

ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ ВІД ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА УРАЖЕННЯ

УДК: 666.972.16

С.В. Королько, І.М. Мартинюк, О.М. Стаднічук, І.В. Горчинський

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БАЗАЛЬТОВИХ ФІБРОБЕТОНІВ ДЛЯ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД

Проведено аналіз введення різних видів фібр для покращення експлуатаційних властивостей бетонів, необхідних для спорудження захисних конструкцій фортифікаційних споруд. Наведено основні переваги фібробетону над звичайним бетоном. Вивчено вплив сталевих, базальтових та поліпропіленових фібр на міцнісні характеристики бетону. Встановлено, що найбільш ефективними армуючими фібровими волокнами є базальтові волокна. Міцність на стиск, згин і розтяг фібробетону зростає відповідно з 84,6 до 121,8; з 8,6 до 14,8 та з 4,2 до 8,6 МПа. Однак, при цьому зростає жорсткість бетонної суміші, що негативно впливає на її ущільнення. Оптимальним є вміст базальтового волокна від 0,5 до 1,0% від маси цементу.

Ключові слова: базальтові волокна, поліпропіленові волокна, сталеві фібри, фібробетон, фізико-механічні властивості, фортифікаційні споруди

Постановка проблеми

Ще кілька років тому будівництву фортифікаційних споруд не приділялось достатньої уваги. Військове роззброєння після розпаду Радянського Союзу призвело до того, що проблеми військових відійшли на другий план. Однак події останніх років показали, що ні армія, ні суспільство не готові до воєнних дій. Тому одним із завдань, які стоять перед військовими, є підтримання в належному стані, відновлення і модернізація старих та спорудження нових захисних будівель, фортифікаційних споруд і бліндажів, які б відповідали сучасним вимогам щодо міцності, надійності та стійкості до ударних навантажень.

Воєнні дії, що тривають на Сході України, потребують нових конструктивних рішень, нових методів розрахунку, комп'ютерного моделювання та проектування фортифікаційних споруд, спеціальних об'єктів оболонкового типу з використанням сучасних будівельних матеріалів і технологій зведення таких споруд [1].

Одним із найбільш поширених і традиційних конструкційних матеріалів для оборонних, у тому числі і просторових, фортифікаційних споруд є залізобетон, який може витримувати значні ударні навантаження від куль і снарядів різної потужності [2]. Проте, за свідченнями учасників АТО, одним із негативних факторів під час обстрілів цих споруд артилерією та стрілецькою зброєю є поранення особового складу не лише кулями та осколками, що зрешетили конструкцію, а й уламками виколотого

бетону. Для усунення цього використовують багатопшарове покриття сховищ та споруд як зсередини, так і ззовні захисними матеріалами (сітками, щитами), які мають підвищену ударну стійкість [3]. Так, бетонна плита, що армована суцільним листом, а також плита, армована подвійною сіткою з поперечною арматурою і фіброю, зазнає менших ушкоджень. Використання суцільного металевих листа для армування плити супроводжується її розшаруванням вздовж металевих листа по обидва його боки. Це потребує значної металоємності плит, особливих конструктивних і технологічних рішень та ускладнює використання таких плит в умовах високошвидкісного удару.

Високоєфективним способом усунення проблем руйнування бетонних конструкцій та захисту особового складу від уламків виколотого бетону є використання модифікованих бетонів нового покоління, армованих волокнами та фіброю різної природи [4].

Одержання дисперсно-армованих бетонних сумішей підвищеної рухливості у густоармованих металоконструкціях із збереженням однорідності та відсутністю розшарування компонентів при укладанні та транспортуванні вимагає використання різних добавок, які б регулювали реологічні властивості бетонних сумішей, покращували їх фізико-механічні характеристики і довговічність. Поряд з традиційним армуванням бетону сталевими елементами більш ефективним є використання додаткових фіброволокон в поєднанні з сталевією арматурою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Залізобетон як конструктивний матеріал відрізняється від інших матеріалів характерними особливостями, які залежать від виду та рівня напружено-деформованого стану конструкції. Суттєва неоднорідність, анізотропія, нелінійність, тріщиноутворення та інші специфічні властивості залізобетону виявляються вже на ранній стадії формування структури. Із зростанням рівня навантаження виникає перерозподіл напружень з бетону на арматуру, зменшується інтегральна жорсткість перерізу та збільшується внутрішнє переміщення. При цьому змінюються внутрішні зусилля між окремими ділянками конструкції, що призводить до швидкої втрати суцільності та витривалості захисної конструкції [5]. Ці явища залежать не тільки від наявності тріщин, а й від їх орієнтації відносно напрямів армування, взаємного розташування, характеру розвитку і схем армування [2, 5].

Високі темпи будівництва вимагають розробки нових ефективних бетонів, до яких належить дисперсно-армований високоміцний фібробетон. До його складу крім цементу, піску, заповнювача, води та модифікуючих додатків вводять певну кількість волокон (фібри). Використовуються волокна з різних природних та штучних матеріалів: сталі, скла, азбесту, базальту, синтетичних волокон [4]. Дослідженням фібробетону та його впровадженням в будівельну галузь займалося багато вчених: Абольніш Д.С., Білозір В.В., Бодуен Д., Дорошенко Ю.М., Дробишинець С.Я., Гетун Г.В., Киричук М.В., Коваленко В.В., Крилов Б.О., Лазор'як Б.Й., Лисенко Є.Ф., Панарін С.М., Рамачадрана В., Сакварелідзе, Саницький М.А., Свемі Р.Н., Сергєєв В.П., Сунак О.П., Тхань Н.Г., Хананта Д.І. та інші.

Для фібробетону характерна висока міцність на розтяг та згин, ударна міцність, жароміцність, водонепроникність, тріщино-, пожежо- та морозостійкість, що забезпечує його високу техніко-економічну ефективність застосування в будівельних конструкціях [6, 7]. Так, у США Норвегії, Великобританії, Франції, Японії, Німеччині, Австралії його широко застосовують для монолітного зведення промислових будинків, терміналів, дорожніх покриттів в аеропортах, доріг з значним транспортним навантаженням, у будівництві тунелів, морських платформ і гребель [6].

Найбільша ефективність фібробетону як композиту досягається при правильному підборі і поєднанні компонентів цементної матриці, арматури, фібрового заповнювача та правильному їх введенні в бетонну суміш. Найефективнішим матеріалом є сталеві арматури, оскільки модуль пружності арматури в 56 разів більший від аналогічного показника бетону з фіброю на основі природних та штучних волокон. Однак, при звичайному анкеруванні арматури імовірність появи тріщин в бетоні при дії високошвидкісного удару є досить високою. Традиційна класична арматура або

дротяна сітка оберігає бетон від початкових усадочних тріщин, але не запобігає їх подальшому поширенню. Тому однією із переваг фібрових волокон перед сталюю арматурою є зменшення мікро- і макротріщин як на початковій гідратації, так і в наступний період експлуатації [8].

Металічні фіброві волокна (титан, залізо, іржостійка сталь, та ін.) [4] надають фібробетону підвищену зносостійкість. Разом з тим їх використання призводить до утворення локалізованих центрів і нерівномірного поширення їх в бетоні. Окрім цього, такий бетон володіє дещо нижчою ударною в'язкістю [4].

Базальтова фібра має ряд переваг у порівнянні з волокнистими заповнювачами для бетону [9]. Зокрема, коефіцієнти температурного розширення базальтової фібри і цементного каменю є досить близькими. Застосування базальтової фібри дає змогу підвищити тріщиностійкість, стирання та ударну в'язкість бетону. Завдяки цим властивостям застосування бетонів, армованих базальтовою фіброю, є ефективним проектним рішенням не лише для споруд спеціального призначення, а й для автомобільних доріг та мостів. Відомі також розробки з використанням базальтоволокнистих матеріалів з виготовлення уніфікованої тари і корпусів для зберігання та транспортування боєприпасів. Враховуючи, що за хімічною стійкістю в середовищі портландцементу, що твердіє, базальтові волокна перевершують алюмо-магnezійні волокна і скляні волокна марки «Е» [9-11], можна припустити, що завдяки підвищеним фізико-хімічним і механічним властивостям вони мають перспективу використання як армуючого матеріалу для виробництва спеціальних бетонів і композитів, що працюють в агресивних середовищах.

Формулювання мети статті (постановка завдання)

Основним завданням із виготовлення сучасних захисних споруд на основі фібробетону від різноманітних засобів ураження є використання високофункціональних модифікованих бетонів, армованих дисперсно-волокнистими матеріалами.

Використання технології фібрового армування дозволяє істотно знизити час виконання і трудомісткість робіт за рахунок відмови від в'язки арматури і укладання сіток, а в ряді випадків – заощадити будівельні матеріали за рахунок досягнення проектних характеристик при меншій товщині або металоємності конструкцій.

Метою дослідження є порівняння фізико-механічних властивостей бетонів, армованих дисперсними волокнами на основі базальтових, сталевих та поліпропіленових фібр, вивчення їх здатності до зчеплення з цементною матрицею.

Виклад основного матеріалу

Для отримання в'язучого з необхідними реологічними та високими міцнісними характеристиками значний практичний інтерес представляє регулювання дисперсності цементної системи за рахунок використання різних типів мінеральних компонентів. Дисперсні мінеральні добавки здатні оптимізувати та підсилити дію хімічних добавок-модифікаторів за рахунок підвищення однорідності, пластифікуючої та водоутримувальної здатності високорухливих сумішей при зниженому вмісті портландцементу. Завдяки підвищенню якості контактної зони „мінеральна добавка – портландцемент” добавки суттєво впливають на фізико-механічні показники міцності фібробетону. Окрім цього, вони беруть участь у формуванні структури цементного каменю, вступаючи у взаємодію з продуктами гідратації портландцементу і утворюють високодисперсні продукти гідратації.

Основними показниками фібробетонів вважається тимчасовий опір розриву або міцність на розтяг. З метою порівняльних досліджень визначали міцнісні і деформаційні властивості фібробетонів з різними волокнами. Основні властивості та показники різних видів волокон наведені в табл. 1. Найбільш поширеними волокнами, що використовують для одержання фібробетонів, є сталеві волокна. Волокнисті наповнювачі займають друге місце після дисперсних за обсягом використання серед всіх наповнювачів [4, 7]. Аналізуючи таблицю 1, можна сказати, що для більшості волокон характерні висока міцність і високий модуль пружності при розтягуванні. Очевидно, що введення таких високоміцних волокон в фібробетонну матрицю повинно забезпечити отримання композиційних матеріалів, міцність яких значно перевищить міцність традиційних бетонів у вигляді гомогенних блоків.

Таблиця 1

Тип волокна	Характеристика волокон				
	Густина, кг/см ³	Модуль пружності, ГПа	Міцність на розтяг, ГПа	Відносне видовження при розтягуванні, %	T _{пл} , °C
Сталеве	7,8	200	6,0-8,1	5-7	1200
Скляне типу «Е»	2,5	7-8	1,8-3,8	4,8	840
Азбестове	2,4	68-70	0,9-3,1	2-3	1500
Базальтове	2,8	180-230	2-3,5	6-8	1450
Поліпропіленове	0,9	3,5-8	0,6	10-25	176
Поліефірне	1,4	7,5	0,8	14-15	250
Поліамідне	1,1	3,8	0,8	13-17	140

З волокон, що протистоять впливу лужного середовища, можна виділити графітові, поліамідні та базальтові. Найбільш ефективним в якості фібрової арматури є використання базальтових волокон, які в порівнянні з іншими мають більший модуль пружності попри нижчу міцність розриву. Це позитивний момент, оскільки вони будуть мати більшу здатність до зворотної пружної деформації, що є позитивним при дії високошвидкісного удару.

Базальтові волокна за параметром ціна/якість виявляються кращими, ніж скляні, поліамідні і вуглецеві волокна, тому вони починають витісняти скляні та сталеві волокна. За фізико-хімічними властивостями базальтові волокна володіють дещо вищою кислотостійкістю, гігроскопічністю, більшим опором до стирання, більшою величиною модуля пружності та діапазоном робочих температур. Вони мають меншу густину, більшу гнучкість, більш низьку теплопровідність та широкий температурний інтервал застосування. Крім цього, вони вібростійкі, що є важливим при вібраційній стійкості бетонних конструкцій [9].

Для дослідження фізико-хімічних властивостей фібробетонів, які можуть бути використані при будівництві фортспоруд, використовували традиційний портландцемент ПЦІ 500 Р ПАТ "Івано-Франківськцемент", пісок Жовківського родовища з модулем крупності $M_{кр}=2,1$, щебінь фракції 5-20 мм, пластифікатор, активну мінеральну добавку метаколін, воду та три види фібр на основі базальтових (БФ), металевих (СФ) і поліпропіленових (ППФ) волокон (табл. 2). Вміст фібри становив 1% від маси цементу. Фізико-механічні властивості фібробетонів визначали за стандартними методами випробувань [12-14].

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості досліджуваних зразків

Характеристика	Досліджувані зразки фібробетонів			
	Без добавок	СФ	БФ	ППФ
Міцність на стиск у віці 28 дб, МПа	84,6	110,1	121,8	108,5
Міцність на згин, МПа	8,6	9,2	14,8	10,3
Міцність на розрив, МПа	4,2	7,5	8,6	6,3

Як видно з результатів дослідження, введення усіх типів волокон покращує властивості армованого бетону. Міцність фібробетону на розтяг залежить від об'ємного коефіцієнта армування, виду, розмірів і характеру поверхні фібри, класу бетонної матриці, а також від геометричних розмірів перерізу елемента. Слід відзначити, що сталеві фібри в силу її жорсткості, на відміну від поліпропіленової та базальтової, завжди буде впливати на упаковку бетонної суміші, що є негативним фактором ущільнення таких бетонів.

Наступним етапом дослідження було виявлення впливу довжини і поперечного діаметра фібри, оскільки це визначає міцність зчеплення волокна і цементної матриці в системі. Чим більший діаметр волокна (понад 200 мкм), тим воно довше, тому необхідно забезпечити достатнє анкерування фібр. В цьому випадку унеможливується рівномірний розподіл волокон в матриці, а також використання фібробетону для виготовлення тонкостінних конструкцій [2, 13]. Введення в бетон хаотично орієнтованих коротких волокон мало впливає на міцність фібробетону на стиск і на модуль пружності, але приводить до суттєвого збільшення міцності на розтяг та згин. Волокна, що застосовуються на даний час для армування бетонів, мають високу міцність до розриву, тому для максимально ефективного використання міцності армуючих фібр визначальним є відношення довжини волокна до його діаметра l_c/d_v , що залежить як від адгезії цементного каменю до волокна, так і від когезії самого цементного каменю. Кожне волокно може бути обірвано або висмикнуто з бетонної матриці. Причому руйнування фібри проходить шляхом розриву волокна або його виділення з матриці. Ці фактори адгезії, міцності волокна і його насичення в матриці будуть визначати стійкість бетону до відколювання. Чим більше співвідношення довжини до діаметра волокна, тим вищим буде співвідношення середньої міцності волокна до адгезії зчеплення волокна з бетоном, але не може його перевищити

$$\frac{l_c}{d_v} \geq \frac{R_{v,m}}{2\tau_m},$$

де l_c – критична довжина волокна; d_v – діаметр волокна; $R_{v,m}$ – середня міцність волокна на розрив; τ_m – міцність зчеплення фібри з бетоном (адгезія).

Для сталевих фібр оптимальний діаметр є 0,23...0,3 мм, а відношення довжини l_c до еквівалентного круглого перерізу d_v фібр рекомендується в межах 25...115. Найчастіше використовують фібри з $l_c/d_v = 8...100$, а за умови максимальної міцності та в'язкості при згині їх оптимальне відношення складає $l_c/d_v = 75$.

Для базальтових волокон діаметр повинен бути в межах 40 – 200 мкм, оскільки подальше збільшення діаметра значно понижує міцність фібробетону. Відповідно, для базальтових волокон: $R_{v,m}/2\tau_m < 300$. Із збільшенням діаметра від 10 до 100–150 мкм їх питома поверхня зменшується в 10 разів, а жорсткість збільшується в 1000 разів. Через це значно зростає стійкість волокон в середовищі цементного каменю, проте підвищується нерівномірність розподілення фібр в об'ємі, що спричинює зниження міцності матеріалу з огляду на появу послаблених зон. Тому для отримання

задовільних міцнісних показників необхідно значно збільшити кількість волокна, що додається. Окрім цього, слід враховувати, що фібри, які мають підвищену жорсткість, не повинні піддаватися великим згинальним та зсувним навантаженням в процесі введення в бетонну матрицю. Разом з тим введення значної кількості фібри призводить до зниження реологічних характеристик бетонної суміші.

Для поліпропіленової фібри оптимальним є співвідношення: $R_{v,m}/2\tau_m > 300$.

У цементних бетонах зчеплення волокон з матрицею відбувається як за рахунок фізичної адгезії, обумовленої нерівностями на поверхні волокон, так і за рахунок механічного заклинювання фібри частками матриці [4, 5]. Залежно від взаємодії між волокнами фібри з матрицею, їхньої орієнтації й концентрації по-різному відбувається деформація й руйнування армованого композиту [6, 8]. Введення волокон значно збільшує залишкову міцність матеріалу, а його руйнування відбувається при більш високих значеннях деформації. Навантаження деформації зсуву в контактній зоні волокна й матриці до волокна обумовлюється розходженням між їхніми модулями пружності. Постійне зусилля зсуву на кінцях фібри супроводжується зростанням розтягуючих напруг з віддаленням від кінців фібри. При незначному ступені армування фіброю в поперечному перерізі з'являється ефект концентрації напруг внаслідок наявності кінців фібр. Волокна фібри здатні нести деяке навантаження, прикладене до композита вже після розтріскування матриці (за даними – до 2 МПа) [4].

Було досліджено вплив довжини фібр на реологічні властивості цементних систем. Зниження рухливості дисперсно-армованих цементних систем пов'язано із структуруванням суміші фібровими елементами, зростанням поверхні розділу фаз та необхідністю підвищення кількості води для її змочування, збільшенням внутрішнього тертя, обмеженим переміщенням компонентів матриці в присутності волокон. При цьому пластифіковані цементні системи, армовані базальтовою фіброю, за показниками рухливості задовольняють вимоги щодо самоущільнення ($РЦ \geq 300$ мм), тоді як для сталевих і поліпропіленових фібр цей показник є гіршим. Із збільшенням довжини фібри зростає і в'язкість цементного тіста.

Результати впливу довжини базальтової фібри на міцність цементного каменю показали, що найвищими показниками міцності на стиск та згин характеризуються зразки, армовані дисперсним волокном довжиною 20 мм. Так, міцність на стиск при введенні даної фібри в кількості 0,5 мас.% зростає на 6-12% у всі терміни тверднення, у той час як міцність на згин зростає на 12% через 2 доби, на 20,5% – через 28 діб. Введення базальтової фібри

довжиною 25 мм призводить до деякого зниження міцності при стиску цементного каменю, що зумовлено неоднорідністю розподілення фібри в об'ємі матеріалу. У зв'язку з цим для подальших досліджень використано базальтову фібру довжиною 20 мм.

Армування базальтовим волокном на макроструктурному рівні у кількості 0,5 мас.% забезпечує суттєве зростання міцності на згин зразків, що тверднули у повітряно-сухих умовах, при незначному зростанні міцності на стиск. Приріст міцності на згин дослідних зразків, армованих базальтовою фіброю, становить 55,9, 36,2 та 9,6% відповідно через 2, 7 та 28 діб порівняно з неармованою системою. Порівняно із зразками, що тверднули в нормальних умовах, міцність на згин зразків дисперсно-армованої системи, що тверднули в повітряно-сухих умовах, знизилась на 12,3; 26,2 та 1,4% через 2, 7 та 28 діб відповідно.

За рахунок гальмування процесу тріщиноутворення волокнами, дисперсне армування матриці підвищує ударну міцність, тобто критичний коефіцієнт інтенсивності напруг або тріщиностійкість композиту [8]. Дисперсне армування зменшує прогин зразків при навантаженні, а вже після утворення тріщини в армованих бетонів напруга при вигині, що забезпечує той самий прогин, значно вище, ніж у неармованих. Тобто фібра підвищує якість бетону, зокрема й за рахунок своєї розтяжності й роботи волокон після появи тріщин.

Ударну міцність цементуючих матриць самоущільнюваних бетонів з різними типами фібр оцінювали за величиною роботи, що витрачається на руйнування зразка під дією ударних навантажень, віднесеної до його площі (рис. 1). Як видно, дисперсне армування базальтовою фіброю самоармованої цементуючої системи забезпечило зростання ударної міцності дрібнозернистого бетону з 1,03 до до 1,6 кДж/м², тобто в 1,55 раза.

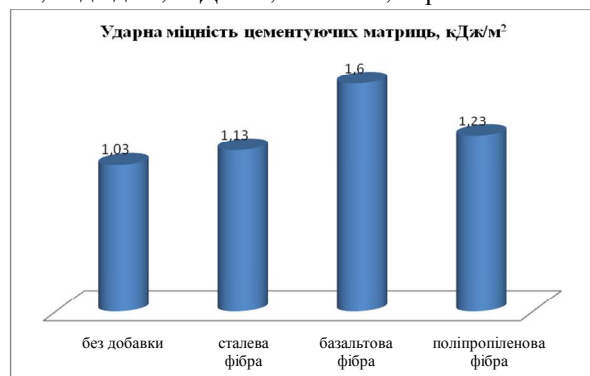


Рис. 1. Ударна міцність цементуючих матриць, армованих сталеву, базальтовою та поліпропіленову фібрами через 28 діб

Будівництво багатьох споруд неможливе без урахування їх реакції на динамічні навантаження, в тому числі на дію високошвидкісного удару. Для перевірки лабораторних досліджень ударної

міцності при невисоких швидкостях проведено практичні дослідження фібробетону в польових умовах. У зв'язку з цим досліджувані зразки обстрілювали одиночними пострілами куль калібру 5,45, випущених з автомата (АК) на відстані 50 м (рис. 2-5).

Як видно з рис. 2, зразок бетону без добавок має значні uszkodження з численними тріщинами по всьому об'єму матеріалу (20-40% руйнування). Характер уламків – багато дрібних шматків (1,5-3 см). Зразок бетону, що містить сталеву фібру (рис. 3), має менше uszkodжень (25-28%) з невеликими тріщинами та дещо більшими уламками (до 3,5 см).



Рис. 2. Результати дії високошвидкісного удару на бетон без добавок

Для зразка бетону із базальтовою фіброю uszkodження мали дещо інший характер: незначні uszkodження (до 22%) з відколюванням відносно великих шматків (4-5 см), які утримуються між собою волокнами (рис. 4). Зразок бетону з поліпропіленову фіброю був uszkodжений до 30%, з глибокими тріщинами, між якими видно волокна (рис. 5).

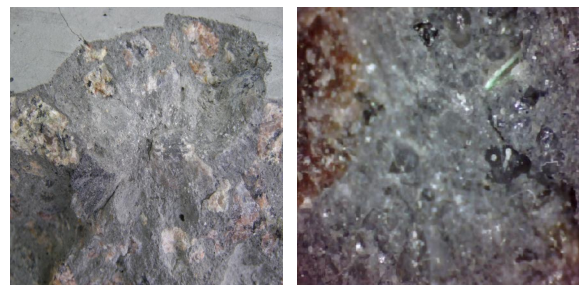


Рис. 3. Результати дії високошвидкісного удару на бетон з додаванням сталеві фібри



Рис. 4. Результати дії високошвидкісного удару на бетон з додаванням базальтової фібри

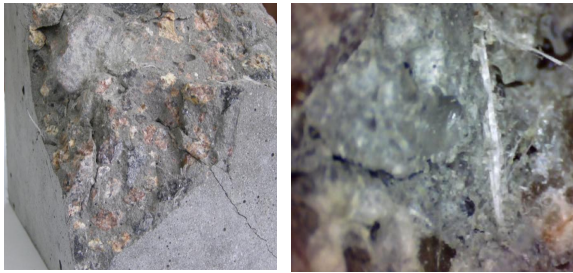


Рис. 5. Результати дії високошвидкісного удару на бетон з додаванням поліпропіленової фібри

Отже, результати дослідження зразків бетонів, що містять волокна з сталі, базальту і поліпропілену, вказують на те, що уламки ушкодженого бетону утримуються між собою і не розлітаються. Найслабшим волокном, яке витримало ударне навантаження, виявився поліпропілен, де спостерігалось розшарування бетону вздовж волокна, ймовірно, через те, що поліпропіленова фібра має низький модуль пружності й високу граничну деформативність. Крім цього, поліпропіленове волокно старіє і втрачає свої властивості з часом, а також горить при дії на нього відкритого полум'я.

Висновок

Отже, дослідження фізико-механічних властивостей бетонів, модифікованих активними мінеральними добавками, пластифікаторами та армовані фіброю на основі сталевих, базальтових та поліпропіленових волокон, показали, що їх введення позитивно впливає на міцнісні характеристики бетонів. Встановлено, що фіброволокна в бетоні дають тримірне зміцнення структури, підвищується міцність бетону на розтяг і вигин, розкол та осьовий стиск. Ці властивості перш за все залежить від збільшення величини співвідношення довжини і діаметра волокна та об'ємного його вмісту в матриці.

Встановлено, що найбільш ефективними армуючими фібровими волокнами є базальтові волокна. Міцність на стиск, згин і розтяг фібробетону зростає відповідно з 84,6 до 121,8; з 8,6 до 14,8 та з 4,2 до 8,6 МПа. Однак при цьому зростає жорсткість бетонної суміші, що негативно впливає на її ущільнення. Оптимальним є вміст базальтового волокна від 0,5 до 1,0% від маси цементу.

Відносна деформація цементного каменю з базальтовими волокнами без утворення тріщин досягає 0,7-0,9%, що в 35-45 разів перевищує граничне видовження неармованого бетону. Значне збільшення деформативності і міцності цементного каменю відбувається за рахунок усунення базальтовими волокнами впливу концентрації напруг в місцях, ослаблених структурними дефектами (раковинами, мікротріщинами). Крім того, базальтове волокно хімічно інертне, що суттєво визначає його довговічність.

В сучасних умовах складної воєнної та економічної обстановки актуальним завданням будівельної галузі є розроблення та впровадження сучасних будівельних композитів, які характеризуються високими показниками ранньої та кінцевої міцності, стабільними експлуатаційними властивостями, що дозволяє швидкими темпами проводити ремонтні та відновлювальні роботи, споруджувати захисні фортифікаційні споруди та укриття для цивільного захисту населення з вищим рівнем тріщиностійкості, опором до різних видів силових впливів, зокрема ударного і термовогневого характеру. Проведені дослідження сучасних бетонів з фіброволокнами відкривають нові можливості їх застосування для військової галузі.

Список літератури

1. Савицький Н.В. Укрепленные районы и мобильные блок-посты для обороны территории и защиты личного состава в зоне проведения антитеррористической операции/ Н.В. Савицький, Т.Д. Никифорова// Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник – К., КНУБА, Вип. 6 – 2016. – С. 92–100.
2. Скорук О. Міцність та тріщиностійкість сталевіфібробетонних плит, опертих по контуру при повторних навантаженнях // Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія № 3.–2016, С. 83–93.
3. Афанасьєва Л.В. Залізобетонні конструкції в умовах високошвидкісного удару// Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник/– К., КНУБА, Вип. 61. –2016. – С. 108–113.
4. Стечишин М.С. Самоущільнювані бетони, армовані дисперсними волокнами // Рукопис. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціалізацією 05.23.05. – Львів. – 2016. – 176 с.
5. Убайдуллаєв Ю.Н. Модель вибору раціональної орієнтації арматури в залізобетонних оболонкових конструкціях фортифікаційних споруд // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України. – № 2(48), 2013. – С. 96 – 99.
6. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Досвід застосування фібробетону у будівництві/ О.Ю. Дорошенко, Ю.М. Дорошенко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту МОН України: Серія «Транспортні системи і технології» – Вип. 24. – К.: ДЕТУТ, – 2014 – С. 5–11.
7. Дворкин Л.И. Цементно-золевые бетоны с добавками полифункциональных модификаторов (ПФМ) для покрытия полов промышленных и гражданских зданий/ Л. И. Дворкин, Р. Н. Макаренко, В. П. Кизима. – Ровно: УГУВХП, 2002. – 123 с.
8. Дробилинець С.Я. Дослідження впливу дисперсного мікроармування на фізико-механічні властивості бетону/ С.Я. Дробилинець, М.В. Киричук // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві – № 4, 2015. – С. 38–47.
9. Сергєєв В.П. Базальтові волокнисті матеріали та композити на їх основі – матеріали XXI століття// Наука та інновації. - Т 1, № 6. - 2005. - С. 91–101.

10. Коваленко В.В. Дослідження працездатності на вигин торкретбетону зі сталевую і синтетичною фібрами // В.В. Коваленко, С.В. Борщевський, С.К. Торубалко // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Вип.10(151). – 2009. С. 103–108.

11. Пугачевський Г. Властивості базальтових волокон / Г. Пугачевський, О. Швець // Товари і ринки. – № 1. – 2012. – С. 151–155.

12. ДСТУ Б В.2.7-114:2002 Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. – Київ: Мінбуд. 2002. – С. 16.

13. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. – Київ: Мінбуд. 2009. – С. 22.

14. ДСТУ Б В.2.7-187:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск. – Київ: Мінбуд. 2009. – С. 16.

15. Барашиков А.Я. Влияние фибрового армирования базальтовыми волокнами на прочность и надежность строительных конструкций / А.Я. Барашиков, Н.И. Доброхлоп, Э.Б. Колбаско // Надежность и долговечность машин и сооружений. – 1987. – Вып. 12. – С. 46–56.

Рецензент: д.т.н., проф. М.А. Саницький, Інститут будівництва та інженерії доквілля Національного університету «Львівська Політехніка», м. Львів.

Перспективи использования базальтовых фибробетонов для фортификационных сооружений

С.В. Королько, И.Н. Мартынюк, Е.Н. Стадничук, И.В. Горчинский

Проведен анализ введения различных видов фибры для улучшения эксплуатационных свойств бетонов, необходимых для строительства защитных конструкций фортификационных сооружений. Приведены основные преимущества фибробетона над обычным бетоном. Изучено влияние стальной, базальтовой и полипропиленовой фибры на прочностные характеристики бетона. Установлено, что наиболее эффективными армирующими фибровыми волокнами являются базальтовые волокна. Прочность на сжатие, изгиб и растяжение фибробетона возрастает соответственно с 84,6 до 121,8; с 8,6 до 14,8 и с 4,2 до 8,6 МПа. Однако, при этом возрастает и жесткость бетонной смеси, что отрицательно влияет на ее уплотнение. Оптимальным является содержание базальтового волокна от 0,5 до 1,0% от массы цемента.

Ключевые слова: базальтовые волокна, полипропиленовые волокна, стальная фибра, фибробетон, физико-механические свойства, фортификационные сооружения.

Prospects of the use basaltic fibers concretes to fortification building

S. Korolko, I. Martyniuk, O. Stadnichuk, I. Gorchynskyj

The main task of manufacturing protective fortifications building is the use of modern concretes, withstand significant shock loads. However, one of the negative factors during the shelling of these structures with artillery and small-arms is the wounding of personnel by not only bullets and fragments, but also in fragments of excavated concrete. For the removal of this problem use the modified concretes that is reinforced by fibres and fibers of different nature.

The purpose of the study is to compare the physical and mechanical properties of concrete, reinforced with dispersed fibers based on basalt, steel and polypropylene fibers, to study their ability to grip with a cement matrix.

It was established that the introduction of fiber filler into concrete gives a three-dimensional strength, increases the tensile strength and curvature. The increase in the strength of the concrete mixture on compression, on tensile bending depends on an increase in the diameter and volume of fibers; when the diameter and volume of fibers increase, and the rigidity of the concrete mixture, which adversely affects its compaction.

The most effective reinforcing fibrous fillers were basalt fibers, which are characterized by high durability. Strength of compression, bending and tension of fiber concrete increases from 84.6 to 121.8; from 8.6 to 14.8 and from 4.2 to 8.6 MPa. However, at the same time, the rigidity of the concrete mixture increases, which negatively affects its consolidation. The optimum content of basalt fiber is from 0.5 to 1.0% of the weight of the cement.

Taking into account advantages of basalt fiber over steel and polypropylene fibers, the use of basalt fibrous concrete is promising for the construction of fortification building.

Keywords: basalt fibers, polypropylene fibers, steel fiber, fiber concrete, physical and mechanical properties, fortification building.