

**УДК 624.01**

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ**

### **THE PERSPECTIVES OF USE STEEL FIBRE CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION**

**Дробишинець С.Я., к.т.н., доцент, Киричук М.В., аспірант  
(Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**Drobyshynets S. Y., Ph.D., docent, Kirichuk M.V., postgraduate  
student (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

У статті описано застосування сталеві фібри для покращення експлуатаційних властивостей бетону. Наведено переваги фібробетону над звичайним бетоном. Докладно описано галузі застосування сталеві фібробетону в дорожньому будівництві. Описано досвід застосування жорстких дорожніх одягів в країнах Європи, США та Японії. Проаналізовано доцільність більш широкого застосування сталеві фібробетону при будівництві автомобільних доріг та аеродромних смуг.

In the article describes the use of steel fiber to improve the performance properties of concrete. An advantage over conventional fiber-reinforced concrete with concrete. Describes in detail the application of steel fiber concrete for road construction. The experience of the application of rigid pavements in the countries of Europe, USA and Japan. Analyzed the feasibility of wider use the steel fiber concrete in the construction of highways and airport bars.

Great use of steel fiber concrete found in the construction of highways and airport paving because of high load on them. Steel fiber improves impact strength concrete makes it suitable material for structures exposed to dynamic loads.

Ключові слова: сталеві фібробетон, фібра, фізико-механічні характеристики, дорожнє будівництво.

Keywords: steel fiber concrete, fiber, the physical and mechanical characteristics, road construction.

Основним показником розвитку держави є стан автомобільно-дорожньої галузі. Адже наявність розвинутої транспортної інфраструктури для України дало б можливість мати великі надходження до бюджету тільки за рахунок транзитного транспорту.

Всі колишні програми будівництва доріг в Україні, були складені з розрахунком на наявні гроші. У програмі модернізації немає розбивки по роках, обсягами та інвестицій в реконструкцію, в підпрограмі взагалі немає питань технічної політики.

Вся стратегія дорожнього будівництва полягає в тому, щоб утримати дорожню мережу від колапсу. Ні в одному документі планування будівництва доріг не йдеться про впровадження будь-яких нових технічних рішень. Ставку автоматично пропонується робити на асфальт - вкрай недосконалу технологію, особливо в кліматичних умовах нашої країни. Асфальт є нежорстким покриттям з низькою морозостійкістю, погано реагує на спеку, страждає яскраво вираженою колійністю, працює всього від двох до п'яти років, особливо в умовах наростання максимальних навантажень на задню вісь вантажівок і фур, фактично вони вже доходять до 12 тонн, і значного зростання числа автомобілів. При таких навантаженнях дороги з «асфальту на щебені» просідають, виходячи з ладу набагато раніше будь-яких гарантійних термінів.

Вихід з ситуації, що склалася вітчизняні вчені бачать в будівництві доріг з бетонною основою: «Бетонні дороги довговічніші за асфальтобетонні в п'ять-шість разів. При використанні бетону надмічних марок термін служби доріг може досягати 50 років і більше, з часом цей матеріал стає тільки міцнішим.

За статистикою в Європі і США частка цементобетонних доріг доходить до 30-40%, в дійсності ж показники використання бетону в цих країнах, де клімат значно м'якший, в два рази вищий.

Практично всі дороги будуються там з бетонною основою, на яку нанесений тонкий шар асфальту. Таке нескладне інженерне рішення, власне, і називається асфальтобетоном. У той час як в Україні цей термін застосовується щодо традиційного асфальтового покриття, де сполучною речовиною виступає бітум, а не цемент.

Це при будівництві нових автодоріг. Але в нас автодороги з «асфальтом на щебені» складають 99%. І якщо щорічно не вкладати

гігантські суми для підтримки їх в робочому стані, то через кілька років колапс дорожньої мережі неминучий.

### **Сталефібробетон за кордоном і в Україні.**

Але вихід є, і він підказаний світовою практикою. Одним з перспективних напрямків стратегії розвитку конструкцій жорстких дорожніх одягів є безперервне дисперсне армування монолітних цементобетонних покриттів і основ. Перші невеликі ділянки доріг з безперервно дисперсно-армованими бетонними покриттями були побудовані в США (штат Індіана) в 1938 році. За наступні двадцять років, до 1953 року, в США в дослідному порядку було побудовано 55 км безперервно армованих покриттів, а з 1959 року почалося їх масове будівництво. До 1966 року загальна довжина покриттів цього типу становила 3630 км, в 1968 році - 8000 км, в 1971 році - 16 000 км і до 1975 року досягла 35000 км. Починаючи з 1960 років безперервно армовані покриття застосовуються також в Англії, Німеччині, Швеції, Швейцарії, Австралії та інших країнах.

У США і Англії великого поширення набули безперервно дисперсно-армовані основи асфальтобетонного покриття. У більшості випадків безперервно дисперсно-армовані покриття застосовуються також в якості посилення існуючих дорожніх одягів. При цьому виділяють наступні три різновиди конструкцій посилення асфальтобетонних покриттів: товсті бетонні шари товщиною понад 15 см, тонкі шари товщиною від 10 до 15 см і ультратонкі шари товщиною 5-10 см. Ультратонким шарам приділяється найбільша увага.

Перші експерименти з ультратонкими бетонними шарами були розпочаті в США на початку 1990 років і потім дослідні роботи були виконані в Мексиці, Канаді, Швеції, Франції, Англії, Австралії та Бразилії. В результаті ці конструкції були рекомендовані для відновлення й ремонту асфальтобетонних покриттів на дорогах з важким рухом, де спостерігається інтенсивне колієутворення.

Для нашої країни це оптимальний вихід із ситуації. У випадку коли 99% автодоріг - це «асфальт на щепені», можна за рахунок застосування супертонких безперервно дисперсно-армованих шарів без великих витрат перетворити їх в дороги з жорсткою сталефібробетонною основою. Це підвищить їх категорійність (в залежності від товщини супертонкого шару - від 5 до 10 см), усуне питання колієутворення за рахунок застосування мінімально

допустимих шарів асфальту або ЩМА з подальшим зниженням в рази витрати на експлуатацію.

Сталефібробетон - це будівельний матеріал, що складається з бетону (матриця) і сталеві фібри (армуючі волокна). В результаті рівномірного хаотичного введення сталеві фібри в бетонну матрицю сталефібробетон набуває нових властивостей, істотно відрізняють його як від бетону, так і від залізобетону. Основна конструктивна ідея сталефібробетону полягає в тому, що хаотично розташовані сталеві волокна є новим видом армування для структури бетону на етапі до утворення тріщини і на етапі роботи матеріалу з тріщинами, тим самим набуваючи нові конструктивні властивості. Так, у разі відсутності сталеві фібри в бетоні мікротріщини по мірі їх накопичення перетворюються на макротріщини і приводять до руйнування бетону або втрати таких властивостей, як водонепроникність морозостійкість, стійкість до агресивних впливів і т.д. Армування бетону сталевими фібрами значно збільшує жорсткість бетонної матриці, підвищуючи міцність на розтяг. У результаті в сталефібробетоні з'являються тріщини при значно більших навантаженнях і мають дуже маленьку ширину розкриття, ніж у звичайному залізобетоні. Такий матеріал в стадії експлуатації працює з обмеженим розкриттям тріщин і при цьому має досить високу міцність на розтяг.

Сталефібробетон завдяки введенню в його структуру сталеві фібри, має підвищену міцність на розтяг, а також більш низькі значення деформації усадки і повзучості порівняно з бетоном.

Таким чином, даний матеріал володіє набором унікальних властивостей:

- високою граничною розтяжністю і роботою без тріщин або з малою шириною їх розкриття у стадії експлуатації;
- високою водонепроникністю;
- високою корозійною стійкістю і довговічністю;
- підвищеною міцністю на розтяг;
- підвищеним модулем пружності;
- високою питомою енергією руйнування - в 20-40 разів більшою, ніж у бетону, в тому числі при дії ударів та інших динамічних і сейсмічних навантажень;
- високою термостійкістю, включаючи вогнестійкість;
- хорошим опором стиранню;

- пониженими деформаціями повзучості і усадки в порівнянні з бетоном.

Сталефібробетон – це майбутнє дорожнього будівництва. Бетонне покриття дорожче асфальту в 2 рази, тому кругом транспортні магістралі будують з асфальту. Однак якщо поглянути на вартість будівництва і утримання доріг, врахувавши всі можливі витрати, то економічна вигода заміни асфальтового покриття бетонною наявна. Так, при повному дотриманні технології укладання, перший ремонт асфальту необхідний вже через 3 роки після здачі дороги в експлуатацію. Заливка тріщин, засипка і заливка ям - не повний перелік робіт. У той час як бетонна дорога не потребує косметичного ремонту перші 10 років експлуатації. Приблизно через 7-8 років вартість будівництва і утримання асфальту і бетону зрівнюється, а пізніше бетонна дорога стає дешевшою, так як термін її експлуатації понад півстоліття.

Зекономлені від застосування сталефібробетону кошти можна направити на будівництво нових автодоріг зі сталефібробетонною основою (потрібно шар 11-13 см товщини СФБ замість 22-24 см традиційного армованого бетону для автодоріг 1 і категорії). Це шанс без будь-якого значного збільшення фінансування отримати довговічні дороги.

«Сьогодні продавати сталефібробетон неймовірно важко, а повинно бути легко», - говорить Майкл Плей, який працює директором з маркетингу в компанії Commercial Metals, США, що виробляє сталеві волокна для фібробетону.

Майкл Плей довгий час працював в інституті залізобетонних виробів м Шаумбурга (штат Іллінойс), який є лідером з використання і популяризації фібробетонних покриттів у США. Він стверджує, що дороги в Техасі та Іллінойсі є, напевно, найкращою рекламою сталефібробетону (рис.1), а також служать майданчиком для вивчення його переваг і недоліків.

Дорожні покриття зі сталефібробетону більш рівні й довговічні в порівнянні з традиційними, бетонними. Армування сталевим фіброю забезпечує надійне зчеплення покриття навіть при створенні та розвитку мікротріщин через зсув основи, температурних факторів (заморожування-відтавання) і інших негативних впливів. Такі мікротріщини виключають необхідність створення пропиляних швів (як в традиційному бетоні), роблячи таке дорожнє покриття більш рівним і гладким.



Рис.1 Влаштування покриття із сталевібробетону.

Використання фібробетону дозволяє не тільки отримати більш рівні дорожні покриття, але і істотно продовжити термін їх служби (до 30-40 років). Дорожній одяг, в яких використовується фібробетон, рідше вимагає ремонту і перекладки, що дозволяє економити значні кошти і окупити початкові капіталовкладення. При укладанні таких покриттів не потрібно спеціального устаткування, а Інститутом залізобетонних покриттів - лідером серед дослідницьких установ штатів Іллінойс і Техас - проведені всі необхідні випробування і складена методика розрахунків.

У штаті Іллінойс сталевібробетон використовується з 50-х років двадцятого століття; одним з найбільш вдалих і показових прикладів його застосування служить реалізований проект вартістю 1 млн. доларів з реконструкції автодороги Dan Ryan Expressway на магістралі I-90/94. Дослідження Університету Іллінойсу дали поштовх до більш широкого використання цього матеріалу на великих дорогах в районі м Чикаго і м Іст-Сент-Луїс та в інших містах США.

Раніше покриття багатьох з цих доріг зношувалися і руйнувалися, не прослуживши і розрахункового терміну в 20 років. Пізніше науковці виявили, що недостатнє використання армування істотно знижує термін служби дорожніх покриттів. Наприклад, в

70-х роках минулого століття - під час стрімкого зростання цін на сталь - були побудовані кілька доріг з використання армованого бетону. Однак підрядники, намагаючись заощадити, знижували вміст сталеві арматури в бетоні нижче рекомендованого значення (0,6% сталі в бетоні товщиною 18 см). Сьогодні цей параметр встановлений на рівні 0,8%.

Згодом інженери навчилися уникати таких помилок. Наприклад, дослідження, проведене в Техасі, показало, що бетон, що укладається при температурі навколишнього повітря нижче 80 градусів за Фаренгейтом, більш міцний і менше схильний до руйнування, тому в даний час укладання бетону в спекотні дні зведені до мінімуму.

В Японії пішли ще далі, побудувавши з сталеві фібробетону національне шосе. Відмінна риса технології - укладання 30-метрових ділянок покриття без усадочних швів. У різних країнах досить успішно застосовують дисперсне армування при будівництві доріг, використовуючи від 40 до 120 кг фібри на 1 м.куб. За словами науковців, дороги, побудовані з використанням сталеві фібри, витримують великі навантаження, зокрема транспорт загальною вагою понад 100 тонн, а трудовитрати на їх будівництво і утримання значно нижче.

На основі накопиченого вітчизняного і зарубіжного досвіду можна назвати раціональні області ефективного застосування сталеві фібробетону.

**споруди, які підлягають динамічним впливам:**

- майданчики для запуску ракет;
- дорожні, аеродромні і ракетодромні покриття;
- мостові конструкції;
- підлоги промислових будівель;
- берегоукріплювальні і фортифікаційні споруди; хвилерізи, вантажні покриття портових причалів;
- забивні палі;
- приміщення підвищеної надійності - комори зберігання цінностей (сейфові приміщення).

**ремонт транспортних споруд:**

- при посиленні цементобетонних і асфальтобетонних покриттів;

- для підсилення дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям на дорогах з важким рухом (поверх старого покриття пристрій СФБ одягу);
- в Челябінську розроблені збірні попередньо напружені сталеві фібробетонні плити для дорожнього і аеродромного будівництва типу ПАГ;
- в США СФБ використаний при влаштуванні стоянки техніки будівельного підрозділу західної дивізії військово-морського флоту.

#### **покриття прогонових будов мостів:**

- влаштування сталеві фібробетонного покриття настилів мостів дозволяє зменшити навантаження від власної ваги (у зв'язку зі зменшенням його товщини), запобігає виникненню деформації покриття.
- застосування волокон з нержавіючої сталі, дозволяє отримати матеріал з високою корозійною стійкістю. Розроблено матеріал двох різновидів: SIFCON (slurry infiltrated fiber concrete) і SIMCON (slurry infiltrated mat concrete).
- з SIFCON були виготовлені збірні плити товщиною 5,1 см, які використовувалися в аеропорту під шасі літаків БОІНГ-727.
- на металургійному заводі з СФБ SIFCON були виготовлені збірні плити для захисту підлоги від розплавленого металу товщиною 2,5 см;
- японські фахівці створили конструкцію проїжджої частини моста, що представляє собою сталеві силові елементи плити і силове покриття з СФБ. Таке рішення дозволило збільшити жорсткість плити, а коефіцієнт демпфірування даної конструкції збільшився на 50%, при зниженні місцевих деформацій.

#### **аеродромні покриття:**

- у СФБ покритті злітно-посадкової смуги аеродрому (США, штат Невада) при багаторазово повторюваного навантаження від великих військово-транспортних літаків типу С5а (12 коліс, по 13600 кг на колесо) перша видима тріщина з'явилася після 350 пробігів (в бетонному - через 40 пробігів). СФБ покриття було придатне до експлуатації і після 8735 пробігів.

Велике застосування сталеві фібробетон знайшов при будівництві автомобільних доріг та аеродромних покриттів через високі навантаження на них. Сталева фібра значно покращує ударну



міцність бетону робить його придатним матеріалом для конструкцій, схильних до динамічним навантажень.

Сталефібробетон сприймає навантаження за рахунок гнучкості. Такі покриття забезпечують економію палива для важких транспортних засобів в порівнянні з асфальтовими покриттями. Всі ці фактори дозволяють зробити висновки, що фібробетонні покриття є найбільш вигідним типом дорожнього покриття як з технічного боку так і з економічного. Проте, нинішня висока вартість волокон (фібр) в багатьох регіонах може не виправдати їх використання, незважаючи на зниження витрат за рахунок збільшення життєвого циклу і обслуговування. Для впровадження більш широкого застосування сталеві фібробетонних покриттів при будівництві автомобільних доріг та аеродромних смуг, необхідно розвивати альтернативні джерела виготовлення фібри.

1. Билозир В.В. Образование и раскрытие трещин в нормальных сечениях изгибаемых сталефибробетонных элементов на фибре из листа: Дис ... канд.Техн.наук: 05.23.01-М., 1991. - 164с.

2. Сунак О.П. Прочность, трещиностойкость и деформативность нормальных сечений изгибаемых комбинированно армированных сталефибробетонных элементов: Дис ... канд. техн. наук: 05.23.01.-Киев, 1986. - 175с.

3. Сунак О.П. Сталефібробетонні конструкції: Навч. посібн. - Луцьк: Media, 1999. - 158с.

4. Трамбовецкий Б.П. Бетон, армированный дисперсной арматурой // Бетон и железобетон. -1974. - №2. - с 40-42.

5. Бабич Є.М. Використання сталеві фібробетону для дорожньо-транспортних споруд / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. – К., КНУБА, 2014. Випуск № 54. – С. 33– 41.

6. Бабич Є.М. Застосування сталеві фібробетону в дорожньому будівництві / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук, С.О. Ужегов, І.В. Шаповал // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Науково-технічний збірник. – Луцьк, Луцький НТУ, 2015. Випуск № 4. – С. 3– 9.

7. Дробишинець С.Я. Дослідження впливу дисперсного мікроармування на фізико-механічні властивості бетону / С.Я. Дробишинець, М.В. Киричук // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Науково-технічний збірник. – Луцьк, Луцький НТУ, 2015. Випуск № 4. – С. 38 – 47.