

*На правах рукопису*

**МАРГАЛЬ**  
Ігор Володимирович

**ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЯ  
ВИГОТОВЛЕННЯ СІРЧАНОГО  
СКЛОФІБРОБЕТОНУ**

05.23.05 — будівельні матеріали та вироби

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеню  
кандидата технічних наук

Робота виконана в Українському науково-дослідному і проєктно-конструкторському інституті будівельних матеріалів і виробів і Державному університеті «Львівська політехніка».

Наукові керівники: доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник  
ОРЛОВСЬКИЙ Юрій Ігорович  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
РАЩИНСЬКИЙ Віктор Миколайович

Офіційні опоненти: заслужений діяч науки і техніки  
України, доктор технічних наук,  
професор  
ЗОЛОТАРЬОВ Віктор Олександрович  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
КОНДРАЩЕНКО Валерій Іванович

Ведуча організація: Державний інститут горно-хімічної  
промисловості, Львів

Захист дисертації відбудеться «20» 12 1994 р.  
о 14<sup>00</sup> г. на засіданні спеціалізованої ради Д.068.33.01 за  
фахом 05.23.05 — будівельні матеріали та виробы Харківського  
Державного технічного університету будівництва і архітектури  
за адресою: Харків, 310002, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ХДТУБА.

Автореферат розіслано «15» 11 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради,  
доктор технічних наук, професор *У.В. А.* ЄМЕЛЬЯНОВА

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00777216 (U)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

За останні роки в практиці будівництва знаходять застосування технічна сірка та відходи, які містять сірку, промислових виробництв, що добувають і переробляють сірку.

Застосування сірки в будівництві довгий час викликало скоріше академічний, чим практичний інтерес. Проте в теперішній час ситуація кардинально змінюється за двома причинами. Перша зв'язана з питанням використання попутної / газової / сірки, яку одержують з вторинних джерел сировини шляхом очистки відхідних газів промислових підприємств і ТЕС; друга, зв'язана з використанням багатотонажних сірковмістких відходів, що утворюються при добуванні та переробці сірки, при виробництві сірчаної кислоти, мінеральних добрив тощо. Дана проблема актуальна для України і, особливо, її західного регіону, так як тут зосереджені основні обсяги сіркодобувної промисловості всього колишнього Союзу.

Використання сірки та відходів, що містять сірку, в будівельній індустрії дозволяє розширити номенклатуру будівельних матеріалів і виробів підвищеної корозійної стійкості та довговічності, розробити нові матеріали з високими експлуатаційними та антикорозійними характеристиками.

Поряд з високими фізико-механічними властивостями та хімічною стійкістю сірчаній бетон має ряд істотних недоліків: високу крихкість, низьку ударну міцність, невисоку термостійкість та витривалість. Практично відсутні дослідження армованих сірчаных бетонів, їх довговічності та корозійної стійкості, що в значній мірі обмежує галузі їх практичного застосування в будівельній практиці.

Тема даного дослідження - складова частина комплексу робіт, які були передбачені "Координаційним планом науково-дослідницьких

робіт і дослідно-промислового впровадження сірчанних бетонів і бетонів, просочених сіркою, на 1985 рік і на 1986-1990 рр.", затвердженим Держбудом СРСР ІЗ.05.1985 р. № І5-683.

Метою роботи є розробка оптимальних складів сірчаного бетону, дисперсно-армованого скловолокном, на основі вивчення його фізико-механічних властивостей і технологічних особливостей виготовлення будівельних виробів і конструкцій.

Наукова гіпотеза. Як показує аналіз різних видів арматури та проведених досліджень, питання армування сірчаного бетону сталевую арматурою викликає певні сумніви, зв'язані перш за все з кислотним характером середовища бетону, та вимагає детального всебічного вивчення.

Оскільки сірка хімічно інертна до скловолокна, можна передбачити, що сірчанний бетон буде характеризуватися високими пасивними властивостями у відношенні до скловолокна на відміну від цементних бетонів, лужне середовище яких чинить руйнівну дію. Це дозволяє для армування сірчанних бетонів використовувати звичайне алюмосилікатне скловолокно, яке є менш дефіцитним і більш економічно доступним, чим лугостійке.

#### Автор захищає:

- склад дисперсно-армованого скловолокном немодифікованого і модифікованого бетонів;
- результати досліджень міцнісних і деформативних властивостей розроблених складів;
- експериментально-статистичні моделі / ЕСМ /, які відображають закономірності впливу рецептурно-технологічних факторів на основні фізико-механічні характеристики;
- результати експериментального дослідження коефіцієнтів лінійного температурного розширення / КЛТР / та оцінки сумісної роботи сір-

кобетонної матриці і скловолокна;

- рекомендації з прогнозування коефіцієнта об'ємного армування та міцності сірчаного склофібробетону / ССФБ /;

- результати дослідження тріщиностійкості та витривалості ССФБ оптимального складу;

- рекомендації з технології виготовлення склофібробетону та номенклатуру виробів на його основі.

Наукову новизну роботи складають:

- оптимізовані склади сірчаного склофібробетону;

- результати дослідження міцності та деформативності ССФБ;

- фізико-механічні характеристики, необхідні для розрахунку елементів та конструкцій із ССФБ;

- результати дослідження тріщиностійкості та в'язкості руйнування з позиції механіки руйнування твердого тіла;

- результати досліджень витривалості ССФБ.

Практичне значення та реалізація результатів дослідження.

Науково обгрунтовані принципи оптимізації складів і структури дозволяють проектувати робочі склади ССФБ підвищеної міцності, тріщиностійкості та витривалості для виготовлення будівельних матеріалів і конструкцій різноманітного призначення.

На основі результатів досліджень властивостей ССФБ розроблений технологічний регламент, використаний при проектуванні та монтажі трьох технологічних ліній з виробництва виробів із сірчаного бетону.

За безпосередньою участю автора розроблені наступні документи: "Временная инструкция по технологии изготовления серных бетонов", 1987; "Рекомендации по изготовлению стеклофибробетона на основе серного связующего", 1993; "Руководство по применению и технологии изготовления серных и полимерсерных мастик и бетонов в строительстве",

1994; "Инструкция по изготовлению и применению столбиков направляющих сигнальных из серного бетона", 1994; "Рекомендації по виготовленню склофіробетону на основі сірчаного в'язучого", 1994.

В 1983...1985 рр. на Стрийському гравійно-дробильно-сортувальному заводі /с.Пісчани/ була відпрацьована дослідно-промислова технологія виготовлення ССФБ /базові вироби - тротуарна плитка, бордюр/.

В 1987...1990 рр. на дослідно-промисловій установці з виробництва виробів із сірчаного бетону на заводі "Поліфір" /сmt.Городок Львівської обл./ і для благоустрою території заводу "Поліфір".

В 1991...1993 рр. на Львівському ДБК-2 були виготовлені надвіконні перемички та елементи каналізаційних люків із ССФБ, які були впроваджені на об'єктах колективного підприємства "Бізон" /колишнє РЕУ-5 Львівського Міськрембудтресту / в м.Львові.

В 1990 р. в м.Ново-Яворівську /Львівська обл./ на збагачувальній фабриці Яворівського БО "Сірка" було збудовано цех з виготовлення конструкцій із сірчаного бетону. Проектна документація та будівництво цеху були здійснені Львівським інженерним центром "Будівельник" за участю автора. Продукція, освоєна цехом - дорожні плити розмірами 1,75x1,0 і 1,75x1,5 м під навантаження НК-80 та плити розмірами 50x50x5 см для влаштування підлог, тротуарів, площ.

**А п р о б а ц і я р о б о т и.** За матеріалами дисертації опубліковано 20 друкованих праць, в тому числі 5 інструктивно-нормативних документів.

Результати досліджень доповідались на науково-технічній конференції Криворізького гірничо-рудного інституту, Кривий Ріг, 1985; науково-технічному семінарі: "Технология изготовления фибробетонов, применение их в стрительных конструкциях", Челябинськ, 1986; Всесоюзній конференції "Новые формы, виды, модификации серы и серной продукции", Львів, 1988; Всесоюзній конференції "Применение эффективных П-бетонов в машиностроении

и строительстве", Вильнюс, 1989; I Всесоюзній конференції "Применение серы и серосодержащих отходов в строительной индустрии", Львів, 1990; Всесоюзній зональній конференції "Проблеми технології виробництва строителных работ при реконструкции действующих предприятий", Пенза, 1990; сумісному симпозіумі Львівського і Лешувського /Польща/ політехнічних інститутів, Львів, 1991; XXXII Українському семінарі "Експериментально-статистическое моделирование в компьютерном материаловедении", Одеса, 1993; Міждержавному семінарі "Анализ и оптимизация грубогетерогенных композиционных материалов", Одеса, 1993; Міждержавному семінарі "Принятие рецептурно-технологических решений по экспериментально-статистическим моделям", Одеса, 1994; УП Міжнародному конгресі з композиційних матеріалів, Софія /Болгарія/, 1994; щорічних науково-технічних конференціях викладацького складу Державного університету "Львівська політехніка", Львів, 1984...1993 рр.

**О б'є м і с т р у к т у р а дисертації.** Дисертація містить 205 сторінок машинописного тексту; 58 рисунків і фотографій, 17 табл.; складається із вступу, 5 глав, загальних висновків, списку літератури із 105 найменувань і додатків.

Дисертаційна робота виконувалась в 1984...1993 рр. на кафедрі "Будівельне виробництво" інженерно-будівельного факультету Львівського політехнічного інституту та в лабораторії технології будівельних матеріалів і виробів Львівського філіалу науково-дослідного інституту будівельних матеріалів і виробів під керівництвом д.т.н., с.н.с. Ю. І. Орловського і к.т.н., доцента В.М. Ращинського.

Автор приносить щире подяку професору В.В. Патурову /НДІЗБ, Москва/ і професору Г.В. Марчюкайтису /Вільнюський технічний університет, Литва/ за цінні поради та постійну увагу до роботи.

## КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі розглянуто стан питання, наукова гіпотеза та завдання дослідження.

Відмічається, що метою армування є збільшення міцності бетону на розтяг, яка досягається направленим чи дисперсним армуванням. Особливістю бетону, армованого дисперсною арматурою є те, що він, при всій своїй гетерогенності, володіє ізотропними властивостями. При цьому зберігається асиметрія властивостей, яка заключається в залежності властивостей від знаку напружень, тобто границя міцності на стиск і розтяг при дії сил по одній і тій же осі відрізняються в декілька разів.

Дисперсне армування бетону волокнами, крім підвищення міцності на розтяг, дозволяє збільшити міцність на стиск, ударну міцність, витривалість при багатократно-повторних навантаженнях, підвищує зносостійкість і морозостійкість. Волокна перешкоджають ранній появі тріщин, а при їх утворенні - розкриттю.

Розглянуто питання дисперсного армування цементних бетонів різними видами волокон /сталюними, скляними, асбестовими, органічними та ін./, показано їх недоліки та позитивні якості, визначено основні напрямки досліджень в області склофіробетону. Показано, що по ряду фізико-механічних показників найбільш перспективним для армування цементних бетонів є скловолокно, однак лужне середовище цементних бетонів агресивне по відношенню до скловолокна, і для армування необхідне застосування спеціального лугостійкого скловолокна.

Оскільки середовище сірчаного бетону неагресивне до скловолокна, відкривається перспектива армування такого виду бетону звичайним алюмосилікатним скловолокном. Розглянуто стан досліджень армування сірчаного бетону, в тому числі скловолокном. Проаналізовані небагаточисленні праці в цьому напрямку, виконані в Канаді, США, Німеччині, в Росії

/В.В.Патуров/, в Казахстані /В.М.Воліков, Ф.Д.Манербасаєва/ та в Україні /Ю.І.Орловський, В.І.Хоржевський, В.М.Ращинський/.

На основі вивчення літературних даних і досвіду застосування сірчаних мастик і бетонів у нас в країні та за кордоном, для досягнення мети досліджень автором послідовно вирішувалися наступні задачі.

Розробити оптимальні склади та дослідити основні фізико-механічні властивості сірчаних та полімерсірчаних бетонів, дисперсно-армованих скловолокном.

Використовуючи методи математичного планування експериментів, розробити експериментально-статистичні моделі / ЕСМ /, які відображають закономірність впливу факторів рецептури та технології на показники фізико-механічних властивостей.

Вивчити питання сумісної роботи немодифікованої та модифікованої бетонної матриці з звичайним алюмосилікатним скловолокном.

Дослідити параметричні рівні тріщиноутворення сірчаного та полімерсірчаного склофібробетону, оцінивши його тріщиностійкість з позицій механіки руйнування твердого тіла.

Вивчити витривалість сірчаного бетону оптимального складу, дисперсно-армованого скловолокном, при дії багатократно-повторних навантажень і вплив модифікованого стану сірки на витривалість.

Розробити рекомендації з технології армування сірчаних бетонів скловолокном, визначити доцільну номенклатуру виробів і конструкцій та оцінити техніко-економічну ефективність їх застосування в будівництві.

Ознайомлення зі станом питання армування цементних і сірчаних бетонів, а також аналіз проведених раніше досліджень дозволив зробити наступні висновки.

Армування цементних бетонів скловолокном дає можливість в знач-

ній мірі підвищити їх тріщиностійкість, міцність на розтяг і тим самим створити перспективи одержання полегшених тонкостінних конструкцій.

Труднощі використання скловолокна для армування цементних бетонів заключаються перш за все в тому, що лужне середовище таких бетонів сприяє розвитку корозії скловолокна і з часом останнє знижує свої фізико-механічні характеристики та адгезію з бетонною матрицею.

Тому для армування цементних бетонів звичайне скловолокно не придатне і вимагається використання лугостійкого, яке в теперішній час є дефіцитним і дорогим, що перешкоджає широкому впровадженню в будівництво склофібробетону на основі цементних в'язучих, які застосовуються для звичайних бетонів.

В теперішній час за кордоном відповідне впровадження одержали спеціальні бетони на основі сірчаного в'язучого, які характеризуються високими фізико-механічними властивостями і корозійною стійкістю. Із закордонної практики відомі приклади армування сірчаного бетону сталевю арматурою, однак її застосування ставиться під сумнів в зв'язку з ймовірністю корозії в середовищі сірчаного бетону, особливо при розкритті тріщин і високій вологості навколишнього середовища. В той же час питання дисперсного армування сірчаного бетону скловолокном практично не вивчене і необхідне детальне всебічне дослідження системи скловолокно-сірчаного бетону.

В другому розділі приводяться дані про вихідні матеріали, технологію виготовлення дослідних зразків і методику досліджень.

В якості в'язучого використовувалась технічна природна сірка підземної виплавки Яворівського ВО "Сірка" /Львівська обл./, що відповідає ГОСТ 127-76<sup>№</sup>.

В якості структуроутворюючого дрібнодисперсного наповнювача застосовувалась кварцева мука з питомою поверхнею 3250...5820 см<sup>2</sup>/г.

В якості мінеральних заповнювачів застосовувались: дрібного-пісок кварцевий, крупного - гранітний щебінь. Модуль крупності піску складав 1,4, гранулометричний склад щебню - 5...10 мм.

Модифікатором сірки був кам'яновугільний діциклопентадієн / ДЦПД /, який випускається Баглейським коксохімічним заводом /Україна, м.Дніпродзержинськ /. Технологія модифікування сірки ДЦПД була прийнята згідно з рекомендаціями д.т.н.Ю.І.Орловського. Кількість модифікатора складала 2,5...7,5 % від маси сірки.

Армувчими елементами були відрізки алюмоборосилікатного скловолокна марки К-04 довжиною 10...60 мм. Так як тонкі моноволокна мають невисоку міцність на згин, а більш товсті - на розтяг, для армування замість моноволокна застосовувались пучки - мононитки. Середній діаметр моноволокна складав 13 мкм; міцність на розтяг - 1490 МПа.

Базовий склад сірчаного бетону / матриці / був прийнятий наступним: С:Н:П:Щ = 1:2:2:3. Згідно з програмою випробувань виготовляли два види сірчаного бетону: з застосуванням елементарної технічної сірки / зразки серії ССФБ / та сірки, модифікованої діциклопентадієном - полімерсірчанний бетон / зразки серії ССФЕМ /.

Виготовлення обох видів бетону виконувалось за двохетапною технологією. Перший етап - приготування сірчаної мастики, другий - сірчаного бетону. Модифікування сірки проводилось у реакторі з вертикальною лопасною мішалкою; приготування бетонної суміші - в змішувачі примусового перемішування. Теплоносієм було трансформаторне масло з температурою  $+ 145 \pm 5$  °С.

Армування суміші проводилось за наступною технологією. При перемішуванні бетонної суміші безпосередньо в змішувач подавався порубаний на відрізки заданої довжини склоровінг. Різка ровінга проводилась пістолетом - напильвачем з ножевим пристроєм конструкції Львів-

ського відділу НДІБВ Держбуду України /Київ/. Дозування волокна проводилось за масою.

При дослідженнях застосовувались наступні методики. Дослідження структури бетону проводилось з допомогою електронного сканувачого мікроскопу "JSM-25S" / Японія /. Фізико-механічні характеристики бетону вивчали з застосуванням гідравлічного пресу та розривної машини з записом діаграм "навантаження - деформації". Деформації бетону вимірювались тензодатчиками та індикаторами годинникового типу з реєстрацією приладом АКД-ІМ.

Дослідження коефіцієнтів лінійного температурного розширення проводили на ділатометрі ДКВ-2 та спеціальній установці, зібраній на базі сушильної термощафи. Температура контролювалась термоелектричними перетворювачами та потенціометром.

Зміни в структурі бетону при дії стискуючих зусиль вивчались за допомогою приладу УКБ-ІМ. Дослідження параметричних рівнів тріщиноутворення проводилось за методикою проф. О.Я. Берга з врахуванням ультразвукових і тензометричних вимірювань.

Оцінка в'язкості руйнування бетону проводилась за методикою проф. В.І. Шевченка з позицій механіки руйнування твердих тіл. Методика передбачає випробування зразків на розтяг при згині з штучною тріщиною на пресі, який дозволяє записати повну з нисхідною віткою діаграму деформування зразка. Для випробувань використовувався гідравлічний прес фірми "Амслер" / Швейцарія / зі спеціальним пристроєм. Зусилля на зразок в середині прольоту передавались через попередньо протарований зразковий динамометр стиску ДОСМ-3. Розтягуючі напруження в бетоні, в зоні штучної тріщини, фіксувались тензодатчиками опору з записом на самописець. Прогини в середині прольоту замірялися мікроіндикаторами годинникового типу. Динамічний модуль пружності визначався за допомогою приладу КЧМ резонансним методом.

Опір бетону зрушуванню штучної тріщини оцінювали за критичним коефіцієнтом інтенсивності напружень  $K_{Ic}$ ; опір стійкому росту тріщини - за енергетичною характеристикою, яка встановлювалась на основі аналізу нисхідної вітки діаграми деформування зразка з штучною тріщиною.

Для проведення випробувань багатократно-повторним навантаженням була сконструйована установка вібраційної дії, в якій змінні зусилля створювали 4 ексцентрики на двох валах, що обертались синхронно в протилежних напрямках. Випробування проводились при характеристикі циклу напрут  $\rho = 0,5$  при частоті 50 гц. Методика визначення витривалості бетону на базі 2 млн.циклів, з метою зменшення кількості зразків, була наступною. Зразок навантажувався з відносним рівнем навантаження, який був свідомо нижче коефіцієнта витривалості, рівного 0,25, і випробовувався до 100000 циклів. Після цього, якщо зразок не руйнувався, наступний навантажувався попереднім рівнем навантаження та прикладався 1 млн.циклів. Якщо і після цього зразок не руйнувався, відносний рівень навантаження підвищувався на 0,02 і знову прикладався 1 млн.циклів. Далі крок зміни навантаження не змінювався, але решта зразків випробовувались базовою кількістю циклів. Така методика дозволила швидко визначити рівень відносної границі витривалості бетону, використовуючи мінімальну кількість зразків.

Науковою базов приведенних випробувань стали роботи вітчизняних вчених в галузі бетоноведення І.Н.Ахвердова, В.І.Бабушкіна, Ю.М.Баженова, П.І.Боженова, О.Я.Берга, В.А.Вознесенського, В.М.Вирового, Г.І.Горчакова, І.М.Грушко, П.В.Кривенка, О.П.Мчедлова-Петросяна, І.А.Риб'єва, Б.Г.Скрамтаєва, А.Б.Шейкіна, О.В.Ушєрова-Маршака, В.Л.Чернявського та ін.; в області склоцементу та склофіробетону В.Б.Арончика, К.Л. і Ю.Л.Бірюковичів, І.В.Волкова, Ш.Я.Ізмайлова, А.В.Казаряна,

А.Х.Карапетяна, А.А.Пашенко, Ф.Н.Рабиновича, Н.Б.Ур'єва, Г.К.Хайдукова.

Третій розділ дисертації присвячений вивченню структури та фізико-механічних властивостей сірчаного склофібробетону.

Вивчення структури ССФБ на мікро-мезо-макрорівнях показало, що він являє собою гетерогенний ізотропний композиційний матеріал, особливістю якого є асиметрія механічних властивостей, що залежать від знаку напруження.

Границя міцності на стиск і розтяг при дії сил по одній і тій же площині відрізняється в 5...6 разів, що значно вище, чим в цементних бетонах.

Вивчення фізико-механічних характеристик сіркобетонної матриці базового складу С:Н:П:Щ = 1:2:2:3 показало наступне.

Питома поверхня наповнювача / кварцевої муки / впливає на міцність бетонної матриці. Максимальне значення міцності одержано при питомій поверхні 4500 см<sup>2</sup>/г.

Оптимальний вміст модифікатора - ДППД складає 5 % від маси сірки. Така кількість дозволяє одержати оптимальну в'язкість суміші та міцність матриці з врахуванням температурно-часового режиму процесу співополімеризації сірки і модифікатора.

Міцність модифікованої матриці на розтяг при згині та осьовий розтяг збільшилась у порівнянні з немодифікованою на 39...98 і 89...176 % відповідно.

Величина початкового модуля пружності знижується зі збільшенням дисперсності наповнювача і кількості модифікатора. При питомій поверхні кварцевої муки 5800 см<sup>2</sup>/г і вмісті ДППД 7,5 % початковий модуль пружності матриці складав 41,2, немодифікованої - 50,1 МПа.

Вивчення впливу параметрів армування / % армування і довжини волокна / на міцність при розтягу ССФБ показало наступне. Виходячи з технологічних властивостей суміші / в'язкості, зручності укладальності /

і кінцевої щільності композиту максимально допустимий процент армування для досліджуваних складів складає 2 % / 12,5 % від маси сірки / при ефективній довжині волокна 20...50 мм.

Максимальна величина міцності на розтяг і осьовому розтязі отримані при величині питомої поверхні кварцевої муки  $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ , довжині волокна 30...50 мм і його об'ємному вмісті до 2 %.

Модифікування ССФБ 5 % ДППД / зразки серії ССФБМ / додатково збільшує міцність композиції на розтяг. Збільшення міцності на розтяг при згині складало в 1,41...2,26, при осьовому розтязі - в 2,16...2,89 разів.

Максимальна величина модуля пружності модифікованої матриці перевищувала цей же показник для немодифікованої матриці на 3...7 % при вмісті скловолокна 1 % / 7,5 % від маси сірки / і довжині 30 мм; при коефіцієнті армування більше 1 % спостерігалось зниження модуля пружності, що пояснюється зменшенням щільності суміші за технологічними причинами.

Коефіцієнт Пуасона незалежно від об'ємного вмісту волокна був постійним і мало відрізнявся від коефіцієнта Пуасона матричних зразків.

Модифікування та армування матриці значно впливає на деформативні характеристики композиту. При коефіцієнті армування більше 1 % зниження модуля пружності досягало 25 % і залежало від вмісту ДППД. Максимум зниження модуля пружності спостерігалось при вмісті ДППД 7,5 %.

На відміну від сіркованого бетону, ССФБ володіє підвищеними пластичними деформаціями. Середні деформації розтягу немодифікованого бетону до моменту руйнування складали  $40...60 \cdot 10^{-5}$ , модифікованого -  $50...70 \cdot 10^{-5}$ .

Виходячи з результатів проведених досліджень міцнісних і де-

формативних властивостей ССФБ, побудовані експериментально-статистичні моделі, що відображають закономірності впливу чотирьох факторів рецептури на фізико-механічні властивості ССФБ: питомої поверхні наповнювача, кількості модифікатора, довжини волокна та його об'ємного вмісту.

Вихідними параметрами після вирішення чотирьохфакторної задачі оптимізації шляхом суміщення діаграм "квадрат на квадраті" стали міцність на розтяг при згині, при осьовому розтязі і початковий модуль пружності.

У зв'язку з хімічною інертністю сірки до скловолокна, в зоні їх контакту в матриці за бігом часу ніяких процесів не проходить, що визначає більш високу стабільність адгезійних зв'язків при нормально-вологісному стані бетону, ніж у випадку дисперсного армування скловолокном цементно-бетонної матриці.

Висока термочутливість сірки істотно відбивається на опірності сірчаного бетону впливу температур. Дослідження температурного коефіцієнта лінійного розширення при варіюванні двох факторів-вмісту модифікатора і скловолокна, показало, що збільшення їх вмісту знижує ТКЛР матриці. Мінімальна величина ТКЛР, рівна  $0,9 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , одержана при вмісті модифікатора 7,5 % і волокна I % / 7,5 % від маси сірки /.

При зниженні температури ТКЛР ССФБ знижується і зближується за величиною з ТКЛР алюмоборосилікатного скловолокна, рівного  $0,58 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , що сприяє покращенню термосумісності матриці і скловолокна.

Для прогнозування об'ємного коефіцієнта армування та границі міцності ССФБ при розтягу запропонована методика та залежності, що приведені в "Рекомендаціях по виготовленню склофіробетона на основі сірчаного в'язучого", Львів, 1993 р.

В четвертому розділі викладені результати досліджень тріщино-стійкості та витривалості ССФБ.

Дослідження параметричних рівнів / нижньої і верхньої границі мікротріщиноутворення / показало, що нижній рівень для матричних зразків досліджуваного складу становить 0,60...0,67, для ССФБ - 0,75...0,80, тобто на 19...25 % вище; верхній рівень відповідно 0,73...0,75 і 0,89...0,93 руйнуючого призмового навантаження.

Модифікування матриці 5 % ДЦЦД підвищило величину параметричних рівнів. Нижня границя для матриці складала 0,67...0,71, верхня - 0,85...0,88; для ССФБ відповідно - 0,77...0,81 і 0,93...0,96.

Підвищення параметричних рівнів модифікованого ССФБ пояснюється підвищенням долі пружно-пластичних деформацій і збільшенням зчеплення між компонентами бетону.

Розрахунок параметричних рівнів за залежностями, запропонованими О.Я.Бергом, показав незадовільну схожимість з дослідом. Дослідні величини відносного нижнього і верхнього параметричних рівнів виявились значно вищими за розрахункові. Для матриці із сірчаного бетону рекомендується параметричні рівні визначати з врахуванням відкоректованих емпіричних коефіцієнтів.

Для модифікованої матриці і ССФБ величина параметричних рівнів залежить від вмісту модифікатора та скловолокна. Розрахункові залежності рівнів від призмової міцності можуть бути одержані після проведення детальних досліджень різних складів ССФБ.

Дисперсне армивання та модифікування сірчаного бетону збільшує енергію, яка необхідна для процесів руйнування фібр, тобто збільшує в'язкість руйнування. Фібри затримують розвиток тріщин, створюючи бар'єри на шляху їх розвитку, збільшуючи звивистість розростання тріщин.

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Встановлено, що модифікування і дисперсне армування матриці знижує величину динамічного модуля пружності та збільшує енергію руйнування. Для досліджуваного складу ССФБ енергія руйнування досягала: для немодифікованої матриці 509...600, для модифікованої - 652...704 н/м, що в 3,9 і 3,6 рази перевищувало  $G_R$  відповідно для розглядуваних матриць.

Критичний коефіцієнт інтенсивності напружень збільшувався прямо пропорційно збільшенню міцності бетону на розтяг і для ССФБ складав: для немодифікованої матриці 4,14...4,50, модифікованої - 4,82...5,09 мн/м<sup>3/2</sup>.

Розрахунок  $K_{IC}$  за формулою з використанням динамічного модуля пружності та енергії руйнування:  $K_{IC} = \sqrt{E_d G_R}$ , показав хороше співпадання результатів з результатами, одержаними при випробуванні зразків з штучною тріщиною, і підтверджує надійність і достовірність оцінки в'язкості руйнування за двома методиками, що використовуються в дослідженнях.

Дисперсне армування скловолокном ССФБ виявило значний вплив на міцнісні характеристики бетону і його витривалість при дії багатократно-повторного навантаження.

Встановлено роль скловолокна та характер руйнування зразків при їх випробуванні на розтяг при згині багатократно-повторним навантаженням. З одного боку, волокна є концентраторами напружень, з другого - уповільнюють і гальмують розвиток мікротріщин. При довжині волокна меншій за критичну переважає перший ефект, більший за критичну - другий.

Аналіз результатів випробувань показав, що модифікування сірки 5 % ДШЦД в 2,2 рази підвищило абсолютну границю витривалості ССФБ. Дисперсне армування матриць скловолокном в залежності від його довжини і об'ємного вмісту додатково підвищило ці параметри: для немодифікованої матриці в 1,08...1,32 і 1,45...2,70 рази, модифікованої в 1,04...1,32

і 1,36...2,35 рази.

В п'ятому розділі дисертації викладені питання технології виготовлення ССФБ і виробів на його основі та результати дослідно-промислового впровадження\* в будівництво. Розглянуто способи і технологічні особливості виготовлення бетонних виробів, армованих скловолокном.

Враховуючи технології виготовлення цементного склофібробетону і особливості технології виготовлення сірчаного бетону, при розробці дослідно-промислової технології виготовлення виробів із ССФБ було опробовано два способи.

Перший спосіб передбачав виготовлення ССФБ в змішувачі примусової дії, призначеному для виготовлення сірчаного бетону. При цьому способі скловолокно у виді ровінгу з допомогою пістолету, оснащеного пристроєм для різки волокна на відрізки заданої довжини, подавалось прямо в змішувач. Тривалість перемішування суміші встановлювалась експериментально за результатами контролю рівномірності розподілу волокна в матриці та міцності бетону.

Другий спосіб передбачав пошарове армування скловолокном, що напильється тим же пістолетом на бетонну суміш, яка вкладається безпосередньо в форми.

Дослідно-промислова перевірка обох способів проводилась на технологічних лініях з виробництва неармованого сірчаного бетону, змонтованих і запущених в 1987...1990 р. Львівським інженерним центром "Будівельник". В результаті проведеної роботи було розроблено технологічний регламент . вищеперелічену інструктивно-нормативну документацію з технології виготовлення ССФБ і виробів на його основі, а також було розроблено пропозиції з номенклатури будівельних виробів і конструкцій.

ССФБ доцільно застосовувати для корозійностійких виробів і конструкцій, головним чином тонкостінних, наприклад, листових плоских, хви-

лястих,гнутоформованих,а також в просторових і багат шарових, для яких істотне значення має: зниження власної ваги; підвищення тріщиностійкості та ударної міцності,підвищення зносостійкості та витривалості;високий електричний опір.

Раціональними виробами із ССФБ є: плити збірних підлог і дорожніх покриттів,елементи незнімної опалубки; труби,елементи оглядових колодязів,лотки різного призначення,палі та залізничні шпали,криволінійні елементи гідротехнічних споруд, оздоблення тунелей,складні архітектурні форми,декоративні екрани,гідроізоляційні та хімічностійкі покриття,підсилення елементів конструкцій будинків і споруд при реставрації,ремонті та реконструкції,елементи та конструкції для будинків і споруд енергетичного та сільськогосподарського будівництва.

Техніко-економічний аналіз показує,що потенціал економічна ефективність від впровадження виробів із ССФБ може бути одержана за рахунок зниження матеріаломісткості,півщення корозійної стійкості та довговічності виробів і конструкцій. Дисперсне армування дозволяє зменшити січення елементів,забезпечуючи високу механічну,ударну міцність,а також в значній мірі підвищуючи тріщиностійкість і витривалість виробів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1.Розроблені оптимальні склади сірчаного бетону,дисперсно-армованого звичайним алюмоборосилікатним скловолокном.Виявлена роль модифікатора / ДППД / на властивості сіркобетонної матриці.

2.Вивчені та установлені основні фізико-механічні характеристики розроблених складів /див.табл./. Показана роль скловолокна та модифікатора в процесі формування структури сірчаного склофібробетону і його вплив на міцність і деформативність.

3.Одержано експериментально-статистичні моделі,що відображають

закономірності впливу рецептурно-технологічних факторів на основні фізико-механічні властивості ССФБ: міцність на осьовий розтяг, на розтяг при згині та початковий модуль пружності.

4. Вивчено сумісну роботу скловолокна та сіркобетонної матриці при підвищенні температури до  $+ 50^{\circ}\text{C}$ . Експериментально встановлені коефіцієнти температурного лінійного розширення в залежності від об'ємного вмісту скловолокна та модифікатора.

5. Показано вплив модифікованого стану сіркобетонної матриці на параметричні рівні мікротріщиноутворення.

6. Досліджено тріщиностійкість сірчаного склофібробетону з позицій механіки руйнування твердого тіла з використанням нисхідної вітки діаграми деформування зразка при випробуванні на розтяг при згині зі штучною тріщиною.

Показано роль модифікованого стану сірки та скловолокна при оцінці в'язкості руйнування сірчаного склофібробетону. Експериментально встановлено коефіцієнт інтенсивності напружень і енергії руйнування ССФБ оптимального складу.

7. Досліджено витривалість немодифікованого та модифікованого ССФБ при дії багатократно-повторного навантаження. Експериментально встановлено базовий і біжучий відносні коефіцієнти витривалості.

8. Розроблені рекомендації з технології виготовлення ССФБ та виробів на його основі. Запропонована номенклатура будівельних виробів і конструкцій. Показано потенційну техніко-економічну ефективність розробленого композиційного матеріалу.

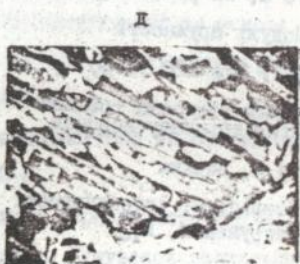
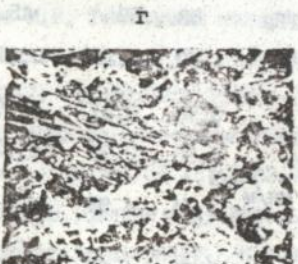
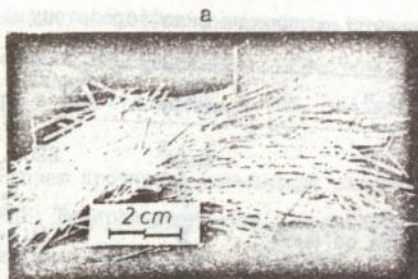
9. Результати досліджень використані при розробці дослідно-промислових технологічних ліній виробництва виробів і конструкцій на основі сірчаного в'язучого і конструктивно-нормативної та технологічної документації.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Маргаль И.В. Физико-механические свойства стеклофибробетона, армированного щелочестойким стекловолокном. //Вестник ЛПИ: Резервы прогресса в архитектуре и строительстве. № 183. - Львов:Выща школа, 1984. - С.40-41.
2. Маргаль И.В. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов. //Вестник ЛПИ: Резервы прогресса в архитектуре и строительстве. № 212. -Львов:Выща школа,1987. - С.62-64.
3. Орловский Ю.И.,Маргаль И.В.,Савчик А.Д. Армирование бетоносерополимеров. //Сб."Разработка рекомед.по исслед.и использованиу природ.мнер.ресурсов. -Киев:НИИСМИ,1988. - С.71-81.
4. Орловский Ю.И.,Маргаль И.В.,Савчик А.Д. Использование серо-содержащих отходов для получения серобетонов и бетоносерополимеров. //Вісник ЛПІ:Резерви прогресу в архітектурі та будівництві.№ 252. - Львів: Світ,1991. -С.96-97.
5. Маргаль И.В. Технология изготовления конструкций на основе серного связующего.//Вісник ЛПІ: Резерви прогресу в архітектурі та будівництві. №262. -Львів:Світ,1992. - С.49-50.
6. Рекомендации по изготовлению стеклофибробетона на основе серного связующего. - Львів:УОД ЛПІ,1993. - 32 с.
7. Маргаль И.В.,Савчик А.Д. Использование серного бетона для ремонтно-подготовительных работ.//Научные труды Жешувской политехники: Строительство и инженерия. Ч.21. -Жешув /Польша/,1993. - С.217-219.
8. Маргаль И.В.,Корвин В.,Радинский В.Н. Огнестойкость серных композиций,армированных стекловолокнистыми материалами. //Проблеми огнезащити строительных материалов и конструкций. Докл.І Межгосударст. семинару. -Львов,1994. - С.183-189.
9. Маргаль И.,Радинский В. Серный стеклофибробетон.Докл.УІ Международному конгрессу по механике и технологии композиционных материалов. - София /Болгария/,1994.

Характеристика та основні фізико-механічні  
властивості сірчаного склофібробетону

Показники	Один. виміру	Сірчаний СФБ	Полімерсірча- ний СФБ
Щільність	кг/м <sup>3</sup>	2200...2300	
Пористість	%	1...2	
Еміст волокна за об'ємом	%	0,5...1,8	
Довжина волокна	мм	30	
Еміст модифікатора /ДППЦ/	%	-	5
Питома поверхня наповнювача	см <sup>2</sup> /г	4500	
Склад бетону матриці С:Н:П:Щ	-	1:2:2:3	
Міцність на стиск	МПа	54...56	69...70
те ж, на осьовий розтяг	МПа	5...6	12...14
те ж, на розтяг при згині	МПа	21...25	30...35
Модуль пружності	ГПа	53...57	45...53
КМТР при +23...+50 °С	°С <sup>-1</sup>	1,10...1,12	0,91...1,00
Нижня відносна границя мікротріщиноутворення	-	0,75...0,81	0,77...0,84
те ж, верхня	-	0,90...0,92	0,93...0,96
Коефіцієнт інтенсивності напруження, K <sub>IC</sub>	мн/м <sup>3/2</sup>	4,14...4,99	4,81...5,26
Відносний коефіцієнт витри- валості	-	0,72...0,96	0,79...1,09



Скляна фібра / а /; сірбетонна матриця, х300 / б /;  
 сірбетонна матриця, армована скловолокном, х200/в/;  
 зона контакту волокна і матриці, х200 / г /; структура  
 склофіробетону після випробування зразка на розтяг  
 при згині, х1000 / д /

Маргаль И.В. Свойства и технология изготовления серного стеклофибробетона.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия. Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Харьков, 1994.

Защищается диссертация объемом 205 стр., которая содержит экспериментально-теоретические исследования свойств и технологии изготовления серного стеклофибробетона. Изучены и установлены основные физико-механические характеристики разработанных составов. Получены закономерности влияния рецептурно-технологических факторов на свойства. Осуществлено опытно-промышленное внедрение предложенной технологии. Потенциальная экономическая эффективность может быть получена за счет снижения материалоемкости, повышения коррозионной стойкости и долговечности изделий, уменьшения сечения элементов, обеспечивая высокую механическую и ударную прочность, выносливость и повышенную трещиностойкость в процессе эксплуатации.

Ключові слова: сірчаный бетон, скловолокно, склофібробетон, властивості, технологія.

Margal I.V. Properties and technology of production of Sulphur fibrous-glass concrete.

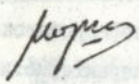
The dissertation for getting degree of Candidate of Technical science, speciality 05.23.05 "Building materials and articles".

Kharkov State Technical University of Building and Architecture, Kharkov, 1994.

Volume of the dissertation is 205 pages. The results of experimental and theoretical investigations of properties and technology of production sulphur fibrous-glass concrete are presented. The main physico-mechanical characteristics of designing mix compositions of material are researching and determining in the dissertation.

The experimental-statistical models of relationship of influence of technological factors and mix compositions for properties of sulphur fibrous-glass concrete are presented. The results of technological investigations are introducing in the building industry. Potential economic effects may be receiving by reduction of composition of concrete, increasing of corrosion-resistance and durability. The experiments have shown considerable strength, fatigue life and resistance of crack growth of sulphur fibrous-glass concrete.

Key words: sulphur concrete, fiber glass, fibrous-glass concrete, properties, technology.



---

Підписано до друку 24.10.1994 р. Формат 60x84/16. Друк офсетний, папір друкарський. Ум.-друк. арк. I. Тираж 100 прим. Замовлення № 867.

---

Підписано до друку 24.10.94. Формат паперу  $60 \times 84^{1/16}$ . Папір офсетний.  
Друк. офсетний. Ум. друк. арк. 1,0. Ум. фарб. відб. 1,2. Тираж 100. Зам. 1562.

---

Навчально-виробничі майстерні Львівського поліграфічного технікуму  
290004, м. Львів, вул. Винниченка, 12

AB 31.320

**AB 31.320**