

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування

Ковальчук Тарас Володимирович

УДК 691.328

**ВИСОКОМІЦНИЙ ФІБРОБЕТОН
ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИМ ДИСПЕРСНИМ АРМУВАННЯМ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Рівне - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті водного господарства та природокористування, м. Рівне, Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Дворкін Леонід Йосипович,
Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Толмачов Сергій Миколайович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів

кандидат технічних наук, доцент
Позняк Оксана Романівна,
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри будівельного виробництва

Захист відбудеться «16» жовтня 2019 р. об 11⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 47.104.06 в Національному університеті водного господарства та природокористування за адресою: 33028, Рівне, вул.Чорновола, 49, ауд. 673.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету водного господарства та природокористування за адресою: 33028, Рівне, вул. О.Новака, 75 та на сайті університету www.nuwm.edu.ua.

Автореферат розісланий «__» _____ 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К.47.104.067
к.т.н., доцент



О.М. Бордюженко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією із сучасних тенденцій в будівництві є використання фібробетонів, в т.ч. високоміцних. Різноманіття областей застосування виробів та конструкцій, що виготовляються з фібробетону, зумовлено тим, що порівняно із звичайним бетоном він характеризується у декілька разів більшою міцністю на осьовий розтяг та розтяг при згині, вищою тріщиностійкістю, стійкістю до ударних і вібраційних впливів тощо.

Найчастіше в цементних бетонах застосовується сталева фібра. Однак, потенціал дисперсного армування сталеву фіброю реалізується не в повній мірі, зважаючи на її малу питому поверхню, невисоку адгезію до цементного каменю і недостатньо високу міцність самого бетону, що призводить до "висмикування" волокон при його руйнуванні. Поряд з тим, суттєво в менших обсягах застосовується базальтова фібра. За міцністю вона перевершує сталь, і володіє, за рахунок малого діаметра волокон, набагато більшою питомою поверхнею зчеплення з цементним каменем, ніж сталеві, маючи з ним хімічну спорідненість. При цьому відносно подовження при розриві базальтової фібри в два рази нижче, ніж сталевій, що дозволяє їй більш ефективно перешкоджати утворенню мікротріщин в бетоні при навантаженні.

Як правило, використання дисперсного армування передбачає варіант моноармування, при якому керування властивостями бетону до певної міри обмежене, тоді як полідисперсне або композиційне дисперсне армування (армування одночасно декількома видами волокон з різними характеристиками) дає можливість управляти широким комплексом властивостей в одному композиційному матеріалі. Разом з тим, питання полідисперсного армування фібробетонів до теперішнього часу вивчене недостатньо, а наявна інформація часом свідчить про суперечливість отриманих результатів досліджень, що знижує обсяги застосування дисперсного армування.

Таким чином, питання композиційного дисперсного армування фібробетонів з метою підвищення їх техніко-економічної ефективності набуває особливої актуальності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота була виконана при кафедрі технології будівельних виробів і матеріалознавства Національного університету водного господарства та природокористування. Результати дисертаційних досліджень увійшли до держбюджетної науково-дослідної роботи "Високоміцні швидкотверднучі бетони і фібробетони та конструкції на їх основі для фортифікаційних споруд" (державний реєстраційний №0116U003759) відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка ефективної технології високоміцного дрібнозернистого фібробетону із композиційним дисперсним армуванням.

Для досягнення поставленої мети потрібно було вирішити наступні **задачі**:

- провести аналіз інформаційних джерел, що стосуються основних вимог до високоміцних фібробетонів, впливу різних видів фібри та добавок на властивості фібробетонних сумішей та фізико-механічні показники фібробетонів;
- дослідити вплив сталеві фібри з різними геометричними параметрами на міцнісні показники фібробетонів на основі звичайних та дрібнозернистих бетонних сумішей та встановити її оптимальний вміст;
- обґрунтувати доцільність отримання фібробетонів із полідисперсним армуванням з використанням металевих та неметалевих волокон, встановити їх оптимальні співвідношення;
- вивчити вплив факторів складу фібробетонних сумішей з полідисперсним армуванням на їх технологічні властивості, в т.ч. при використанні водоредуруючих добавок;
- дослідити особливості структури, деформативні властивості та довговічність фібробетонів із композиційним дисперсним армуванням;
- встановити вплив факторів полідисперсного армування на динамічні характеристики фібробетонів;
- запропонувати методіку проектування складів фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням, що дозволяє забезпечувати нормовані показники їх будівельно-технічних властивостей;
- виконати дослідно-промислове впровадження розроблених фібробетонів бетонів у виробництво високоміцних будівельних конструкцій.

Об'єкт дослідження – високоміцні фібробетони із композиційним дисперсним армуванням.

Предмет дослідження – вплив основних технологічних факторів, що характеризують склад високоміцних фібробетонів із композиційним дисперсним армуванням на їх фізико-механічні властивості та властивості фібробетонних сумішей.

Методи дослідження. При встановленні основних кількісних залежностей показників властивостей фібробетонів та сумішей використані математичні методи планування експериментів з отриманням та технологічним аналізом відповідних експериментально-статистичних моделей. Визначення фізичних, фізико-механічних та будівельно-технічних властивостей фібробетонів і сумішей з композиційним дисперсним армуванням проведено відповідно до діючих нормативних документів і загальноприйнятих методик.

Наукова новизна одержаних результатів:

- теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість отримання високоміцних фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням, що містять сталеву та базальтову фібру в оптимальному співвідношенні;
- вперше встановлено ефективність введення базальтової фібри в композиції із сталеві з метою попередження розшарування фібробетонних сумішей і підвищення однорідності структури фібробетонів;
- вперше отримано комплекс експериментально-статистичних моделей показників властивостей полідисперсноармованих бетонів з використанням сталеві

та базальтової фібри, що кількісно характеризують вплив основних технологічних факторів та ефекти їх взаємодії;

- вивчено особливості порової структури полідисперсноармованих бетонів та встановлено їх зв'язок із фізико-механічними властивостями;

- подальший розвиток отримала методологія проектування складів фібробетонів із заданими властивостями, в т.ч. із композиційним дисперсним армуванням.

Практичне значення одержаних результатів:

- запропоновано методики проектування і на їх основі розроблені склади фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням, що включають сталеву та базальтову фібру з високою ранньою міцністю та експериментально підтверджено технічні та економічні переваги полідисперсноармованих бетонів порівняно зі сталеві фібробетонами;

- запропоновані експериментально-розрахункові залежності водопотреби фібробетонних сумішей, в т.ч. при використанні водоредукуючих добавок, в широкому діапазоні рухомості бетонних сумішей а також відповідні поправки до них при Ц/В відношеннях, більших за критичне;

- з позицій забезпечення високих динамічних характеристик показано ефективність розроблених фібробетонів із композиційним дисперсним армуванням та запропоновано їх склади з оптимальним співвідношенням сталевої та базальтової фібри;

- здійснено випуск дослідно-промислових партій палей забивних у виробничо-технічних умовах підприємства ПАТ "Рембуд" (м. Рівне) а також бетонних сумішей для виготовлення високоміцних фібробетонів в умовах підприємства ППФ "Торгбуд сервіс";

- основні положення дисертаційної роботи та результати експериментальних досліджень, зокрема методики розрахунку складів фібробетонів, використовуються в навчальному процесі Національного університету водного господарства та природокористування при викладанні дисциплін "Проектування складів бетонів та розчинів різних видів", "Аналіз будівельно-технологічних задач та методи їх оптимального рішення " для студентів спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія".

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні експериментальних досліджень, обробці одержаних результатів та впровадженні результатів роботи у виробництво. Постановка завдання та формулювання основних положень і висновків проводились під керівництвом наукового керівника д.т.н., проф. Л.Й. Дворкіна.

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. В роботах, які опубліковані у співавторстві, автору належить: [1, 2] – дослідження впливу факторів складу на властивості сталеві фібробетону; [3, 9, 11] – дослідження впливу різних видів фібри на міцнісні властивості фібробетонів та розробка їх складів; [5-7] – побудова математичних моделей та номограм а також їх аналіз; [8] – встановлення впливу кількості та виду пластифікуючих добавок на водопотребу фібробетонних сумішей; [10] – визначення параметрів орієнтації стальної фібри; [12] – складання формули корисної моделі.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та її результати доповідались і обговорювались на конференціях: XIII Міжнародній науково-практичній конференції "Стан сучасної будівельної науки-2015" (Полтава, 2015); 6-й міжнародній науково-практичній конференції "Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві" (Харків, 2016); VI-й Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті" (Харків, 2017); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, 2015-2018 рр.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному науковому семінарі кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства НУВГП (2018 р.), а також на міжкафедральному науковому семінарі з будівельних матеріалів та виробів НУВГП (2019 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з них 1 колективна монографія, 6 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав, 2 – в наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до міжнародних наукометричних баз даних (Google Scholar, РИНЦ), 3 публікації у матеріалах міжнародних конференцій, 1 патент України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 137 сторінках друкованого тексту та складається із вступу, шести розділів, висновків. Повний обсяг дисертації становить 209 сторінок та включає 48 таблиць, 71 рисунок, список використаних джерел із 166 найменувань на 17 сторінках і 4 додатки на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульована мета досліджень, визначені наукова новизна, практичне значення та основні задачі роботи.

У першому розділі представлено огляд сучасного стану наукової проблеми та визначені теоретичні передумови досліджень.

Розглянуто досвід застосування фібробетонів в промисловому та цивільному будівництві як в Україні, так і за кордоном. Відзначено, що застосування фібробетону у будівництві дозволяє сформулювати великий перелік ефективно апробованих конструкцій з фібробетонів на основі сталевих, скляних, базальтових і поліпропіленових фібри. Використання фібробетонів дозволяє суттєво знизити матеріало- і трудомісткість будівництва та, відповідно, його вартість а також підвищити якісні показники та експлуатаційну надійність виробів та конструкцій.

Проаналізовані особливості застосування мікрволокон різних видів для дисперсного армування бетонів. Встановлено, що високі фізико-механічні характеристики фібробетонів головним чином визначаються спільною роботою волокон із цементною матрицею, а також залежать від складу бетону, технології його виготовлення, виду і активності застосовуваного цементу, виду і вмісту фібри, способу її розподілення в бетонній суміші, виду і кількості пластифікуючих

добавок. Також відзначено ряд технологічних проблем, пов'язаних зі складністю рівномірного розподілення фібри в структурі бетону та уникнення розшарування фібробетонної суміші в процесі її приготування та транспортування.

Значна кількість робіт була присвячена впливу дисперсного армування на фізико-механічні характеристики фібробетонів. Зокрема, розглянуті особливості такого впливу на статичну та динамічну міцність, тріщиностійкість, морозостійкість, корозійну стійкість, параметри порової структури. Показано, що крім об'ємного вмісту фібри в бетоні та її механічних характеристик, значний вплив на показники якості фібробетону проявляють геометричні характеристики волокон, такі як довжина, діаметр, форма поперечного перерізу.

Розглянуті окремі дослідження, що стосуються композиційного дисперсного армування (поліармування) бетонів. В них відзначаються можливості щодо цілеспрямованого регулювання комплексу фізико-механічних властивостей фібробетону в більш широких межах, ніж при моноармуванні. Проведений огляд показав, що питання використання композиційного дисперсного армування для покращення властивостей фібробетонів та сумішей вивчене недостатньо, особливо для комбінації сталеві та базальтової фібри.

Проведений аналіз досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених (Вировий В.М., Гоц В.І., Дворкін Л.Й., Дерев'яно В.М., Коваль С.В., Кривенко П.В., Лаповська С.Д., Пащенко О.О., Пушкарьова К.К., Рунова Р.Ф., Саницький М.А., Сербін В.П., Толмачов С.М., Ушеров-Маршак О.В.; Баженов Ю.М., Голанцев В.А., Дорф В.А., Капрієлов С.С., Курбатов Л.Г., Лобанов І.А., Малишев В.Ф., Пухаренко Ю.В., Рабинович Ф.Н., Талантова К.В.; Bhikshma V., Mangat P.S., Rangan V.K., Rasheed M.H., Shah S.P. та ін.), що присвячені питанням теорії та технології ефективних бетонів та фібробетонів, дозволив висунути *наукову гіпотезу* про можливість попередження розшарування фібробетонних сумішей і підвищення однорідності структури фібробетонів за рахунок композиційного дисперсного армування із застосуванням в оптимальному співвідношенні сталеві та базальтової фібри для отримання високоміцного дисперсноармованого бетону з покращеними експлуатаційними властивостями.

У другому розділі наведено характеристики застосованих сировинних матеріалів та методів досліджень.

Вихідними матеріалами при проведенні досліджень служили портландцемент Здолбунівського ПАТ "Волинь-цемент" ПЦ-І за ДСТУ Б В.2.7-46:2010 марки 500, дрібний заповнювач у вигляді кварцового піску середньої крупності з родовищ Славутського р-ну Хмельницької обл. Як крупний заповнювач у бетонних сумішах використовувався гранітний щебінь фракцій 2...5 та 5...20 мм Вирівського кар'єру Рівненської області. У якості хімічних добавок використовували суперпластифікатори нафталін-формальдегідного типу СП-1 (С-3) та полікарбоксилатного типу Melflux 2651 F.

В якості дисперсних армуючих волокон для отримання фібробетонів, використовувалась сталева, базальтова та поліпропіленова фібра. Основним видом сталеві фібри, що застосовувалась в більшості досліджень була сталева фібра хвилястого профілю довжиною 60 мм і діаметром 1 мм. Для порівняння

ефективності дисперсного армування сталевую фіброю досліджували також чотири інших види сталеві фібри (зокрема анкерну та прямолінійну). Для отримання фібробетонів із композиційним дисперсним армуванням використано модифіковану базальтову фібру РБР-18-т10 ТзОВ "Технобазальт-Інвест" (м. Київ) довжиною 12 та 24 мм, виготовлену з базальтового ровінгу за ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009. Також для вивчення порівняльного впливу виду волокон, що застосовуються в композиції із сталеву фіброю, застосовували поліпропіленові волокна довжиною 12 та 18 мм.

Експериментальні дослідження, результати яких приведені в дисертаційній роботі, виконано з широким застосуванням математичного планування експериментів (МПЕ), що дозволило алгоритмізувати виконання дослідів за схемою, яка є оптимальною з точки зору як об'єму експериментальних робіт, так і статистичних вимог.

Механічні випробування зразків фібробетонів проводилися на гідравлічному пресі типу МС-2000 і машині МИИ-100 відповідно до методик, рекомендованих ДСТУ Б В.2.7-214:2009 і ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Густина, вологість, водопоглинання і пористість визначалися відповідно до методик, рекомендованих ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Пористість зразків фібробетонів оцінювалася за кінетикою водопоглинання дискретним методом. Деформації усадки вимірювали за допомогою індикатора годинникового типу (ціна поділки 0,001 мм) у терміни визначені ДСТУ Б 8.2.7-216:2009. Дослідження морозостійкості дисперсноармованих бетонів проводили за прискореною методикою в термокамері Н5280.75 при температурі -50°C згідно ДСТУ Б В.2.7-49-96.

Ударна міцність зразків фібробетонів визначалась на копрі за величиною роботи, що необхідна на руйнування. Ударну в'язкість оцінювали за величиною роботи руйнування надрізаного зразка балочки при ударному згині на маятниковому копрі.

У третьому розділі наведено результати порівняльного аналізу впливу виду та вмісту сталеві фібри а також способів їх введення на міцнісні характеристики сталевіфібробетонів.

Перший етап досліджень передбачав встановлення впливу параметрів складу при застосуванні різних поширених видів сталеві фібри на можливість отримання високоміцного сталевіфібробетону з відносно невеликими витратами цементу та фібри. Дослідження проводили на двох видах бетону: на звичайному важкому із застосуванням в якості крупного заповнювача щебеню 5...20 мм та дрібнозернистому із застосуванням в якості заповнювача фракційної суміші – 0,16...2 мм (кварцовий пісок) та 2...5 мм (гранітний щебінь). Сталевіфібробетонні зразки виготовлялися на сумішах з В/Ц = 0,35 та при витраті цементу 500 кг/м^3 . В бетонні суміші вводили добавку суперпластифікатора полікарбонатного типу Melflux 2651f.

Результати експериментальних досліджень дозволили зробити висновок, що найвищі значення міцності як при стиску і, особливо, при згині досягаються при використанні фібри хвилястого профілю (Ф1). Абсолютні значення міцності на розтяг при згині для дрібнозернистого фібробетону є суттєво вищими (рис. 1) у

порівнянні із звичайним важким бетоном (на 40...50%). Такі особливості можна пояснити збільшеною поверхнею зчеплення хвилястої фібри з розчиною частиною дрібнозернистого бетону у порівнянні із анкерною фіброю різних видів (Ф2-Ф5).

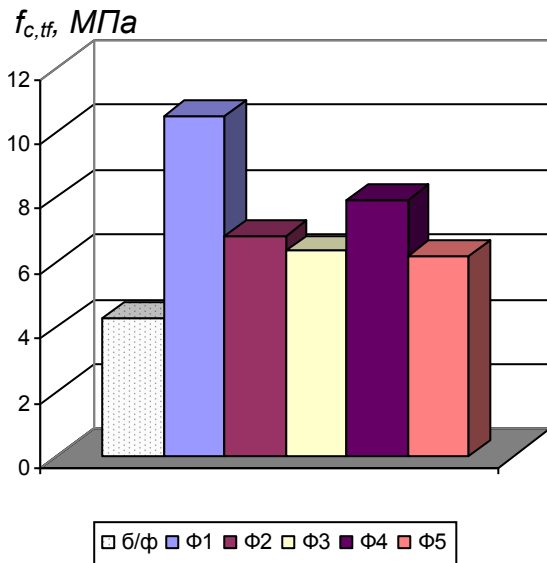


Рис. 1. Вплив виду фібри на значення міцності на розтяг при згині дрібнозернистого сталевібробетону у віці 28 діб (об'ємний вміст фібри 0,5%)

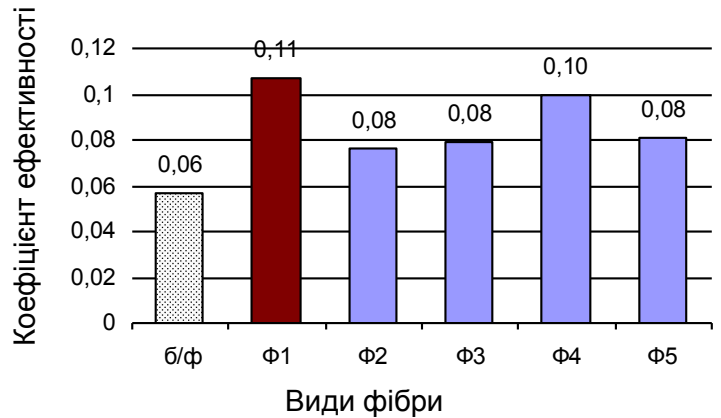


Рис. 2. Значення коефіцієнта ефективності дисперсного армування ($f_{c,tf} / f_{cm}$) при використанні різних видів фібр для дрібнозернистого бетону

б/ф – бетон без фібри; Ф1 – фібра хвилястого профілю; Ф2 – анкерна із загнутими кінцями; Ф3 – анкерна зі сплющеними кінцями; Ф4 – анкерна із загнутими кінцями; Ф5 – прямолінійна фібра з анкерами у вигляді конусів

Очевидно, основний ефект від дисперсного армування бетонів проявляється у збільшенні співвідношення міцності на розтяг при згині $f_{c,tf}$ до міцності при стиску f_{cm} (коефіцієнта ефективності). На рис. 2 відображені коефіцієнти ефективності дисперсного армування різними видами фібри для дрібнозернистого бетону. Як видно, для всіх видів фібри коефіцієнт ефективності є більший ніж для бетону, не армованого фіброю, а найбільшим виявилось співвідношення $f_{c,tf} / f_{cm}$ для дрібнозернистого фібробетону з використанням фібри хвилястого профілю Ф1.

Таким чином, для подальших досліджень обрана сталеві хвиляста фібра, яка є найбільш ефективною в плані збільшення міцності на розтяг при згині.

На наступному етапі встановлювали оптимальний вміст сталеві фібри у фібробетоні. Дослідження проводили із застосуванням математичного планування експерименту. Для цього був реалізований трьохрівневий трьохфакторний план типу В₃. В якості варійованих факторів були обрані наступні: x_1 – витрата цементу (500 ± 50 кг/м³), x_2 – В/Ц ($0,35 \pm 0,05$), x_3 – витрата фібри (100 ± 20 кг/м³). Аналіз отриманих математичних моделей та побудованих на їх основі графічних залежностей (рис. 3) свідчить про те, що як і слід було очікувати, найбільш суттєвий вплив на міцність дрібнозернистого сталевібробетону на розтяг при згині чинить вміст фібри, причому вплив даного фактору носить екстремальний характер. Збільшення вмісту фібри від 80 до 100 кг/м³ призводить до збільшення міцності на

розтяг при згині в середньому на 40 %, подальше ж збільшення кількості дисперсної арматури суттєво не впливає на міцність. Тобто, відповідно до отриманих експериментальних результатів було встановлено оптимальний вміст сталевих фібри, який забезпечує максимальну міцність фібробетону на розтяг при згині. Подальше збільшення вмісту дисперсної арматури призводить до зниження міцності, що обумовлено зменшенням товщини матричного шару та проявами розшарування суміші.

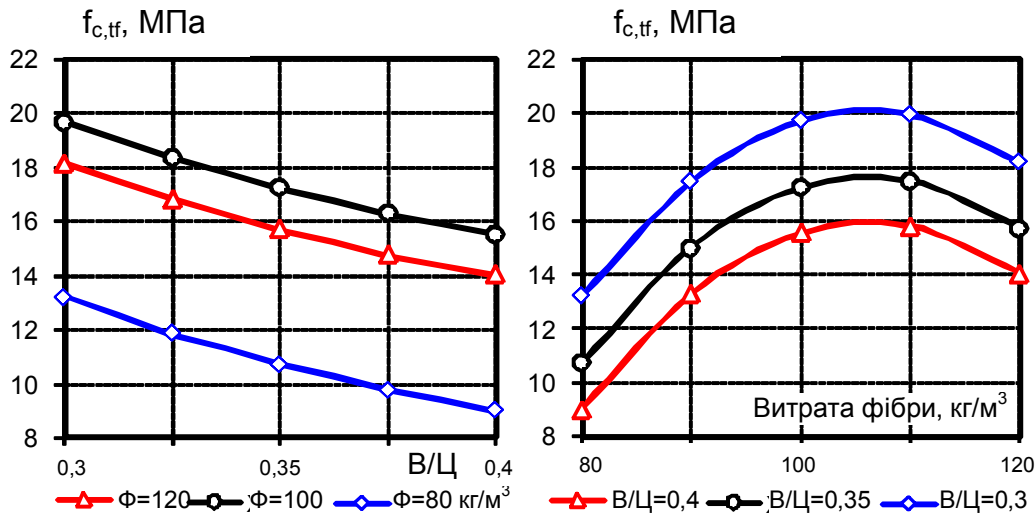


Рис. 3. Залежність міцності на розтяг при згині дрібнозернистого сталеві фібробетону у віці 28 діб від В/Ц та витрати фібри (Φ)

Досить важливою стадією технології фібробетону є приготування фібробетонної суміші, адже від якості перемішування її компонентів залежать властивості і довговічність фібробетонних виробів і конструкцій. Порівнювали два способи введення фібри. Відповідно до першого способу ("класичного") попередньо до перемішаних сухих компонентів бетону, включаючи порошковий суперпластифікатор, додавалася необхідна кількість води. На другому етапі в приготовлену таким чином суміш, при безперервному перемішуванні, вводилася необхідна кількість просіяної крізь сито фібри.

За другим способом ("сухим") до перемішаних сухих компонентів (заповнювачів) вводилася необхідна кількість попередньо просіяної крізь сито фібри. Далі в суміш додають цемент, необхідну кількість води з пластифікуючими добавками і продовжують перемішування до отримання однорідного складу бетонної суміші.

Як показали результати досліджень, "класичний" і "сухий" способи приготування даються співставні результати з незначним переважанням "класичного" способу (переважно для високорухомих сумішей), що можна пояснити більшою загальною тривалістю перемішування компонентів суміші для нього у порівнянні із "сухим" способом. При низьких значеннях рухомості було важко досягнути однорідності фібробетонної суміші, в ній утворювались комки фібри (т.зв. "їжаки") і, відповідно, лишались значні ділянки неармованого бетону. Це приводило до суттєвого зниження міцності на розтяг при згині. При збільшенні

рухомості до 15 см комкування фібри ставало менш відчутним, а при 20 см – взагалі не спостерігалось.

На наступному етапі досліджень встановлювали можливість покращення фізико-механічних властивостей, а саме міцності на розтяг при згині, дрібнозернистого сталевібробетону шляхом забезпечення ефекту орієнтування фібри при ущільненні бетонної суміші різної рухомості на вібромайданчику з та без використання дії магнітного поля. Вміст фібри складав від 20 до 100 кг/м³, а рухомість бетонної суміші змінювалась в діапазоні від 7 до 21 см.

За результатами досліджень встановлено позитивний вплив на фізико-механічні характеристики фібробетону орієнтування сталевібробетону перпендикулярно робочому навантаженню, яке досягається віброущільненням високорухомих бетонних сумішей та підсилюються при дії магнітного поля. Збільшення рухомості бетонної суміші, при всіх інших рівних умовах, призводить до збільшення міцності при згині дрібнозернистого сталевібробетону в середньому на 40 %, що пов'язано із збільшенням кількості фібри розташованої перпендикулярно робочому навантаженню при випробуваннях. Також до деякого підсилення ефекту орієнтування сталевібробетону призводить формування виробів шляхом віброущільнення при дії магнітного поля. При цьому приріст міцності складає в середньому до 15 %, проте ключовим фактором залишається саме рухомість бетонної суміші.

У четвертому розділі досліджено фізико-механічні властивості фібробетону з композиційним дисперсним армуванням а також технологічні властивості відповідних бетонних сумішей.

Для одержання полідисперсно армованого фібробетону з використанням сталевібробетону та базальтової (поліпропіленові) фібри були виготовлені серії поліармованих фібробетонних зразків. За базовий був прийнятий наступний склад дрібнозернистого бетону: портландцемент – 500 кг/м³, відношення заповнювача (щебінь фракції 2...5 мм : пісок = 0,55:0,45) до цементу складало 3,6 до 1 (за масою). В/Ц суміші складало 0,35. Необхідна рухомість суміші 13...15 см досягалася за рахунок введення добавки суперпластифікатора Melflux 2651f. Використовували сталеву хвилясту фібру Ф1 в кількостях 80 і 120 кг/м³ бетону. Для отримання поліармованої композиції використовували базальтову фібру довжиною 12 і 24 мм та поліпропіленову фібру довжиною 12 та 18 мм. При цьому вміст базальтової фібри змінювався в межах від 0 до 6 кг/м³, а поліпропіленові – від 0 до 2 кг/м³.

Експериментально встановлено, що введення базальтової фібри позитивно впливає на міцність на розтяг при згині композиційного фібробетону. Міцність $f_{c,tf}^7$ фібробетону контрольного складу при витраті сталевібробетону 80 кг/м³ становила 10,3 МПа, а максимальне її значення для композиційного фібробетону з базальтовою фіброю становила 12,4 МПа (при витраті 4 кг/м³ та довжині волокон 12 мм). Середнє збільшення міцності на розтяг при згині в залежності від довжини волокна та його вмісту склало від 7 до 20%.

При витраті сталевібробетону 120 кг/м³ міцність $f_{c,tf}^7$ фібробетону контрольного складу склала 13,3 МПа, а максимальне її значення для композиційного фібробетону з становила 14,9 МПа (при витраті базальтової фібри 4 кг/м³ та довжині волокон 12

мм). Таким чином, максимальне зростання міцності склало 12%. Менше зростання міцності в цьому випадку очевидно можна пояснити досягненням значень загального об'ємного вмісту волокон, що відповідають максимально можливому вмісту. Використання базальтової фібри з довжиною волокон 24 мм в цілому показало гірші результати. Зафіксоване збільшення $f_{c,tf}^7$ на 7% лише при вмісті цих волокон 2 кг/м^3 (при витраті сталевих фібри 80 кг/м^3). Це обумовлено зменшенням процентного вмісту волокна в площині перетину руйнування а також гіршим розподіленням в масиві фібробетону

Розглядаючи вплив частки базальтової фібри в загальному об'ємі армування (рис. 4) варто відзначити, що її оптимальний вміст складає 2 кг/м^3 ($n = 0.07$) при витраті сталевих фібри 80 кг/м^3 і $2..4 \text{ кг/м}^3$ ($n = 0.05..0.09$) при витраті сталевих фібри 120 кг/м^3 . Подальше збільшення вмісту базальтової фібри приводить до збільшення сумарної питомої поверхні дисперсної арматури, що в свою чергу приводить до збільшення кількості води, необхідної для отримання бетонних сумішей із заданою рухомістю.

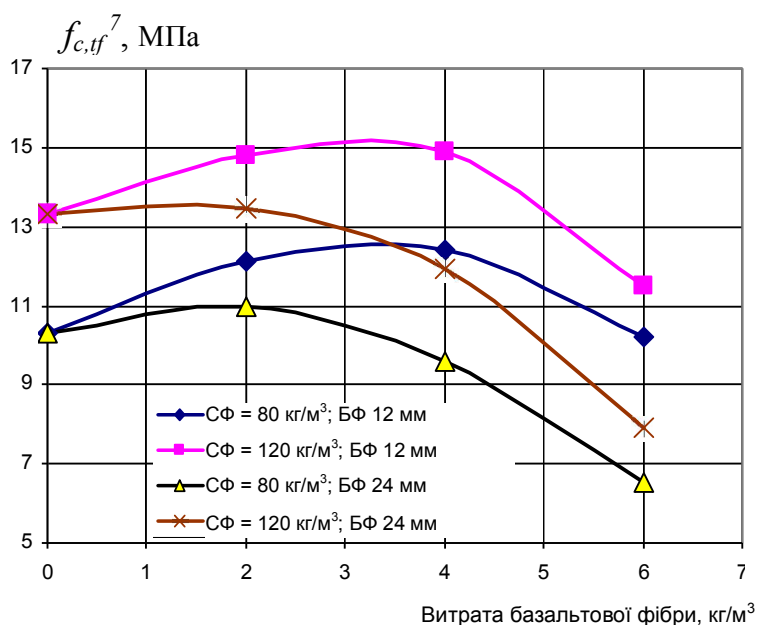


Рис. 4. Залежності міцності на розтяг при згині полідисперсно-армованих фібробетонів при різних витратах сталевих (СФ) фібри а також довжини волокон та витрати базальтової (БФ) фібри

При різних комбінаціях витрат сталевих та поліпропіленових фібр в цілому спостерігається погіршення значень міцності на розтяг при згині у порівнянні із контрольними зразками. Це в першу чергу можна пов'язати із гіршим розподіленням в структурі бетону поліпропіленових волокон, що не сприяє рівномірному розподіленню сталевих волокон, а також гіршою адгезією поліпропілену з цементною матрицею.

Виявлено, що базальтова фібра, яка за густиною та пружними характеристиками ближча до бетонної матриці ніж поліпропіленова, при оптимальній витраті та співвідношенні із сталевих фіброю утворює своєрідний несучий каркас, який утримує сталеву фібру, попереджає розшарування суміші та сприяє рівномірному розподіленню дисперсної арматури в структурі бетону. Все це, відповідно, позначається на міцнісних характеристиках фібробетонів.

На наступному етапі досліджували комплексний вплив на міцнісні характеристики дрібнозернистого фібробетону з композиційним дисперсним армуванням витрати цементу, водоцементного відношення а також вмісту та об'ємного співвідношення сталевий та базальтової фібри. Для цього був реалізований трьохрівневий чотирьохфакторний план експерименту В₄. Необхідна рухомість суміші (ОК = 13...15 см) досягалася за рахунок введення добавки суперпластифікатора Melflux 2651f. Використовували сталеву хвилясту фібру Ф1 та базальтову фібру довжиною 12 мм. В якості варійованих факторів були обрані наступні: x_1 – витрата цементу (500 ± 50 кг/м³), x_2 – В/Ц ($0,35 \pm 0,05$), x_3 – витрата сталевий фібри (100 ± 20 кг/м³), x_4 – витрата базальтової фібри (2 ± 2 кг/м³).

Аналіз побудованих за результатами досліджень математичних моделей показав, що введення до складу суміші базальтової фібри в кількості до 4 кг/м³ дозволяє збільшити міцність на розтяг при згині до 20% у порівнянні зі складами без її вмісту. Також можна відзначити високу ступінь впливу даного фактора на величину міцності у ранні строки твердіння. Характер поверхонь відгуку вихідного параметру $f_{c,tf}^{28}$ (рис. 5) вказує на те, що з метою досягнення максимальних значень міцності на розтяг при стиску необхідно підтримувати значення фактору В/Ц (x_2) на нижньому рівні варіювання, а факторів витрат сталевий (x_3) та базальтової фібри (x_4) на верхньому рівні. Також можна зробити висновок, що досягнення значень $f_{c,tf}^{28} > 18$ МПа можна забезпечувати в широкому діапазоні витрат сталевий та базальтової фібри ($x_3 = 0...1$; $x_4 = -0,5...1$) – відповідно 100...120 кг/м³ сталевий та 1...4 кг/м³ базальтової фібри.

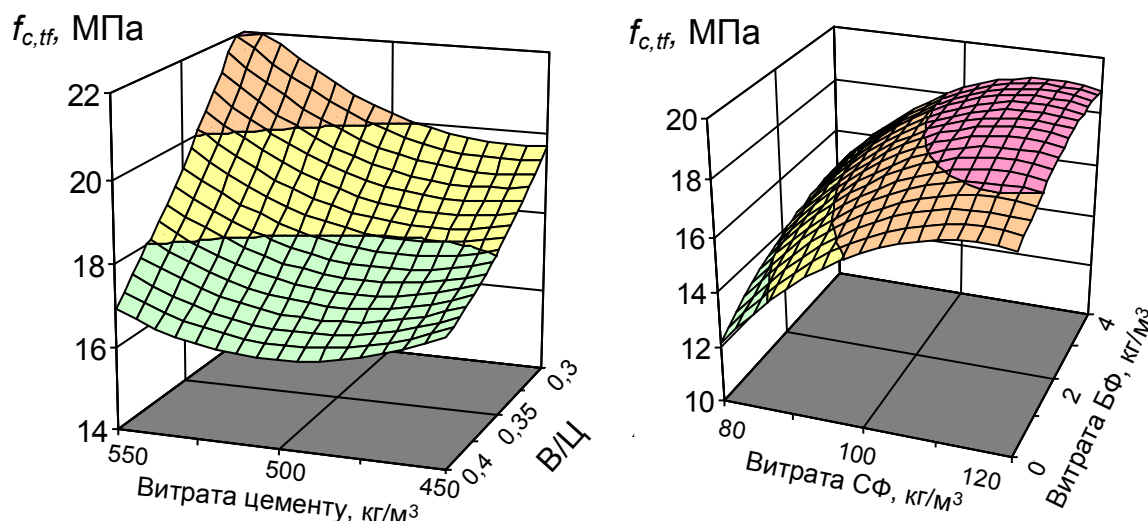


Рис. 5. Поверхні відгуку міцності на розтяг при згині фібробетону з композиційним дисперсним армуванням у віці 28 діб від витрати цементу, В/Ц та витрат сталевий фібри (СФ, кг/м³) та базальтової фібри (БФ, кг/м³)

Експериментально встановлено, що для фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням, як і для звичайних бетонів, діє правило "постійності водопотреби", відповідно до якого при постійній рухомості бетонної суміші водопотреба залишається практично постійною при цементно-водних відношеннях

менших деякого критичного значення ($\rho/V < \rho/V_{кр}$). Зона критичного ρ/V для досліджуваних фібробетонів знаходиться в межах 2,2...2,3 а при введенні суперпластифікаторів зміщується до значень $\rho/V = 2,6...2,7$. Цей ефект можна пояснити суттєвим зменшенням нормальної густоти і, відповідно, водопотреби цементного тіста. Отримано експериментально-розрахункові залежності водопотреби фібробетонних сумішей, в т.ч. при використанні водоредукуючих добавок, в широкому діапазоні рухомості бетонних сумішей. До отриманих залежностей запропоновані відповідні поправки при $\rho/V > \rho/V_{кр}$.

Важливим питанням при дослідженні технологічних властивостей фібробетонних сумішей є прогнозування втрати рухомості – т.зв. "життєздатності", або збережуваності рухомості суміші в часі, що дозволяє вносити корективи при призначенні початкової легкоукладальності та визначати допустиму тривалість транспортування суміші. Розглядаючи зміну рухомості у часі для фібробетону з композиційним дисперсним армуванням (рис. 6), можна відзначити наступні особливості. Введення фібри приводить до зменшення збережуваності рухомості суміші у часі у порівнянні із контрольною сумішшю без фібри. Очевидно, це можна пояснити більшою зв'язаністю розчинової частини при наявності великої питомої поверхні дисперсної арматури. Найбільші втрати рухомості в часі мають суміші з добавками суперпластифікаторів, причому кінетика зміни рухомості для складів сумішей з використанням обох суперпластифікаторів є практично однаковою до 1,5 год.

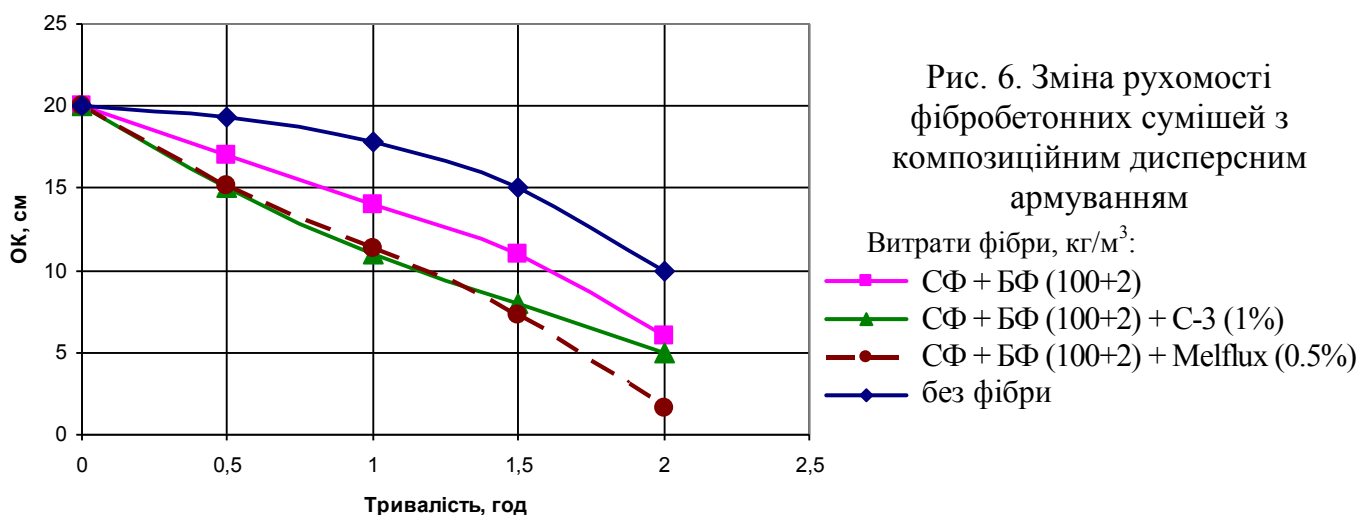


Рис. 6. Зміна рухомості фібробетонних сумішей з композиційним дисперсним армуванням

Витрати фібри, кг/м³:

- СФ + БФ (100+2)
- ▲— СФ + БФ (100+2) + С-3 (1%)
- СФ + БФ (100+2) + Melflux (0.5%)
- ◆— без фібри

Для вивчення процесів розшарування фібробетонних сумішей, в т.ч. із композиційним дисперсним армуванням, були виконані експериментальні дослідження пов'язані із встановленням впливу вмісту сталевий та базальтової фібри та тривалості віброущільнення на розшарування фібробетонної суміші різної рухомості. Отримані експериментальні результати (табл. 1) свідчать про те, що найбільш суттєвими факторами, які впливають на коефіцієнт розшарування сталевий фібробетонної суміші є її рухомість, а також тривалість віброущільнення. Встановлено, що при збільшенні рухомості бетонної суміші необхідно суттєво обмежувати тривалість віброущільнення.

Використання композиційного дисперсного армування на протипагу моноармуванню лише сталеною фіброю дозволяє суттєво підвищити коефіцієнт розшарування. Якщо при рухомості суміші 5-9 см цей приріст складає 3...7% при обох витратах сталеної фібри, то для більш рухомих сумішей позитивний вплив базальтової фібри проявляється більш яскраво і може досягати 20% для сумішей з рухомістю Р3 і 35% з рухомістю Р4.

Виконані експериментальні дослідження підтверджують висловлену раніше гіпотезу про можливість уникнення або суттєвого зменшення розшарування фібробетонних сумішей і підвищення однорідності структури фібробетонів за рахунок композиційного дисперсного армування. Використання базальтової фібри з довжиною волокон 12 мм у оптимальному співвідношенні із сталеною дозволяє суттєво підвищити значення коефіцієнта розшарування і забезпечує рівномірне розподілення сталеної фібри.

Таблиця 1 – Вплив тривалості віброущільнення та рухомості бетонної суміші на коефіцієнт розшарування дрібнозернистого сталевібробетону

Вміст сталеної/ /базальтової фібри, кг/м ³	Рухомість суміші (ОК), см	Коефіцієнт розшарування при тривалості віброущільнення, с			
		15	30	45	60
80 / -	5-9	0,96	0,91	0,85	0,76
	10-15	0,88	0,82	0,71	0,61
	16-21	0,83	0,74	0,62	0,47
120 / -	5-9	0,87	0,84	0,78	0,69
	10-15	0,77	0,74	0,67	0,48
	16-21	0,73	0,65	0,52	0,35
80 / 2	5-9	0,96	0,93	0,89	0,79
	10-15	0,91	0,86	0,81	0,72
	16-21	0,88	0,81	0,74	0,54
120 / 2	5-9	0,93	0,9	0,81	0,71
	10-15	0,86	0,83	0,77	0,58
	16-21	0,83	0,74	0,62	0,47

Примітка. Виділено значення коефіцієнтів розшарування, які відповідають нормативним вимогам (не більше 0,8 для сумішей із маркою за легкоукладальністю Р3 і менше та 0,75 для марок Р4 і Р5).

У п'ятому розділі розглянуті особливості структури, деформативність, морозостійкість та динамічні характеристики фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням.

При вивченні якісних особливостей порової структури фібробетонів використовували метод, оснований на аналізі кінетики водонасичення. Встановлено, що фібробетон з композиційним дисперсним армуванням володіє меншими показниками як середнього розміру капілярних пор (λ), так і вищими показниками однорідності їх розмірів (α) у порівнянні зі сталевібробетонами. Дисперсне армування сприяє формуванню більш дрібних, переважно замкнутих пор в порівнянні неармованим бетоном. При цьому ступінь впливу дисперсного

армування зростає зі зменшенням геометричних розмірів фібр і збільшенням їх кількісного вмісту в суміші. Однак при досягненні деякого порогового значення концентрації фібр однорідність їх розподілу в суміші погіршується.

Отримані експериментальні дані по визначенню усадки свідчать, що усадочні деформації сталевібробетонів, як і у випадку звичайних бетонів, залежать від водовмісту бетонної суміші але, крім того, суттєвим фактором є також витрата фібри. Відзначено, що більший вміст фібри в фібробетоні з композиційним дисперсним армуванням нівелює його підвищену водопотребу. Зменшення усадочних деформацій і збільшення міцності на розтяг при згині таких бетонів приводить до відповідного збільшення модуля тріщиностійкості.

Дисперсне армування бетону можна розглядати як додатковий чинник, поряд із зменшеною капілярною пористістю, що додатково впливає на морозостійкість. Експериментальні дослідження показали, що для полідисперсно-армованих фібробетонів при витраті фібри 100 кг/м^3 досягається морозостійкість до 500 циклів, а з добавками суперпластифікаторів – 600...800.

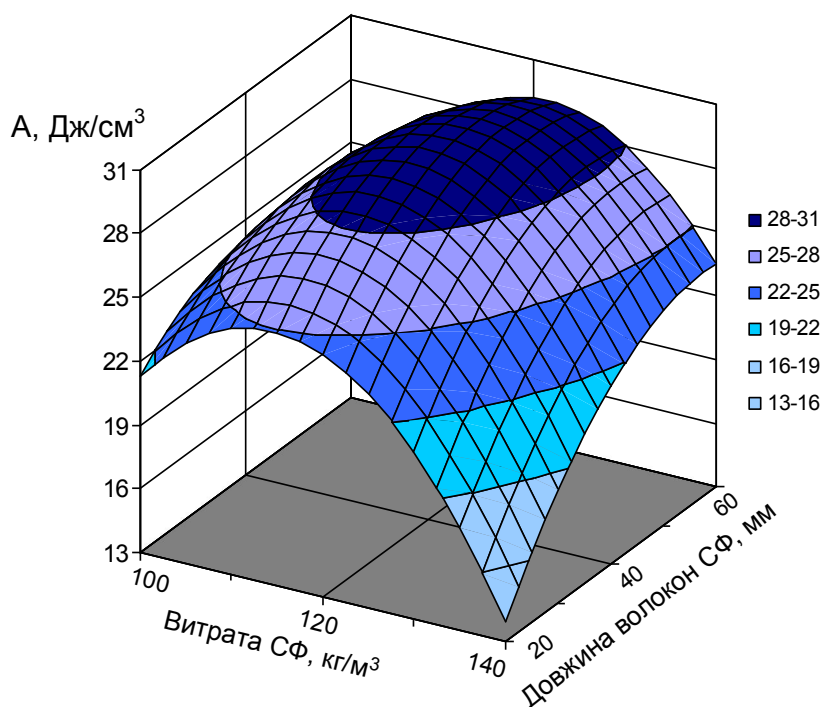


Рис. 7. Ударна міцність зразків фібробетону із композиційним дисперсним армуванням залежно від вмісту сталевіброфібри (СФ) та довжини її волокон при вмісті базальтової фібри 4 кг/м^3

Виявлено значне підвищення міцності фібробетонів в умовах динамічних навантажень. Встановлено, що найбільшою ударною міцністю володіє композиційний фібробетон, з вмістом сталевіброфібри 120 кг/м^3 та базальтової фібри 4 кг/м^3). Максимальний показник ударної міцності склав $31,8 \text{ Дж/см}^3$ перевищуючи контрольне значення неармованого бетону більше ніж в 3,5 рази. Для складів фібробетонів із вмістом сталевіброфібри 80 кг/м^3 при витраті базальтової фібри 2 кг/м^3 досягається практично така ж ударна міцність, як при моноармуванні сталевіброфіброю в кількості 120 кг/м^3 , а при витраті 4 кг/м^3 – вона стає більшою на 15%.

Отримано математичну модель ударної міцності композиційного фібробетону від рецептурно-технологічних факторів. На основі отриманої моделі побудована

поверхня відгуку роботи руйнування від факторів складу: вмісту сталеві фібри ($x_1 = 120 \pm 20 \text{ кг/м}^3$) та довжини волокон ($x_2 = 40 \pm 20 \text{ кг/м}^3$) (рис. 7).

Встановлено зниження показника ударної міцності композиційного дисперсноармованого бетону із збільшенням дозування сталевих волокон понад 120 кг/м^3 ($\mu=1,5\%$) та при переході від довжини сталевих з $40 \dots 60 \text{ мм}$ до 20 мм .

Також досліджували залежність ударної в'язкості від параметрів композиційного дисперсного армування. Зафіксовано зростання ударної в'язкості фібробетонів в $6 \dots 7$ разів по відношенню до контрольного неармованого бетону в залежності від виду та вмісту армуючих елементів. Максимальне поглинання енергії удару забезпечують сталеві волокна в композиції з базальтовими (табл. 2). Робота руйнування зразків із композиційним дисперсним армуванням в середньому збільшується на 30% .

Таблиця 2 – Ударна в'язкість досліджуваних фібробетонів

№	Вид дисперсного армування	Вміст фібри, кг/м^3	Робота руйнування, Дж/м^2
1	–	–	1,16
2	СФ	80	7,05
3	СФ	120	8,28
4	СФ+БФ	80+4	10,14
5	СФ+БФ	120+4	11,47

У шостому розділі наведено запропоновані методики проектування складів фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням. Дані методики ґрунтуються на використанні експериментально-статистичних моделей показників якості та складу фібробетонів. На рис. 8 наведена номограма для визначення витрати цементу при заданій міцності композиційного фібробетону на розтяг при згині.

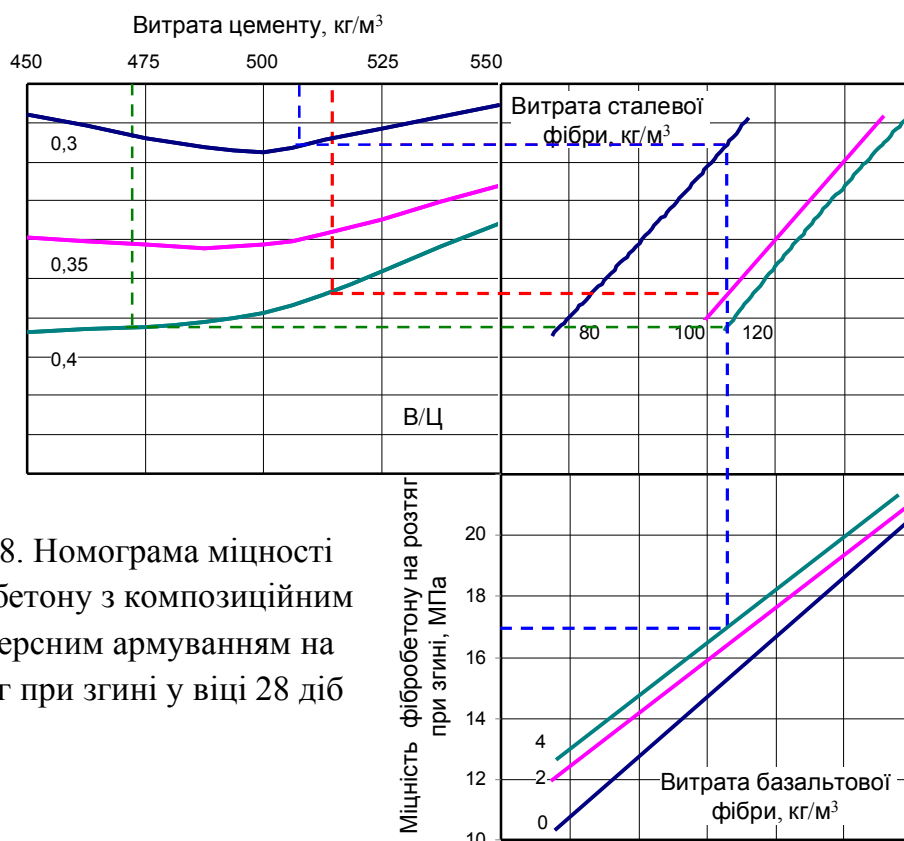


Рис. 8. Номограма міцності фібробетону з композиційним дисперсним армуванням на розтяг при згині у віці 28 діб

Номографічний метод дозволяє отримувати розрахункові значення витрат компонентів сумішей, необхідних для забезпечення нормованого комплексу їх будівельно-технічних властивостей.

Інший запропонований метод дозволяє вирішувати задачу проектування складу фібробетону в умовах багатоваріантності за необхідності мінімізації його вартості. Він поряд із отриманими математичними моделями передбачає використання апарату математичного програмування.

Також наведено результати впровадження у промислових умовах розроблених складів фібробетонів. Дослідно-промислому партію палей забивних випущено у виробничо-технічних умовах підприємства ПАТ "Рембуд" (м. Рівне), а також дві партії бетонних сумішей для виготовлення високоміцних фібробетонів у виробничо-технічних умовах підприємства ППФ "Торгбуд сервіс".

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить одержані автором нові науково-обґрунтовані результати, які полягають в розробці технології високоміцного дрібнозернистого фібробетону із композиційним дисперсним армуванням, що в сукупності розв'язує важливу науково-прикладну задачу підвищення техніко-економічної ефективності фібробетонів, виробів і конструкцій на їх основі.

В дисертації одержані наступні основні теоретичні та прикладні результати.

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість отримання ефективних полідисперсно-армованих фібробетонів з використанням сталевих та базальтових фібри, що характеризуються високими експлуатаційними властивостями за рахунок підвищення однорідності структури фібробетонів і суттєвого зменшення розшарування фібробетонних сумішей. Показано, що при використанні сталевих хвилястої та базальтової фібри в оптимальних співвідношеннях стає можливим одержання фібробетонів з міцністю при стиску до 100 МПа та міцністю на розтяг при згині до 20 МПа.

2. Вивчено особливості впливу сталевих фібри з різними геометричними параметрами на міцнісні показники фібробетонів. Встановлено найбільшу ефективність застосування для важких та дрібнозернистих бетонів сталевих фібри хвилястого профілю. Показано, що застосування дрібнозернистого бетону дозволяє підвищити коефіцієнт ефективності дисперсного армування більше ніж у два рази у порівнянні з неармованими бетонами і на 20...25 % у порівнянні з крупнозернистими.

3. Підтверджено позитивний вплив орієнтації сталевих фібри в структурі фібробетону під дією магнітного поля. Даний ефект більш суттєво проявляється в міру збільшення рухомості бетонної суміші і дозволяє підвищити міцність на розтяг при згині дрібнозернистого сталевих фібробетону до 15 %. Встановлено посилення

ефекту орієнтування фібри за рахунок введення добавок суперпластифікаторів, що призводить до збільшення тиксотропії в процесі вібрування.

4. На основі аналізу комплексу експериментально-статистичних моделей міцнісних параметрів фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням встановлено ефективність застосування базальтової фібри довжиною волокон 12 мм в оптимальних співвідношеннях із сталеву фіброю. Отримані кількісні залежності, що характеризують вплив водоцементного відношення, витрат цементу, вмісту сталеву та базальтової фібри на міцність композиційних фібробетонів при стиску та розтяг при згині а також їх співвідношення.

5. Експериментально встановлено, що для фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням, діє правило "постійності водопотреби". Зону критичного Ц/В для досліджуваних фібробетонів зафіксовано в межах 2,2...2,3 а після введення суперпластифікаторів вона зміщується до значень $C/V_{кр} = 2,6...2,7$. Отримано експериментально-розрахункові залежності водопотреби фібробетонних сумішей, в т.ч. при використанні водоредукуючих добавок, в широкому діапазоні рухомості бетонних сумішей.

6. Експериментально підтверджено можливість уникнення або суттєвого зменшення розшарування фібробетонних сумішей і підвищення однорідності структури фібробетонів за рахунок композиційного дисперсного армування. Показано можливість суттєвого зменшення розшарування фібробетонної суміші з композиційним дисперсним армуванням у порівнянні із сталевібробетонною сумішшю при однаковій тривалості віброущільнення, що може досягати 20% для сумішей з рухомістю Р3 і 35% з рухомістю Р4.

7. В умовах динамічних навантажень найбільшою ударною міцністю відзначається композиційний фібробетон, що містить сталеву та базальтову фібру в оптимальному співвідношенні. Максимальний показник ударної міцності склав $31,8 \text{ Дж/см}^3$, перевищуючи контрольне значення неармованого бетону більше, ніж в 3,5 рази. Встановлено зростання ударної в'язкості фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням в 6...7 разів по відношенню до контрольного неармованого бетону в залежності від виду та вмісту армуючих елементів.

8. Запропоновано методику проектування складів фібробетонів з композиційним дисперсним армуванням, що ґрунтується на використанні експериментально-статистичних моделей і дозволяє отримувати розрахункові значення витрат компонентів сумішей, необхідних для забезпечення нормованого комплексу їх будівельно-технічних властивостей при забезпеченні мінімальної сумарної вартості.

Випущено дослідно-промислові партії палей забивних з використанням фібробетону із композиційним дисперсним армуванням, а також бетонних сумішей для виготовлення високоміцних бетонів та фібробетонів, що показали свою ефективність.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

1. Дворкін Л.Й. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / Є.М. Бабич, В.В. Житковський, О.М. Бордюженко, С.В. Філіпчук, Д.В. Кочкар'юв, І.В. Ковалик, Т.В. Ковальчук, М.М. Скрипник // Рівне: НУВГП. – 2017. – 331 с.

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Дворкін Л.Й. Оптимізація складу високоміцного сталевіфібробетону / Л.Й. Дворкін, Т.В. Ковальчук // Строительные материалы и изделия. – 2016. – №2-3 (92). – С. 38-41.

3. Дворкін Л.Й. Вплив виду сталеві фібри на міцнісні властивості сталевіфібробетонів / О.М. Бордюженко, Т.В. Ковальчук // Строительные материалы и изделия. – 2017. – №1-2 (94). – С. 25-29.

4. Ковальчук Т.В. Дослідження водопотреби фібробетонних сумішей з використанням суперпластифікаторів / Т.В.Ковальчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП. – 2017. – Вип. 34. – С. 18-26.

5. Бордюженко О.М. Розрахунок складів фібробетонів за критерієм мінімальної вартості / О.М. Бордюженко, Л.Й. Дворкін, Т.В. Ковальчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: Волинські обереги. – 2018. – Вип. 36. – С. 3-10.

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав:

6. Дворкин Л.И. Проектирование составов фибробетона с использованием экспериментально-статистических моделей / Л.И. Дворкин, В.В. Житковский, Ю.А. Степасюк, Т.В. Ковальчук // Технологии бетонов. – Москва, 2016. – № 11-12. – С. 29-37.

7. Дворкин Л.И. Технологические особенности фибробетонных смесей с использованием суперпластификаторов / Л.И. Дворкин, О.М. Бордюженко, Т.В. Ковальчук // Технологии бетонов. – Москва, 2018. – № 5-6. – С. 36-40.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Ефективність бетонів на вітчизняному суперпластифікаторі / Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський, М.М. Скрипник, Т.В. Ковальчук. // Будівництво України. – 2017. – №4. – С. 10-13.

9. Дворкін Л.Й. Вплив дисперсного армування на властивості бетону виготовленого на малоклінкерному шлакопортландцементі / Л.Й. Дворкін, Ю.О. Степасюк, Т.В. Ковальчук // Сб. трудов XIII Международной научно-практической конференции "Состояние современной строительной науки-2015". – Полтава, 2015. – С. 51-55.

10. Дворкін Л.Й. Вплив орієнтації сталеві фібри на механічні характеристики фібробетону / Л.Й. Дворкін, О.М. Бордюженко, Т.В. Ковальчук // Матеріали 6-ї міжнародної науково-практичної конференції "Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві". – Харків, 2016. – С 31-32.

11. Дворкін Л.Й. Ефективність дисперсного армування високоміцного дрібнозернистого бетону / Л.Й. Дворкін, О.М. Бордюженко, Т.В. Ковальчук // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті". – Харків, 2017. – С. 81-83.

Патент:

12. Пат. 111661 Україна МПК В28В 1/52. Спосіб отримання бетону дисперсно-армованого орієнтованою сталлюю фібрую / Л.Й. Дворкін, Є.М. Бабич, О.М. Бордюженко, В.В. Житковський, Т.В. Ковальчук // Заявник та патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201603075; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.11.2016; Бюл. № 22. – 4 с.

АНОТАЦІЯ

Ковальчук Т.В. Високоміцний фібробетон із композиційним дисперсним армуванням. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Національний університет водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України, Рівне, 2019.

Дисертаційна робота присвячена теоретичному і експериментальному дослідженню високоміцного дрібнозернистого фібробетону із композиційним дисперсним армуванням з покращеними експлуатаційними характеристиками.

Розроблено технологію та склади ефективних полідисперсноармованих фібробетонів з використанням сталюї та базальтової фібри, з покращеними властивостями за рахунок підвищення однорідності структури і суттєвого зменшення розшарування фібробетонних сумішей. Показано, що при використанні сталюї хвилястої та базальтової фібри в оптимальних співвідношеннях стає можливим одержання дрібнозернистих фібробетонів з міцністю при стиску до 100 МПа та міцністю на розтяг при згині до 20 МПа.

Ключові слова: фібробетон, композиційне дисперсне армування, фібра, міцність, розшарування, проектування складів.

АННОТАЦИЯ

Ковальчук Т.В. Высокопрочный фибробетон с композиционным дисперсным армированием. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Национальный университет водного хозяйства и природопользования Министерства образования и науки Украины, Ровно, 2019.

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию высокопрочного мелкозернистого фибробетона с композиционным дисперсным армированием с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Разработана технология и составы эффективных полидисперсноармированных фибробетонов с использованием стальной и базальтовой фибры, характеризующихся высокими эксплуатационными свойствами за счет повышения однородности структуры фибробетонов и существенного уменьшения расслоения фибробетонных смесей. Показано, что при использовании стальной волнистой и базальтовой фибры в оптимальных соотношениях становится возможным получение мелкозернистых фибробетонов с прочностью при сжатии до 100 МПа и прочностью на растяжение при изгибе до 20 МПа.

Ключевые слова: фибробетон, композиционное дисперсное армирование, фибра, прочность, расслоение, проектирование составов.

ABSTRACT

Kovalchuk T.V. High-strength fiber-reinforced concrete with composite dispersed reinforcement. – Manuscript.

PhD thesis (Doctor of Philosophy) in Engineering sciences by specialty 05.23.05 - Building materials and products. – National University of Water and Environmental Engineering, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Rivne, 2019.

The thesis is a theoretical and experimental study of high-strength fiber-reinforced concrete with composite dispersed reinforcement with improved characteristics.

On the basis of the analysis of a complex of experimental-statistical models of strength parameters of steel-fiber reinforced concrete, the efficiency of application for heavy and fine-grained concrete wavy steel fibers with increased surface of adhesion to concrete has been established. Quantitative dependencies were obtained that characterize the influence of the water-cement ratio and the fiber content on the strength of steel-fiber reinforced concrete at compressive and flexural tensile strength as well as their correlation. It is shown that application of fine-grained concrete on the studied types of fibers can increase the efficiency of the disperse reinforcement (ie, the ratio of flexural tensile strength to compressive strength) by more than twice as compared to unreinforced concrete and by 20...25% compared to coarse-grained.

The optimum content of steel fibers is determined by means of experimental statistical models in the conditions of providing maximum values of flexural tensile strength and, accordingly, of the efficiency of disperse reinforcement. With optimal values of the fiber content for different types of fiber-reinforced concrete, the coefficient of dispersion reinforcement efficiency increases by 25 ... 40%.

The effectiveness of the use of a basalt fiber in the length of fibers 12 mm in a complex with wavy steel fiber, in optimal proportions is established. Quantitative dependences were obtained characterizing the influence of water-cement ratio, cement consumption, the content of steel and basalt fibers on the compressive and flexural tensile strength of composite fiber-reinforced concrete, as well as their ratio.

The influence of the mobility of the concrete mixtures and the duration of its vibration compaction on the coefficient of bundle (homogeneity) is studied. It has been established that for fiber concrete with composite dispersed reinforcement with the same duration of vibration sealing, the bundle is smaller than for steel fiber concrete. Experimentally confirmed the hypothesis about the possibility of avoiding or significantly reducing the fiber concrete mixtures and enhancing the uniformity of the structure of fiber concretes due to composite dispersed reinforcement.

The complex of properties of fiber concretes, which characterize the features of their structure, deformability and frost resistance is studied. The best characteristics of porosity are fiber concretes with composite dispersed reinforcement.

It has been experimentally determined that for fiber concretes, especially composite, with increasing the duration of hardening up to 28 days, the ratio of flexural tensile strength to compressive strength ($f_{c,tf}/f_{cm}$), which does not directly characterize the elastic properties of concrete, decreases significantly to a lesser extent than for concrete without dispersed reinforcement. A significant increase in the ratio of flexural tensile strength to compressive strength in the case of use in a fiber concrete of a basalt fiber. Comparing analogous steel fiber concretes and composite fiber concretes, the growth of this ratio for composite fiber concretes is noted at 10...25%.

Disperse reinforcement of concrete can be considered as an additional factor, along with reduced capillary porosity, which further affects the frost resistance. Experimental studies have shown that for polydispersed reinforced fiber concretes at a flow of fibers of 100 kg/m^3 , a frost resistance of up to 500 cycles is achieved, and with superplasticizers added – 600...800. It was established that polycarboxylate superplasticizer allows to receive fiber reinforced concrete with a frost resistance of 800 and more cycles.

The increase of impact strength of fiber concrete in 6...7 times in relation to control non-reinforced concrete depending on the type and content of reinforcing elements is established. The maximum absorption of impact energy is provided by steel fibers in a composition with basalt fibers.

In the work, the design methods are proposed and the composition of fiber concrete with composite dispersed reinforcement is developed, which includes steel and basalt fibers with high early strength. Also, the technical and economic advantages of polydispersed reinforced concrete in comparison with steel fiber reinforced concrete have been experimentally confirmed.

Key words: fiber-reinforced concrete, composite disperse reinforcement, fiber, strength, stratification, mix design.

Підписано до друку 10.09.2019 р. Формат 60×90 1/16
Папір офсетний. Друк на різнографі. Гарнітура Times.
Ум. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №2019-26

*Комп'ютерний інформаційно-видавничий центр
Національного університету водного господарства та природокористування
33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11*