниці ширини;

K_0 – еквівалентний коефіцієнт постелі основи, МН/м^3.

Розрахунок ширини розкриття тріщин a_{crc} у нормальному перерізі плити з ненапружуваною арматурою виконується за формулою (2.6):

$$a_{crc} = \psi_b \frac{E\sigma_s}{E_s}\alpha_c, \quad (2.6)$$

де: ψ_b – коефіцієнт, що враховує роботу бетону на розтяг між тріщинами;

σ_s – напруження в розтягнутій арматурі, МПа;

E_s – модуль пружності стрижневої арматури, МПа;

α_c – відстань між тріщинами, м.

Граничний згинальний момент M_{ult} а одиницю ширини перерізу для різних типів конструкцій визначається за формулами (2.7), (2.8) і (2.9): – для бетонних підлог (на основі пружно-пластичного моменту опору):

$$M_{ult} = R_{bt}\frac{h^2}{6}\gamma_c, \quad (2.7)$$

– для залізобетонних плит з ненапружуваною арматурою:

$$M_{ult} = A_s R_s (h_0 - 0.5x) \quad (2.8)$$

– для плит, армованих фібровою арматурою:

$$M_{ult} = R_{fb} b \frac{h^2}{6} \gamma_c , \quad (2.9)$$

де: R_{bt} – розрахунковий опір бетону при стисканні, який вираховується розрахунковим шляхом [5];

h – висота перерізу, м;

γ_c – коефіцієнт умов роботи (приймається рівним 1,0 для спрощення обчислень);

A_s – площа перерізу розтягнутої арматури в даному перерізі, м^2;

R_s – розрахунковий опір залізобетону при стисканні, який вираховується розрахунковим шляхом [5];

h_0 – робоча висота перерізу, м;

x – висота стиснутої зони бетону, м;

Rf_b – розрахунковий опір СФБ при стисканні, який вираховується розрахунковим шляхом [5];

b – ширина перерізу, що приймається рівною одному метру;

При проектуванні елементів зі сталефібробетону (СФБ) обов'язковою умовою є дотримання вимог щодо мінімального рівня армування. Для підлог промислових будівель рекомендований вміст фібри становить 20–40 кг/м³, що відповідає коефіцієнту армування в межах (0,0025 ≤ μfv ≤ 0,005) [5]. Визначення мінімального коефіцієнта фібрового армування слід виконувати з урахуванням умови (2.10):

$$\mu_{fv,min} = C \frac{R_{bt,ser}}{R_{f,ser}} \frac{1}{\eta_f} \frac{1}{k_{or}} \frac{d_{f,red}}{l_f} \geq \mu_{fv,min} \quad (2.10)$$

де: C – коефіцієнт, який для елементів, що працюють на згин, приймається рівним 0,6;

k_{or} – коефіцієнт орієнтації, що враховує розподіл фібр в об'ємі елемента

залежно від співвідношення розмірів перерізу та довжини волокна визначається шляхом інтерполяції значень згідно з [5];

l_f – довжина фібр; для використовуваної фібри l_f = 54 мм;

$l_{f,an}$ – розрахункова довжина закладення (анкерування) фібри в матриці бетону, що забезпечує її розрив, а не висмикування під навантаженням; визначається за формулою (2.11):

$$l_{f,an} = \eta_f \frac{d_{f,red} R_{f,sed}}{4 R_{b,ser}} \qquad (2.11)$$

де: η_f = 0,7 – коефіцієнт, що враховує анкерування фібри;

$d_{f,red}$ = 1,0 мм – приведений діаметр використовуваної фібри;

$R_{f,ser}$ = 1100 МПа – нормативний опір розтягуванню фібр;

$R_{b,ser}$ = 1,55 МПа – нормативний опір бетону осьовому розтягуванню. Якщо підставити у формулу (2.11) зазначені чисельні значення, то в результаті виходять такі дані:

$$l_{f,an} \approx 0{,}004968 \text{ м},$$
$$\mu_{,min} \approx 0{,}003665 \ (0{,}3665\%)$$

Відповідно, розрахунковий мінімальний вміст сталевої фібри в матриці бетону становить:

$$\mu_{fv,min} \approx 28{,}77 \text{ кг/м}^3$$

Для подальшого проектування та забезпечення запасу надійності приймаємо фактичне дозування фібри на рівні 30 кг/м³ (що відповідає коефіцієнту армування $\mu_{fv} \approx 0{,}0038$ або 0,38%). Це значення задовольняє умову мінімально допустимого армування.

Виконані розрахунки переконливо обґрунтовують економічну

доцільність (ефективність) застосування сталефібробетону для влаштування промислових підлог з підвищеними вимогами до зносостійкості.

Результати порівняльного аналізу, що включають оцінку термінів виконання робіт та кошторисної вартості, систематизовано у таблицях 2.2, 2.3 та додатку А.1.

Таблиця 2.2 — Порівняльний аналіз показників на зведення монолітних підлог (у розрахунку на 100 м²)

Тип конструкції	Показники		
	Трудомісткість, люд./год	Вартість, грн/год	Оплата праці, грн.
Бетонна плита	36	200	7200
СФБ-плита	27	200	5400
Відхилення	-9	0	-1800
Відхилення, %	-25	0	-25
Залізобетонна плита	68	200	13600
СФБ-плита	27	200	5400
Відхилення	-41	0	-8200
Відхилення, %	-60	0	-60

Проведений порівняльний аналіз різних варіантів конструктивних рішень підлог для виробничо-складських об'єктів переконливо довів, що застосування сталефібробетону є найбільш економічно ефективним та

технологічно виправданим.

Зокрема, розрахунки демонструють, що впровадження цієї технології дозволяє скоротити витрати бетону на 38% та 11% у порівнянні з бетонними та залізобетонними плитами відповідно, а економія сталі відносно традиційного армування сягає 70%.

Окрім зниження матеріаломісткості, зафіксовано суттєве зменшення трудовитрат — на 25% порівняно з бетонними та на 60% порівняно із залізобетонними конструкціями, що у підсумку знижує собівартість влаштування двошарових підлог на 19% і 34% відповідно.

Враховуючи також значне прискорення будівельного процесу, широке застосування сталефібробетону здатне забезпечити багатомільйонний економічний ефект у масштабах будівельної галузі країни.

Таблиця 2.3 — Порівняльний аналіз витрат на зведення монолітних підлог (на 100 м²)

Тип порівняння	Тип конструкції	Загальна ціна, грн	Відхилення, грн	Відхилення, %	Тип порівняння
1. Бетонна vs СФБ	Бетонна плита*	118 500	—	—	1. Бетонна vs СФБ
	СФБ-плита	95 400	-23 100	-19%	
2. З/Б vs СФБ	Залізобетонна плита	144 500	—	—	2. З/Б vs СФБ
	СФБ-плита	95 400	-49 100	-34%	

2.3 Дослідження впливу технологічних параметрів сталефібробетонної суміші на технологію влаштування шару зносу

Прийняття рішень щодо використання сталефібробетонних конструкцій має базуватися на техніко-економічному обґрунтуванні, враховуючи специфіку умов будівництва. Головними критеріями вибору є мінімізація матеріальних, трудових та енергетичних витрат при одночасному забезпеченні довговічності та збільшенні міжремонтного циклу.

Застосування сталефібробетону є пріоритетним для будівель і споруд, до яких висуваються підвищені вимоги щодо зменшення власної ваги, обмеження ширини розкриття тріщин та забезпечення гідроізоляційних властивостей.

Основні технічні переваги сталефібробетону над традиційним залізобетоном, що визначають сферу його ефективного застосування:

- Покращені фізико-механічні властивості: висока тріщиностійкість, ударна в'язкість, опір зносу, кавітації та морозостійкість.
- Стабільність розмірів: знижені показники усадки та повзучості.
- Конструктивна гнучкість: можливість проектування тонкостінних елементів та відмова від традиційної розподільчої чи поперечної арматури (сіток/каркасів).

Щодо орієнтації волокон: Спрямована (впорядкована) структура зазвичай властива композитам із безперервним армуванням, проте за певних технологічних умов може бути досягнута і при використанні дискретних волокон (фібри). У більшості випадків при дисперсному армуванні реалізується довільна орієнтація. На практиці виділяють такі типи розподілу [7]:

- Площинно-довільна (2D): хаотичний розподіл волокон у межах однієї площини (характерно для тонкостінних елементів).
- Об'ємно-довільна (3D): хаотичний розподіл у всьому масиві бетону.
- Просторово-паралельна: впорядковане розміщення волокон

паралельно одне одному в об'ємі конструкції.

- Обмежено-довільна: розподіл, що виникає внаслідок впливу опалубки або розмірів перерізу (стінковий ефект), що обмежує вільну орієнтацію.

Щодо ефективності та застосування: Використання фібробетону забезпечує зниження трудомісткості арматурних робіт та сприяє підвищенню рівня механізації виробництва. Цей матеріал є найбільш ефективним для виготовлення:

- збірних тонкостінних конструкцій (оболонок, складок, ребристих плит);
- лінійних елементів (колон, балок);
- монолітних конструкцій (днищ резервуарів, дорожніх та аеродромних покриттів);
- промислових та цивільних підлог .

Узагальнення світового досвіду та результатів вітчизняних випробувань дозволило встановити, що гомогенність (рівномірність) розподілу сталевої фібри в тілі бетону залежить від комплексу факторів [22]:

- зокрема, фактор форми (співвідношення довжини волокна до його діаметра l/d).
- коефіцієнт об'ємного насичення бетону фіброю.
- марка за легкоукладальністю (рухливістю) відповідно до вимог ДСТУ EN 206:2022.
- клас бетону та об'єм цементного тіста згідно з ДСТУ 9208:2022.
- регламент перемішування (тривалість, швидкість) та порядок завантаження компонентів.
- спосіб дозування та подачі волокон у змішувальний барабан.
- тип та конструктивні особливості змішувача.

Технологія фінішної обробки промислових підлог вимагає суворого дотримання регламенту робіт як при зміцненні поверхні, так і при влаштуванні наливних покриттів. Зокрема, при використанні зміцнювачів категорично забороняється їх розведення водою, оскільки це призводить до зниження

фізико-механічних показників та погіршення естетичного вигляду; для захисту та надання глянцю поверхню покривають спеціальним лаком, шар якого рекомендується періодично поновлювати для збереження стійкості до подряпин. У випадку влаштування наливних підлог роботи виконуються на підготовленій бетонній основі з допустимими незначними нерівностями, попередньо обробленій ґрунтовкою глибокого проникнення (з витримкою до висихання протягом доби) та за умови, що вологість основи не перевищує 5%. Робочий розчин, приготований чітко за інструкцією, укладають контрольованим шаром, після чого обов'язково проводять деаерацію та нівелювання поверхні за допомогою голчастого валика для видалення повітряних включень і забезпечення однорідності покриття.

До числа типів фібри, що випускаються РУП БМЗ, найбільш стійких до появи неоднорідності (поява так званих «їжаків») суміші при приготуванні відносяться:

- фібра анкерна з відношенням рівним 43; 50 і 60 (довжина 30 мм, діаметр 0,5; 0,6 і 0,7 мм) за умови її введення не більше 0,015 (1,5%);
- фібра анкерна з відношенням рівним 45 і 50 (довжина 50 мм, діаметр 1,0 і 1,1 мм) за умови її введення не більше 0,01 (1,0%);
- фібра анкерна з відношенням рівним 55 (довжина 60 мм, діаметр 1,1 мм) за умови її введення не більше 0,01 (1,0%);
- фібра хвильового профілю з відношенням рівним 30; 31; 36 і 38 (довжина відповідно 18; 22; 18; 15 мм, діаметри відповідно 0,6, 0,7, 0,5, 0,4 мм) за умови їх введення не більше 0,005 (0,5% за об'ємом або до 40 кг/м^3);
- фібра пряма (мікрофібра) з відношенням рівним 37 і 43 (довжина 13 мм, діаметри відповідно 0,35; 0,3 мм) за умови їх введення в кількості не більше 0,015 (1,5% за об'ємом);
- фібра пряма (мікрофібра) з відношенням рівним 52 (довжина 13 мм, діаметр 0,25 мм) за умови її введення в кількості не більше = 0,01 (1,0% за об'ємом).

Для забезпечення належної якості сталефібробетонних сумішей,

особливо при використанні фібри з певними технологічними обмеженнями, необхідно застосовувати механізовані засоби дозування, які гарантують високу швидкість подачі та рівномірність розподілу армуючих волокон у матриці.

На практиці реалізуються дві основні технологічні схеми приготування суміші: перша (традиційна) передбачає введення фібри безпосередньо у вже готовий бетонний розчин з подальшим перемішуванням до гомогенного стану, тоді як друга базується на попередньому "сухому" змішуванні заповнювачів, в'яжучого та фібри, після чого до працюючого змішувача подаються вода та необхідні добавки для остаточного затворення.

Наливні полімерні підлоги поєднують у собі високу стійкість до механічних пошкоджень та хімічно агресивних середовищ з естетичною привабливістю, що обумовлює їх широке застосування як у промислових цехах, так і в громадських об'єктах — торгових центрах, офісах та адміністративних установах.

Окремим різновидом є безшовні магнезіальні покриття, які завдяки своїй інертності та зручності в експлуатації ідеально підходять для складських комплексів і паркінгів, тоді як для приміщень з меншим навантаженням (кафе, магазини) використовують спеціалізовані декоративні системи. Технологія влаштування таких підлог передбачає укладання на попередньо ущільнену ґрунтову основу або на існуючу бетонну плиту, яка потребує ретельної підготовки: усунення перепадів висот, ремонту тріщин і вибоїн, або ж повного демонтажу у разі економічної недоцільності відновлення.

Невід'ємним елементом конструкції виступає бетонна стяжка, яка виконує функції вирівнювання поверхні, захисту інженерних комунікацій, рівномірного розподілу навантажень на нижні шари та слугує надійною базою для нанесення фінішного покриття.

Другий спосіб фахівці та дослідники рекомендують застосовувати для бетонів із заповнювачем великого розміру. І перший, і другий спосіб можливо використовувати в обох типах будівництва (ми маємо на увазі збірне і

монолітне). У разі монолітного будівництва рекомендується використовувати АБЗ, або автобетонозмішувачі, зрозуміло, в якості змішувача.

Технологія приготування суміші повинна задовольняти вимогам нормативно-технічних документів, у тому числі ДСТУ EN 13670:2023, ДСТУ EN 206:2022, ДСТУ 9208:2022, ДСТУ Б В.2.7-126:2011, ДСТУ Б В.2.7-18-95.

Застосовувані бетонозмішувачі та режими перемішування сталефібробетонної суміші різних марок за легкоукладальністю повинні забезпечити отримання гомогенної суміші з коефіцієнтом варіації міцності всередині замісу не більше 10%.

Застосування стаціонарних гравітаційних змішувачів і автобетонозмішувачів для приготування сталефібробетонної суміші з використанням сталевої фібри допускається з урахуванням необхідних обмежень за методикою введення фібр, часу перемішування. Найбільш оптимально здійснювати приготування сталефібробетонної суміші в змішувачах примусової дії.

Щоб не допустити появи «їжаків» з фібр, фахівці рекомендують обмежувати домішування введеної в матрицю фібри десятьма- дванадцятьма хвилинами.

Так, необхідно бути уважними на будмайданчику в момент введення фібри в автобетонозмішувач і в особливості під час процесу її домішування, оскільки занадто тривалий час перемішування створює умови для інтенсивної появи вже згадуваних «їжаків» [21].

2.4 Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що використання сталефібробетону (СФБ) у конструкціях промислових підлог забезпечує значне підвищення фізико-механічних властивостей покриття порівняно з традиційним бетоном. Зокрема, дисперсне армування підвищує ударну в'язкість (у 2–3,5 рази), тріщиностійкість та зносостійкість шару зносу. Визначено, що існує

оптимальний відсоток вмісту фібри (в межах 1,0–1,6% залежно від типу), перевищення якого може призводити до зниження показників граничної розтяжності.

2. Доведено, що критичним фактором якості СФБ є технологія перемішування. Для запобігання утворенню грудок фібри («їжаків») та забезпечення її рівномірного розподілу необхідно використовувати змішувачі примусової дії та обмежувати час домішування фібри (до 10–12 хвилин). Застосування методів, що сприяють об'ємно-паралельній орієнтації волокон, дозволяє додатково підвищити міцність на згин на 5–12%.

3. Проведений порівняльний аналіз (актуалізований для цін України 2024–2025 рр.) показав високу економічну доцільність використання СФБ-плит. Заміна традиційного стрижневого армування на сталеву фібру дозволяє знизити загальну вартість влаштування підлоги на 34%, зменшити металоємність конструкції на 70% та скоротити трудовитрати на 60% за рахунок виключення трудомістких арматурних робіт.

4. Визначено, що проектування та контроль якості сталефібробетонних конструкцій в Україні має базуватися на сучасних гармонізованих стандартах ДСТУ EN 14889-1:2022 (вимоги до фібри) та ДСТУ EN 206:2022 (вимоги до бетону). Це забезпечує легітимність застосованих рішень та гарантує відповідність конструкцій європейським вимогам надійності, замінюючи застарілі норми.

РОЗДІЛ 3
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УЛАШТУВАННЯ ШАРУ ЗНОСУ ТА ПЕРЕВІРКА ЙОГО МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 Методика планування, проведення лабораторних експериментів, матеріали та обладнання

Виготовлення та лабораторні випробування дослідних зразків здійснювалися у суворій відповідності до регламенту ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Експериментальна програма передбачала використання різних типів дисперсного армування: гладкої дротяної, токарної, фрезерованої фібри, а також листової з анкерами.

Процес приготування суміші реалізовувався у змішувачі бігункового типу. Для забезпечення анізотропії (паралельної орієнтації волокон) було застосовано спеціальне конструктивне рішення: у чашу змішувача інтегрували сталеву решітку, сформовану з пластин товщиною 1 мм і шириною 20 мм із кроком 20 мм. Введення фібри в цементно-піщану матрицю відбувалося поступово, при цьому вільне проходження маси крізь решітку сприяло впорядкуванню структури матеріалу.

Експериментальні дослідження проводилися на зразках-кубах розміром 100×100×100 мм. Матеріалом матриці слугував дрібнозернистий бетон класу С20/25, склад якого (Ц:П = 1:2,0; В/Ц = 0,40) було прийнято на основі попередніх досліджень [10]. Процес твердіння зразків відбувався в нормальних температурно-вологих умовах при температурі t=20∘С. Контроль міцності здійснювали у віці 7 та 28 діб.

Фізико-механічні випробування виконували на універсальній випробувальній машині Instron 3382 (рис. 3.1) із використанням оснастки, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-214:2009 та ДСТУ Б В.2.7-203:2009.

Візуальний аналіз характеру руйнування зразків сталефібробетону

(СФБ) виявив залежність від типу армування (рис. 3.2) :



Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд випробувальної машини Instron



Рисунок 3.2 - Зразки - куби зі сталефібробетону після проведення випробувань на міцність на стиск: 1 - з листовою фіброю, 2 - з бетону, 3 - фрезерованою, 4 - токарною та 5 - дротяною фіброю

Характеристики зразків із контрольного складу (бетон) та складів із введеною сталевою фіброю наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати визначення міцності на стиск зразків контрольного складу та сталефібробетону

Вік зразка	№ зразка	Контрольний зразок (бетон)	Склад № 1 (Листова фібра)	Склад № 2 (Фрезерована фібра)	Склад № 3 (Токарна фібра)	Склад № 4 (Дротяна фібра)	Вік зразка
7 діб	1	32,63	33,83	33,13	34,04	35,26	7 діб
7 діб	2	31,81	32,91	33,01	34,15	35,73	7 діб
7 діб	3	32,17	33,44	34,22	34,83	35,41	7 діб
7 діб	4	31,92	31,55	33,85	34,72	35,41	7 діб
28 діб	1	46,22	48,33	47,33	48,63	51,05	28 діб
28 діб	2	45,84	47,01	47,16	48,76	48,78	28 діб
28 діб	3	45,96	47,77	48,91	50,37	49,76	28 діб
28 діб	4	45,61	45,07	48,36	49,60	50,60	28 діб

Випробування зразків-кубів (100×100×100 мм) на стиск продемонстрували цікаву динаміку набору міцності. У ранньому віці (7 діб) зафіксовано лише незначне перевищення показників сталефібробетону (СФБ) над контрольними зразками. Проте у проектному віці (28 діб) дисперсно-армовані склади демонструють максимальну міцність, суттєво випереджаючи неармований еталон. При порівняльному аналізі різних видів армування встановлено, що найвищі механічні характеристики забезпечує використання

дротяної фібри.

Паралельно було проведено оцінку зносостійкості матеріалу. Випробування на стираність здійснювалися на кубічних зразках з використанням лабораторного кола стирання ЛКІ-3 (рис. 3.3) у відповідності до регламенту ДСТУ Б В.2.7-212:2009.

Метою даного етапу досліджень стала якісна оцінка впливу морфології сталевої фібри на показники стираності сталефібробетону. Експериментальна база включала використання бетону класу С20/25, стандартного піску в якості абразиву та чотирьох типів фібри: дротяної, фрезерованої, токарної та листової.

Дозування армування було прийнято на рівні 25 кг/м³. Такий вибір обґрунтований даними попередніх досліджень, які свідчать про нелінійність залежності зносостійкості від вмісту фібри. Встановлено, що введення перших 25 кг/м³ забезпечує найбільш інтенсивне зниження стираності — на 20% (з 0,60 до 0,478 г/см²). Подальше нарощування дозування з 25 до 100 кг/м³ є менш ефективним, оскільки дозволяє покращити показник лише на додаткові 18% (до 0,392 г/см²).



Рисунок 3.3 - Зовнішній вигляд ЛКІ-3 з випробуваними зразками

Результати випробувань СФБ на стирання представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати випробувань зразків сталефібробетону на стирання

Маркування зразка	Стираність, г/см^2	Середня величина стираності, г/см^2
Фібробетон з концентрацією фрезерованої фібри		
Ф.1	0,76	0,79
Ф.2	0,78	
Ф.3	0,77	
Ф.4	0,78	
Фібробетон з концентрацією листової фібри		
Л.1	0,84	0,79
Л.2	0,72	
Л.3	0,76	
Л.4	0,81	
Фібробетон з концентрацією токарної фібри		
Т.1	0,76	0,79
Т.2	0,75	
Т.3	0,76	
Т.4	0,77	
Фібробетон з концентрацією дротяної фібри		
П.1	0,69	0,69
П.2	0,65	
П.3	0,72	
П.4	0,67	

Найбільш суттєве зниження стираності демонструють композиції, армовані дротяною фіброю. Отримані експериментальні дані дають підстави класифікувати такий сталефібробетон за маркою стираності G1. Це дозволяє рекомендувати його для влаштування покриттів, що експлуатуються в умовах інтенсивного трафіку та значних абразивних впливів.

Впровадження технології дисперсного армування сприяє значному скороченню термінів будівництва та зниженню трудомісткості робіт, передусім завдяки елімінації процесів монтажу та в'язання стрижневої арматури (сіток). Додатковий економічний ефект досягається шляхом зменшення матеріаломісткості конструкцій — забезпечення проектних характеристик при меншій товщині плити.

Розробка оптимального складу сталефібробетону базувалася на методах математичного планування експерименту (МПЕ), причому пошук рішень проводився в квазістаціонарній області (області оптимуму). Як параметр оптимізації (функцію відгуку) було обрано границю міцності бетону на стиск у віці 28 діб нормального твердіння. Математична модель залежності цієї властивості від трьох варійованих факторів була побудована у вигляді полінома другого порядку.

Змінні фактори:

- X_1 – дозування суперпластифікатора С-3, % від маси змішаного в'яжучого.
- X_2 – вміст золи-винесення, % від маси цементу.
- X_3 – ступінь наповнення сталевим волокном, % від маси змішаного в'яжучого.

У здійснених випробуваннях було реалізовано план факторного експерименту 2^3. З центром експерименту (X_0) та інтервалами варіювання змінних факторів (ΔX_i) можна ознайомитися в таблиці 3.3. При призначенні інтервалів варіювання змінних факторів застосовувалися отримані раніше результати випробувань [25].

Таблиця 3.3 – Початкові дані для планування експериментів

№ п/п	Початкові дані планування	X_1	X_2	X_3
1	Центр експерименту	2,1	9	3
2	Інтервал варіювання	0,6	3	1,1
3	Верхній рівень	2,6	15	6
4	Нижній рівень	1,56	7	4
5	Зіркові точки: +α=+1,214 −α=−1,214	 2,62 1,38	 14,9 5,4	 5.4 2,9

За підсумками здійснення ортогонального плану факторного експерименту 2^3 ми отримані такі результати (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Матриця планування експериментів та підсумки досліджень

№ серії	X_1	X_2	X_3	$Y_{екс}$	$Y_{розр}$	$Y_{розх}$
1	-1	-1	+ 1	52,45	52,48	-0,03
2	+1	-1	-1	57,15	58,18	-1,03
3	-1	+ 1	-1	56,25	56,75	-0,50
4	-1	+ 1	+ 1	60,25	59,25	1,00
5	-1	-1	-1	57,15	57,68	-0,53
6	+1	-1	+ 1	58,05	58,18	-0,13
7	-1	+1	+1	56,75	56,76	-0,01
8	+1	+1	-1	62,45	62,53	-0,08
9	- 1,214	0	0	55,25	55,78	-0,53
10	+1,214	0	0	61,15	61,03	0,12
11	0	- 1,214	0	61,55	60,85	0,70
12	0	+1,214	0	62,15	62,48	-0,33
13	0	0	- 1,214	63,85	63,95	-0,10
14	0	0	+1,214	59,75	60,18	-0,43
15	0	0	0	62,35	62,45	-0,10

У результаті математичної обробки даних, отриманих під час випробувань, було розраховано коефіцієнти рівняння, які описують міцність бетону на стиск у віці двадцяти восьми діб нормального твердіння. Отримане рівняння має такий вигляд (3.1):

$$R_{ст}^{28} = 62{,}3+2{,}82X_1+1{,}30X_2+2{,}07X_3-2{,}95X_1^2-0{,}88X_2^2-1{,}75X_3^2-1{,}23X_1X_2X_3 \quad (3.1)$$

$R_{ст}^{28}$ (міцність на стиск у 28 діб) визначали графоаналітичним методом. Для цього були побудовані графічні залежності міцності бетону від групи технологічних факторів.

Аналіз математичної моделі міцності бетону при введенні дисперсно-волокнистого наповнювача (МЗН - імовірно, макрозольний наповнювач або дрібнозернистий наповнювач) на основі суперпластифікатора С-3 дозволив зробити такі висновки:

Аналіз математичної моделі міцності бетону при введенні дисперсно-волокнистого наповнювача (МЗН - імовірно, макрозольний наповнювач або дрібнозернистий наповнювач) на основі суперпластифікатора С-3 дозволив зробити такі висновки:

- Найважливіший фактор – Дозування добавки С-3 (X_1): Коефіцієнти при X_1 та X_1^2 виявилися найбільшими за абсолютною величиною: +2,82 та −2,95. Різниця в знаках при коефіцієнтах свідчить про те, що центр експерименту був обраний в області оптимуму. Оптимальне значення дозування суперпластифікатора С-3 у складі становить 2,1%.
- Другий за значущістю фактор – Ступінь наповнення сталевим волокном (X_3): При збільшенні вмісту металевого наповнювача в сталефібробетоні міцність буде знижуватися і поза межами досліджуваної області. Тому вміст сталевого волокна в сталефібробетоні слід обмежити з умови досягнення міцності бетону класу С32/40. Виходячи з цих міркувань, максимальна ступінь наповнення бетону сталевою фіброю має дорівнювати 4%.

- Найменш значущий фактор – Вміст золи-винесення (X_2): Коефіцієнти при X_2 (+1,30) та X_2^2 (– 0,88) також підтверджують, що центр експерименту знаходиться в області оптимуму.
- Оптимальне значення вмісту золи-винесення в сталефібробетоні знаходять шляхом дослідження рівняння регресії на екстремум за змінною X_2. Виявлене оптимальне значення вмісту золи-винесення в сталефібробетоні дорівнює 11%.

Використання золи-винесення, сталевого дисперсно-волокнистого наповнювача та суперпластифікатора С-3 у дрібнозернистих бетонних сумішах і при двостадійній технології приготування дає можливість отримати високоміцний бетон класу С32/40 на звичайному цементі марки М400.

3.2 Технологія влаштування покриттів з підвищеною зносостійкістю

Розроблено склад дрібнозернистого сталефібробетону (СФБ), що базується на використанні модифікованих компонентів. Ключовою відмінністю суміші є застосування в'яжучого низького водопотребування марки ВНВ-70, виготовленого з використанням відходів мокрої магнітної сепарації. У якості заповнювачів використано комбінацію відсіву дроблення кварцитопісковика (фракція до 5 мм) та піску Нижньоольшанського родовища. До складу також входять сталева фібра, суперпластифікатор С-3 та вода затворення. Кількісне співвідношення компонентів кг/м^3 деталізовано у таблиці 3.5.

Застосовується в'яжуче низького водопотребування ВНВ-70 на основі відходів мокрої магнітної сепарації та кремнезему, які отримують завдяки механоактивації відсіву дроблення кварцитопісковика.

Відсів дроблення кварцитопісковика утворюється при дробленні щебеню. Він являє собою частинки пилоподібної фракції (що не перевищує п'яти міліметрів) з високим вмістом кремнезему.

Таблиця 3.5 – Компоненти суміші

№ п/п	Найменування компонента суміші	Кількість, кг/м^3
1	В'яжуче низького водопотребування ВНВ-70	280-290
2	Відсів дроблення кварцитопісковика	860
3	Пісок	540
4	Суперпластифікатор С-3	1,6-1,7
5	Сталева фібра	60-65
6	Вода	решта

Специфічна морфологія зерен відсіву дроблення (кутастість, розвинена питома поверхня) забезпечує високу адгезію з цементним каменем (рис. 3.4).

Водночас, технологічний процес супроводжується явищем сегрегації: міграцією вільної води та дрібнодисперсних фракцій у верхню зону плити. Подальше випаровування надлишкової вологи призводить до формування розвиненої системи капілярних пор і мікротріщин.

Така деструктуризація поверхневого шару спричиняє комплекс негативних наслідків: зниження міцності на стиск і розтяг, зростання пластичної усадки та ризику тріщиноутворення, а також погіршення експлуатаційних характеристик — морозостійкості, опору стиранню та стійкості до пилоутворення [43].

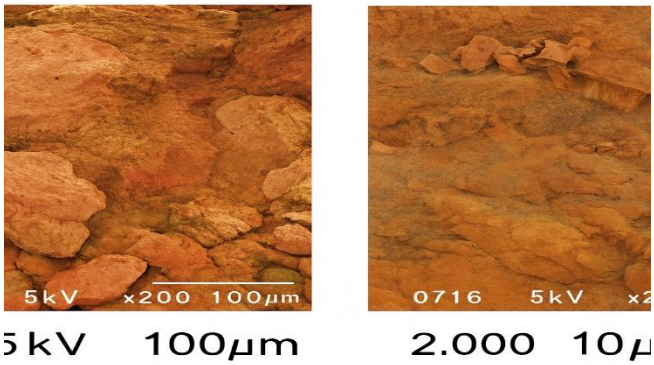


Рисунок 3.4 - Мікрофотознімок відсіву дроблення кварцитопіщанку

Для оцінки якості використовуваних заповнювачів були проаналізовані їхні фізико-механічні характеристики (Таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Фізико-механічні властивості наповнювачів та заповнювачів

№ п/п	Найменування показника	Одиниця виміру	Відсів КВП	Відходи ММС	Пісок
1	Модуль крупності, $М_{кр.}$	-	3,51	0,63	1,11
2	Насипна густина в неущільненому стані, $\rho_{нас.}$	кг/м^3	1415	1300	1468
3	Насипна густина в ущільненому стані, $\rho_{нас.ущл.}$	кг/м^3	1490	1630	1649
4	Істинна густина, $\rho_{іст.}$	кг/м3	2710	3000	2632
5	Порожнечість, $V_{м.п.}$	%	47,9	59,3	44,3
6	Водопотребування, $В_{відс.}$	%	5,4	25	11
7	Цементопотребування, $Ц_{потр.}$	-	0,532	1,96	0,62

Як дисперсне армування було обрано сталеву фрезеровану фібру виробництва «ТМ FIBER» (довжина 32 мм, ширина 3,8 мм). Характерною особливістю даного матеріалу є наявність захисного оксидного шару синього кольору, який запобігає корозії під час зберігання.

У рамках експериментальних досліджень впливу технології приготування суміші на фізико-механічні властивості композиту, було апробовано метод перемішування у бігунковому змішувачі з використанням пристроїв для примусової орієнтації волокон. Порівняльний аналіз показав, що зразки, виготовлені за цією технологією, мають на 5–12% вищу міцність на розтяг при згині, ніж аналоги з лопатевого змішувача. Це свідчить про ефективність забезпечення паралельної орієнтації фібри для конструкцій, що працюють на згин.

Технологічний процес включав механізоване приготування однорідної суміші з подальшим ручним укладанням у попередньо очищені та змащені форми. Ущільнення здійснювалося на вібростолі до моменту виділення цементного молока на поверхні (див. табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Склад фібробетонної суміші

Компонент суміші на 1 м^3	Склад 1	Межа міцності при стиску, МПа	Межа міцності при згині, МПа	Склад 2	Межа міцності при стиску, МПа	Межа міцності при згині, МПа
ВНВ-70	280	86,2	24,2	290	94,8	25,8
Відсів КВП	860	860	-	-	-	-
Пісок	540	540	-	-	-	-
С-3	1,6	1,7	-	-	-	-
Фібра	60	65	-	-	-	-
Вода	140	160	-	-	-	-

Визначення фізико-механічних характеристик (міцності на стиск, розтягу при згині та модуля пружності) проводилося на універсальній випробувальній машині УММ-10 у віці 28 діб згідно зі стандартною методикою.

Розроблена рецептура сталефібробетону (СФБ), що базується на використанні в'яжучого низького водопотребування (ВНВ-70) та відсівів дроблення кварцитопісковика, продемонструвала високу ефективність. Отриманий композит характеризується границею міцності на стиск 94,8 МПа та міцністю на розтяг при згині 25,8 МПа. Останній показник перевищує характеристики прототипу на 25%.

Зразкам СФБ характерні високі показники названих вище властивостей. Вони можуть знайти значне застосування при виготовленні СФБ виробів абсолютно різного асортименту.

Трудозатрати ($Т_р$) обчислюються за формулою (3.2):

$$Т_р = \frac{Н_ч * V * К_n}{t_{зм.}} = \frac{0{,}62 * 873{,}6 * 1{,}18}{8} = 79{,}89 \text{ люд/год}, \quad (3.2)$$

де:

- $Н_ч$ – норма часу, люд/год або маш/год;
- V – об'єм робіт;
- $t_{зм.}$=8 год – тривалість зміни.

Тривалість робіт ($Т_{зм.}$) обчислюємо за представленою нижче формулою (3.3):

$$Т_{зм} = \frac{Н_ч * V * К_n}{R * t_{зм.} * n} = \frac{0{,}62 * 873{,}6 * 1{,}18}{2 * 8 * 4} = 9{,}98 \text{ зм}, \quad (3.3)$$

- R – кількісний склад ланки;
- n – кількість ланок.

З огляду на те, що технологічний процес передбачає монтаж як горизонтальних (сітки), так і вертикальних (каркаси) арматурних елементів,

розрахунок параметрів будівництва виконується диференційовано. Необхідно визначити тривалість виконання робіт та нормативну трудомісткість окремо для кожної групи виробів, а також обчислити сумарні показники трудовитрат.

$$Т_{г.к.} = \frac{Н_ч * V * К_n}{t_{зм.}} = \frac{0,42*70*1,18}{8} = 4,34 \text{ маш./год} \quad (3.4)$$

$$Т_{в.к.} = \frac{Н_ч * V * К_n}{t_{зм.}} = \frac{0,79*140*1,18}{8} = 16,3 \text{ маш./год} \quad (3.5)$$

$$Т_{зм.г.} = \frac{Н_ч * V * К_n}{R * t_{зм.} * n} = \frac{0,42*70*1,18}{2*8*2} = 1,08 \text{ зм}, \quad (3.6)$$

$$Т_{зм.в.} = \frac{Н_ч * V * К_n}{R * t_{зм.} * n} = \frac{0,79*140*1,18}{2*8*2} = 4,07 \text{ зм}, \quad (3.7)$$

$$Т_{зм.} = (1,08+4,07) / 2 = 5,15 \text{ зм}, \quad (3.8)$$

Об'єм робіт з укладання бетонної суміші автобетононасосом:

$$Т_р = \frac{Н_ч * V * К_n}{t_{зм.}} = \frac{0,34*219,1*1,18}{8} = 10,2 \text{ люд/год}, \quad (3.9)$$

$$Т_{зм} = \frac{Н_ч * V * К_n}{R * t_{зм.} * n} = \frac{0,34*219,1*1,18}{1*8*4} = 1,37 \text{ зм}, \quad (3.10)$$

Об'єм робіт із покриття бетонної поверхні утеплювачем:

$$Т_р = \frac{Н_ч * V * К_n}{t_{зм.}} = \frac{0,21*35,36*1,18}{8} = 1,1 \text{ люд/год}, \quad (3.11)$$

$$Т_{зм} = \frac{Н_ч * V * К_n}{R * t_{зм.} * n} = \frac{0,21*23,36*1,18}{1*8*2} = 0,55 \text{ зм}, \quad (3.12)$$

Об'єм робіт зі зняття з бетонної поверхні утеплювача:

$$Т_р = \frac{Н_ч * V * К_n}{t_{зм.}} = \frac{0,22 * 35,36 * 1,18}{8} = 1,45 \text{ люд/год}, \quad (3.13)$$

$$Т_{зм} = \frac{Н_ч * V * К_n}{R * t_{зм.} * n} = \frac{0,22 * 23,36 * 1,18}{1 * 8 * 2} = 0,57 \text{ зм}, \quad (3.14)$$

Об'єм робіт з розбирання дерев'яної опалубки :

$$Т_р = \frac{Н_ч * V * К_n}{t_{зм.}} = \frac{0,15 * 873,6 * 1,18}{8} = 19,3 \text{ люд/год}, \quad (3.15)$$

$$Т_{зм} = \frac{Н_ч * V * К_n}{R * t_{зм.} * n} = \frac{0,15 * 873,6 * 1,18}{2 * 8 * 4} = 2,4 \text{ зм}, \quad (3.16)$$

3.3 Техніко-економічна ефективність технології влаштування покриттів з підвищеною зносостійкістю

Для проведення порівняння технічних, а також економічних показників різних видів конструкцій підлог промислових будівель з підвищеною зносостійкістю ми виконали наведені нижче розрахунки. При цих розрахунках були особливо відзначені описані далі властивості застосованих матеріалів як конструкції плити, так і використаної в роботі підстилаючої основи:

- бетон плити – важкий бетон класу С20/25 (E_b=30000МПа, R_b=14,5МПа, R_{bt}=1,05МПа);
- фіброве армування – сталева дротяна фібра ТМ FIBER;
- стрижнева арматура – періодичного профілю класу А400 (E_s=30000МПа, R_s=355МПа);
- ґрунтова основа – піски середньої крупності, щільні.

Розрахункове моделювання виконано відповідно до вимог ДСТУ 9262:2023 [44], що передбачає використання моделі місцевих пружних деформацій модель Вінклера. Як характеристику жорсткості основи прийнято коефіцієнт постелі (K_0). Згідно з рекомендаціями [3], для піщаних ґрунтів середньої крупності за відсутності ґрунтових вод його значення становить К0

=65 МН/м³.

Для всіх варіантів конструкцій розрахункове зосереджене навантаження прийнято рівним P_p=100 кН. Навантаження розподіляється рівномірно по прямокутному сліду плямі контакту розміром 0,1×0,1 м, що є типовим показником для більшості промислових об'єктів. У розрахунках враховано коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f=1,2. Коефіцієнт умов роботи (γ_c) з метою спрощення прийнято рівним 1,0. Вплив суміжних (сусідніх) навантажень у даній постановці задачі не враховувався [4].

Відповідно до нормативної документації України щодо конструкцій бетонних підлог, перевага сталевих волокон полягає не тільки у високих фізико-механічних характеристиках, а й у технології виготовлення виробів. Процес перемішування відбувається на будівельних майданчиках у бетонозмішувачах, це скорочує час виготовлення практично вдвічі та сприяє зниженню матеріаломісткості й зменшенню ваги будівель і споруд [3]. Однак при використанні сталефібробетонів не досягається головна мета – економія такого матеріалу, як метал, у конструкціях.

Проведено дослідження щодо впливу металевої фібри на властивості дрібнозернистого бетону на основі відходів дроблення карбонатних порід. Цими дослідженнями була підтверджена перспективність використання металевої фібри як дисперсно-армованого дрібнозернистого бетону на основі відходів дроблення карбонатних порід.

На відміну від класичних промислових підлог, підлоги зі сталефібробетону мають ряд переваг:

- тріщиностійкість, перешкоджає утворенню тріщин;
- стійкість до корозійного впливу;
- економія часу, оскільки установка металевого стрижневого каркаса є більш трудомістким і витратним за часом процесом;
- можливість виробництва цілісних безшовних бетонних конструкцій.

При використанні сталевої фібри в дозуванні 40 кг на 1 м^3 бетону і товщині бетонної плити 150 мм шви повинні нарізатися з розміром кроку 30×30 м.

Бетонні підлоги, армовані сталевою фіброю, є міцнішими. Також вони обходяться значно дешевше, ніж традиційні, армовані металевими стрижнями. Промислові підлоги з використанням сталефібробетону мають лише позитивні властивості та переважні характеристики.

Так, застосування сталефібробетону при влаштуванні двошарових підлог промислових будівель з підвищеною зносостійкістю виявилося економічно ефективним.

Таким чином, нами було проведено порівняльний аналіз різних варіантів конструкцій підлоги, який показав, що економічно вигідним і ефективним при влаштуванні підлог у промислових (виробничо-складських) будівлях є використання сталефібробетону. Якщо порівнювати з бетонними та залізобетонними плитами підлоги, то в результаті наших розрахунків з'ясувалося, що застосування сталефібробетону дозволяє заощадити бетон на 38% та 11% відповідно. Якщо порівнювати з використанням традиційної залізобетонної конструкції, то виявляється, що СФБ економить сталь на 70%.

Щодо трудовитрат, ми також маємо позитивні результати: їх економія становила 60% порівняно із залізобетонною конструкцією та 25% порівняно з бетонною конструкцією.

Результати техніко-економічного аналізу свідчать, що використання сталефібробетону (СФБ) у конструкціях двошарових промислових підлог із підвищеною зносостійкістю забезпечує зниження собівартості робіт на 19% порівняно з бетонними аналогами та на 34% — порівняно із залізобетонними. Крім прямої фінансової вигоди, ключовою перевагою технології є суттєве прискорення темпів будівництва. Враховуючи значні обсяги зведення промислових об'єктів в Україні, широке впровадження СФБ дозволить досягти багатомільйонного економічного ефекту на національному рівні.

3.4 Висновки до розділу 3

1.За результатами математичного планування експерименту визначено

оптимальний склад дрібнозернистого сталефібробетону для отримання класу міцності С32/40 на рядовому цементі. Найвагомішим фактором впливу є дозування суперпластифікатора С-3 (оптимум 2,1%), другим — вміст сталевої фібри (обмеження до 4%), а третім — вміст золи-винесення (оптимум 11%).

2. Розроблена суміш базується на використанні в'яжучого низького водопотребування (ВНВ-70) та промислових відходів (відсів дроблення кварцитопісковика), що забезпечує високу адгезію завдяки розвиненій поверхні зерен. Застосування бігункового змішувача та орієнтації фібри дозволило підвищити міцність на згин на 5–12% порівняно з традиційними методами.

3. Отриманий сталефібробетон демонструє високі експлуатаційні показники: міцність на стиск досягає 94,8 МПа, а на згин — 25,8 МПа (що на 25% вище за прототип). Конструкції підлог з цього матеріалу відрізняються підвищеною зносостійкістю, тріщиностійкістю, ударостійкістю та відсутністю пилоутворення.

4. Заміна традиційного залізобетону на запропонований сталефібробетон при влаштуванні промислових підлог забезпечує зниження собівартості на 34%, економію сталі на 70% та скорочення трудовитрат на 60%. Крім того, технологія дозволяє пришвидшити будівництво завдяки виключенню етапу в'язання арматурних каркасів та можливості бетонування великих площ без швів.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі висвітлено теоретичні засади проектування та влаштування підлог промислових будівель. Здійснено детальний аналіз експлуатаційних властивостей сталефібробетонних композицій. Окрему увагу приділено експериментальним дослідженням впливу різних типів сталевої фібри на фізико-механічні показники матеріалу, зокрема на границю міцності при стиску та опір стиранню.

2. Технологія виробництва фібробетону значною мірою залежить від таких факторів, як спосіб введення та перемішування, час перемішування, геометричні та деформативні характеристики волокон, які впливають на розподіл та орієнтацію волокон в об'ємі, і, отже, на фізико-механічні властивості фібробетону.

3. Дослідження варіантів влаштування підлог виробничо-складських комплексів продемонструвало, що найбільш ефективним та економічно вигідним рішенням є використання сталефібробетону. Ключовою перевагою є зниження матеріаломісткості: економія бетонної суміші становить 38% у порівнянні з бетонними покриттями та 11% у порівнянні із залізобетонними аналогами.

4.Якщо проводити порівняння з використанням традиційної залізобетонної конструкції, то виявляється, що СФБ економить сталь на 70%. Щодо трудовитрат ми також маємо позитивні результати: їх економія склала 60% порівняно із залізобетонною конструкцією та 25% порівняно з бетонною конструкцією.

5. Підтверджено позитивний вплив дисперсного армування на міцність та стиранність бетону. Значне зниження стиранності спостерігається при введенні в сталефібробетонну суміш дротяної фібри. Вміст такої фібри призводить до підвищення характеристик міцності та зниження стиранності порівняно зі зразками з іншими видами фібр. Отримані результати дозволяють віднести сталефібробетон із дротяною фіброю до марки за стиранністю G1 та

рекомендувати його для конструкцій, що працюють в умовах підвищеної інтенсивності руху та стираючого впливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кров’яков С. О., Крижановський В. О., Заволока Д. Ю., Єлкін А. В. Порівняння властивостей фібробетонів для промислових підлог і дорожніх покриттів зі сталевою та поліпропіленовою фіброю. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2022. № 87. С. 76–84. DOI: 10.31650/2415-377X-2022-87-76-84.

2. Павліков А. М., Бойко О. В. Міцність та деформативність сталефібробетону при осьовому стиску. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2018. Т. 1, № 50. С. 88–95.

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

4. Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М. Досвід застосування фібробетону у будівництві. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія : Транспортні системи і технології*. 2014. Вип. 24. С. 5–10.

5. Кров’яков С. О. Підвищення довговічності промислових підлог. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.* 2018. Вип. 70. С. 115–120.

6. Савйовський В. В. Реконструкція будівель та споруд: навчальний посібник. Київ: Ліра-К, 2018. 320 с.

7. Кононенко М. В. Організаційно-технологічні рішення улаштування високоміцних бетонних підлог промислових та цивільних будівель : кваліфікаційна робота магістра : 192 «Будівництво та цивільна інженерія» / наук. керівник Р. В. Самченко. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 139 с.

8. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Будівельне матеріалознавство : підручник. Київ : Кондор, 2018. 480 с.

9. Дворкін Л. Й., Житковський В. В. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони : монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 331 с.

10. Скорук О. Дослідження роботи фібробетону в конструкціях при

динамічних впливах. *Сучасне промислове та цивільне будівництво*. 2022. № 11. С. 44–52. DOI: https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.44-52.

11. ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016. Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону. [Чинний від 2017–04–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 56 с. (Національний стандарт України).

12. Кузнєцова І. Міцність фібробетонних елементів при місцевому стисненні // Findings of modern engineering research and developments : Scientific monograph. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2022. P. 214–232. URL: https://doi.org/10.30525/978-9934-26-207-4-8.

13. Постернак О. М. Забезпечення надійності при проектуванні підсилених згинальних залізобетонних конструкцій фібробетоном. *Містобудування та територіальне планування*. 2012. Вип. 46. С. 461–464.

14. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони : монографія / Л. Й. Дворкін, Є. М. Бабич, В. В. Житковський, О. М. Бордюженко [та ін.]. Рівне : НУВГП, 2017. 331 с.

15. Пушкарьова К. К., Каверин К. О. Особливості структуроутворення модифікованих фібробетонів. *Будівельні матеріали та вироби*. 2018. № 1. С. 24–29.

16. Кінаш Р., Білозір В., Біденко І. Деформативність і міцність дрібнозернистого сталефібробетону за осьового розтягу. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 20. 2023. С. 45-62.

17. Бліхарський З.Я., Стащук М.Г., Малик О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження корозійних руйнувань залізобетонних балок в агресивному середовищі. Вісник Одеської акад. б-ва та арх.-ри. Одеса. ОДАБА, 2003. №10. С. 22–29.

18. Андреєв І. А. Процес віброекструзії фібробетону. Київ, 2016. 194 с

19. . Перспективи використання високоміцних фібробетонів як основи формування захисних укриттів та фортифікаційних споруд під час російсько-української війни / С. Королько, М. Саницький, Т. Кропивницька, А. Дзюба, Ю.Шабатура. Військово-технічний збірник. 28. 2023. С. 25-33.

20. Солодкий С. Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах: Монографія. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2008. 144 с.

21. Модифікатори нової генерації для бетонів / М.А. Саницький і ін. Будівельні матеріали та вироби. 2006. №1(36). С. 5-7.

22. Нове в проектуванні залізобетонних та сталезалізобетонних конструкций / А. М. Бамбура, О. Б. Гурківський, Ю. Г. Аметов [та ін.] // Будівельні конструкції : зб. наук. праць / Київ. Держ. підприємство «Держ. наук.-досл. ін.-тут буд. конструкцій» ; гол. ред. П. І. Кривошеєв. Київ : ДНДІБК, 2013. Вип. 78: кн. 1. С. 3 – 13.

23. Кочкарьов Д. В. Експериментальні дослідження несучої здатності та деформативності сталефібробетонних балок / Д. В. Кочкарьов, Т. В. Галіброда // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. — 2019. — Вип. 185. — С. 34–43.

24. Дорофєєв В. С. Підвищення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій використанням фібрового армування / В. С. Дорофєєв, В. М. Карпюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2015. № 2. С. 45–51.

25. Бліхарський З.Я. Напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій в агресивному середовищі при дії навантаження: Автореф. дис... д-ра.техн. наук: 05.23.01/ Київ: КНУБА, 2005. 37 с.

26. Бабич Є. М. Конструкції з сталефібробетону: основи теорії і проектування : навч. посіб. / Є. М. Бабич, В. О. Поліщук. Рівне : НУВГП, 2016. 286 с.

27. Семко О. В. Сталефібробетонні конструкції в цивільному будівництві: особливості розрахунку та конструювання / О. В. Семко, О. П. Воскобійник // Науковий вісник будівництва. 2019. Т. 96, № 2. С. 112–118.

28. ДСТУ-Н Б В.2.6-205:2015. Настанова з проектування сталефібробетонних конструкцій. — [Чинний від 2016-07-01]. — Київ : Мінрегіон України, 2016. — 63 с. — (Національний стандарт України).

29. Рунова Р. Ф., Носовський Ю. Л., Дворкін Л. Й. В’яжучі речовини та бетони на їх основі : підручник. Київ : КНУБА, 2018. 420 с.

30. Ватуля Г. Л. Ефективність застосування сталефібробетону в прогонових будовах мостів / Г. Л. Ватуля, Є. В. Орельська // Мости та тунелі: теорія і практика. — 2017. — № 11. — С. 22–29.

31. Кияшко В.Т. Фібра для армування залізобетонних будівельних виробів. Журнал цивільного виробництва. 2012. № 8. С. 61-66.

32. Житковський В. В. Вплив характеристик сталевої фібри на фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону / В. В. Житковський // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. — 2018. — Вип. 36. — С. 98–105.

33. Троян В. В. Моделювання тріщиностійкості бетону масивних монолітних конструкцій. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 53. 2014. С. 375-379.

34. Барабаш І. В., Даниленко А. В. Вплив базальтової фібри на міцність цементного каменю. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2017. С. 163-167.

35. Толмачов С. М., Рідкозубов О. О., Захаров Д. С. Проблеми підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 4. 2015. С. 219-225.

36. Солодкий С. Й., Турба Ю. В. Підвищення тріщиностійкості дисперсно- армованих поліпропіленовою фіброю бетонів технологічними чинниками. Вісник ОДАБА. 2017. Вип. 66. С. 99-105.

37. Пугач О. П. Особливості роботи та розрахунку сталефібробетонних конструкцій в умовах складного деформування / О. П. Пугач // Містобудування та територіальне планування. 2018. Вип. 67. С. 456–462.

38. Бабич Є. М. Розрахунок міцності нормальних перерізів сталефібробетонних згинальних елементів / Є. М. Бабич, В. О. Поліщук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2017. Вип. 3 (79). С. 152–159.

39. Ємельянова І. А., Шевченко В. Ю., Коротков Ю. Ю. Технологічні комплекти обладнання для приготування фібробетонних сумішей. *Теорія і практика будівництва*. 2013. № 12. С. 41–44.

40. Високофункціональні бетони на основі модифікаторів нової генерації / М.А. Саницький, О.О. Позняк, І.І. Кіракевич, Б.Г. Русин. Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. Львів. 2008. № 627. С.191-197.

41. Вплив органо-мінеральних добавок на властивості високоміцних бетонів / С.Й. Солодкий, Т.Є. Марків, О.М. Гуняк, Б.А. Гостинецький. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Харків. ХНУСА. 2015. С. 29-34.

42. Лучко Й. Й., Коваль П. М., Дем’ян М. Л. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів і конструкцій. Львів : Каменяр, 2001. 436 с.

43. ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2001, NEQ). Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 28 с.

44. ДСТУ 9262:2023. Настанова з контролю якості влаштування підлог. [Чинний від 2024-06-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024. (Національний стандарт України).

45. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Настанова з проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій. [Чинний від 2010-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 48 с. (Національний стандарт України).

46. Андреєв І. А. Особливості процесу ламінарного конвективного змішування при віброекструзії фібробетону у конічному каналі / І. А. Андреєв, В. М. Столінець // Керамика. 2009. № 2 (4). С. 4–10.

47. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини. Підручник. Київ: ТОВ УВПК “Ексоб”, 2003. 472 с.

48. ДСТУ EN 14889-1:2022. Фібра для бетону. Частина 1. Фібра сталева. Визначення, вимоги та оцінка відповідності (EN 14889-1:2006, IDT).

[Чинний від 2024-08-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 30 с.

49. Фібра поліпропіленова KONTUR V18. Контур: офіційний сайт. Київ, 2025. URL: https://kontur.ua/ua/product/fibra-polipropilenovaya-kontur-v18/ (дата звернення: 30.09.2025).

50. Hackman, L. E. Application of Steel Fiber to Refractory Reinforcement Proceedings // Symposium on Fibrous Concrete (Ci80, London, 2016), The Construction Press, Lancaster. - London, 2016. - P. 17 - 152.

51. Henager, C. H. Steel Fibrous Concrete // Symposium on Fibrous Concrete (Ci80, London, 1980), The Construction Press, Lancaster. - London, 2015. - P. 16 - 98.

52. Houghton, D. L. Cavitations Resistance of Some Special Concretes [Text]/ D. L. Houghton, O. E. Borge, J. H. Paxton // ACI Journal, Proceedings. - 2018. - Vol. 75, № 12. - P. 44 - 167.

53. Gaber, R. Vorgespannte Fasern im Beton [Text]/ R. Gaber, Klink Th. // Betonwerk + Fertigteil - Tehnik. - 2015. - № 11. - S. 40 - 96.

54. Johnston, C. D. Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete / C. D. Johnston // Symposium on Fibrous Concrete (Ci80, London, 2016), The Construction Press, Lancaster. - London, 2016. - P. 29 - 107.

55. Johnston, Colin D. Steel fibre - reinforced concrete-present and future in engineering construction // Composits. - 2015. - Vol. 13, № 2. - P. 13 - 121.

56. Kobayashi, K. Mechanics of Concrete with Randomly Oriented Short Steel Fibres / K. Kobayashi, R. Cho // Proceedings of the 2nd International Conference on the Mechanical Behaviour of Materials. - Boston, 2016. - P. 28 - 142.

57. Гребенюк О.В., Ковш М.В. Теоретичні аспекти дослідження покриттів підлог промислових будівель – тези доповіді на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025». Запорізький національний університет. Запоріжжя: ЗНУ, 2025. Т.5. С. 22–23.

Додаток А

Порівняльний аналіз витрат матеріалів

Таблиця А.1 – Порівняльний аналіз витрат матеріалів на зведення монолітних підлог (100 м²)

Тип конструкції	h, м	Витрати матеріалів						Усього витрати матеріалів, грн
		Бетон			Сталь			
		Витрата, м³	Вартість, грн/м³	Вартість усього, грн	Витрата, т	Вартість, грн/т	Вартість усього, грн	
Бетонна плита	0,26	26,52	3300	87516	-	-	-	87516
СФБ-плита	0,16	16,32	3300	53856	0,48	60000	28800	82656
Відхилення	-0,1	-10,2		-33660	-0,48		+28800	-4860
Відхилення, %	-38	-38		-38			-100	-5,5
Залізобетонна плита	0,18	18,36	3300	60588	1,65	35000	57750	118338
СФБ-плита	0,16	16,32	3300	53856	0,48	60000	28000	82656
Відхилення	-0,02	-2,04		-6732	-1,17	-	-28950	-35682
Відхилення, %	-11	-11		-11	-70	+71	-50	-30