

**ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Мірошніченко Сергій Валерійович

УДК 691.54: 678.078.2

**Склади на основі цементу, КВС та високоякісних смол
для герметизації і лікування тріщин і швів**

05.23.05 - будівельні матеріали і вироби

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 1999

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Харківської державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник:

доктор хімічних наук, професор

Плугін Аркадій Миколайович,

Харківська державна академія залізничного транспорту, завідуючий кафедрою будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Пустовойтов Володимир Павлович,

Харківська державна академія міського господарства, завідуючий кафедрою будівельної механіки;

кандидат технічних наук Спірін Юрій Олександрович,

Український науково-дослідний інститут вогнетривів, завідуючий лабораторією технології магнезійних вогнетривів,

хіміко-аналітичних і структурно-фазових досліджень.

Провідна установа: Донбаська державна академія будівництва і архітектури (м. Макіївка).

Захист дисертації відбудеться 14 травня 1999 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий 14 квітня 1999 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Є.М.Єрмак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Особливе значення для довговічності експлуатованих залізобетонних і бетонних збірних конструкцій, в тому числі залізничних інженерних споруд, має надійна ізоляція від проникнення води всередину споруди крізь шви в стиках, тріщини в самій конструкції, а у випадку підземних споруд - крізь тріщини гірських порід. В зв'язку з цим слід виділяти основні ділянки герметизації в таких спорудах:

- шви між збірними елементами конструкцій;
- тріщини в залізобетонних конструкціях;
- тріщини в гірських породах, що оточують конструкції;
- порожнини в заобробному просторі тунельних та інших підземних споруд.

Згідно з призначенням споруд забиття і заповнення означених ділянок передвизначена:

- для герметизації від проникнення води крізь шви і стики в збірних конструкціях;
- для ліквідації силових тріщин;
- для зміцнення навколишніх гірських порід;
- для заповнення порожнин в заобробному просторі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру були здійснені в рамках держбюджетної теми НДР "Розвиток теоретичних основ довговічності штучних споруд на залізничному транспорті".

Метою дисертації, направленої на рішення означеної проблеми, є створення дешевих надійних герметизуючих складів для стиків залізобетонних збірних конструкцій і обводнених залізничних тунелів.

Задачі дослідження:

1. Розробка нових методик дослідження адгезійних і реологічних характеристик для лабораторних і польових умов.
2. Розвиток уявлень про механізми тріщиноутворення в герметизуючих складах, взаємодій між компонентами цих складів, проникної здатності цементно-водних суспензій в тріщини гірських порід.
3. Дослідження структури і властивостей кам'яновугільної смоли і композицій на її основі.
4. Розробка герметизуючих складів для стиків залізобетонних конструкцій і обводнених тунелів.
5. Відпрацювання технологій і розробка технологічних регламентів для герметизації стиків і тампонажу тріщин в гірських породах за обробкою тунелю.

Наукову новизну роботи складають:

- методики дослідження: - в'язкості полімерних і полімеркомпозиційних матеріалів в широкому діапазоні їх величин; - адгезійної міцності для лабораторних і польових досліджень; - оцінки довговічності герметизуючих складів, в тому числі на макеті стику, за комплексним впливом руйнуючих чинників;
- герметизуючі склади ГС-1 на основі КВС-ПВХ для деформованих стиків збірних залізобетонних конструкцій;
- суперпластифікована цементно-водна суспензія СПЦВС і технологічні регламенти тампонування тріщинуватих обводнених гірських порід з використанням СПЦВС;
- розвинуті уявлення: - про механізм тріщиноутворення в герметизуючому складі у стику; - про проникну здатність цементно-водних складів, що тампонується в тріщини гірських порід; - про механізм взаємодії між КВС, ПВХ і наповнювачем; - про міцність цементно-водних систем;
- дані про міцносні, адгезійні і реологічні характеристики КВС і композицій на основі КВС;
- електронно-мікроскопічні дослідження структури КВС та ІЧ-спектроскопічні дослідження взаємодій в системі КВС-ПВХ.

Практичне значення отриманих результатів.

- розроблені рекомендації по виготовленню і застосуванню герметизуючого складу ГС-1 для прогонових споруд мостів з безбаласною їздою;
- відпрацьовані технологічні режими для нагнітання і тампонування суперпластифікованої ЦВС в тріщини гірських порід, стики і шви обробки тунелю;
- розроблені виробничі герметизуючі склади для стиків збірних залізобетонних конструкцій;
- відпрацьована технологія і здійснене впровадження комплексної гідроізоляції обводненого тунелю на перегоні Явора - Турка Львівської залізниці;
- результати досліджень включені в план капітального ремонту тунелю на перегоні Явора - Турка та інших обводнених тунелів Львівської залізниці;
- розроблені герметизуючі склади і комплексна технологія гідроізоляції обводнених тунелів рекомендовані V комісією ОСЗ по колії і штучним спорудам для впровадження на обводнених залізничних тунелях країн - членів ОСЗ;
- впровадження результатів розробки дозволяє забезпечити безпеку руху поїздів і надійну несучу здатність обводнених тунелів.

Особистий вклад аспіранта. Всі основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. В спільно розробленій (у співавторстві з С. І. Возненко) методиці кількісного визначення в'язкості (для лабораторних і польових досліджень) за допомогою пенетрометра автором виконані експериментальні дослідження з кореляції даних з в'язкості, отриманих за допомогою пенетрометра, з даними отриманих за допомогою приладу

Ребіндера-Вейлера, а також вивід математичного рівняння залежності динамічної в'язкості від глибини і швидкості занурення голки пенетрометра.

В опублікованих у співавторстві робіт автором виконано: - досліджений механізм течії дисперсних систем в щілинних тонких капілярах; - виведене основне рівняння проникної здатності цементно-водних систем; - виведене рівняння стаціонарного потоку води через приймальний патрубок; - виконані натурні експериментальні дослідження.

Апробації результатів дисертації. Основні результати роботи і матеріали досліджень доповідалися і обговорювалися на:

1. Нараді експертів V комісії з колії і штучних споруд Міжнародної організації співробітництва залізниць, Казахстан, Алмати, 16-20 червня 1997р.
2. Конференції з технічної хімії. Харків, жовтень, 1997р.
3. VI науковій школі країн СНД "Вибротехнологія-96", Одеса, 9-14 вересня 1995 р.
4. Науково-технічних конференціях кафедр академії і фахівців залізничного транспорту, 1995-1998 р.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи зроблені 4 публікації, що входять в перелік ВАК (2 - в збірнику наукових праць, 2 навчальних посібника) і тези доповідей.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, основних висновків, списку літератури з 149 найменувань на 12 сторінках. Робота складає 132 сторінки основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, наведені основні наукові результати, отримані автором, показане їх практичне значення і галузі реалізації.

В розділі 1 викладається стан питання і досвід герметизації штучних споруд, а також наведений аналіз матеріалів, що використовуються для цього.

Найбільш розповсюдженим способом герметизації обводнених тунелів та інших подібних підземних споруд є нагнітання за обробку цементних складів і тампонування тріщинуватих гірських порід. Головні вимоги, що пред'являються до цих складів, - висока ступінь заповнення порожнин, ущільнення і зміцнення гірських порід, гідроізоляція і підвищення несучої здатності конструкції. Однак існуючі матеріали і способи герметизації обводнених підземних споруд не дають необхідного ефекту із-за розшарування цементних розчинів і суспензій при нагнітанні, їх неоднорідності і невисокої адгезії до стінок тріщин. Такі цементні склади не виключають повністю зворотне фільтрування через затамповану породу і не забезпечують довговічність гідроізоляції. Усунути ці недоліки можна на основі

уявлень про процеси тампонажу з позицій фізико-хімічної механіки дисперсних систем шляхом управління реологічними характеристиками складів, зокрема в'язкістю і проникною здатністю.

Найбільш ефективними для герметизації є еластичні матеріали. Однак, із-за їх високої вартості і відсутності в Україні в теперішній час їх широке застосування не є можливим. Із-за швидкого старіння не є можливим також широке застосування бітумних матеріалів. Запропоновано замість еластичних матеріалів використовувати пластоеластичні, зроблені на основі вітчизняної сировини.

У відповідності з роботами Золотарьова, Братчуна, та ін., пластоеластичні герметики можна створити на основі дешевої кам'яновугільної смоли (КВС), яку можна модифікувати високоякісними синтетичними полімерами - епоксидною смолою (ЕД) або полівінілхлоридом (ПВХ), у невеликій кількості, що дасть можливість отримати пластоеластичні матеріали з невисокою вартістю.

В розділі 2 дається обґрунтування вибору та характеристики основних матеріалів, а також нових та вдосконалених методик, що використовуються при виконанні досліджень.

В якості наповнювача в пластоеластичних складах, а також в якості зв'язуючих в цементно-водних складах використовувався портландцемент М400.

Основним компонентом (за масою) для створення пластоеластичних герметизуючих складів використовувалася КВС. Вибір КВС зумовлений доброю сумісністю з ЕД і ПВХ, доступністю, низькою ціною, водовідштовхуючими властивостями.

Для поліпшення якостей кам'яновугільної смоли використали ЕД і ПВХ. Вибір ЕД зумовлений незначною летучістю, легкістю затверднення, незначною усадкою після затверднення, високою адгезією, високими фізико-механічними властивостями, значною водостійкістю. Вибір ПВХ зумовлений доступністю, доброю сумісністю з КВС.

В якості затверджувача для епоксидних смол використали УП-583. Його вибір зв'язаний з тим, що він не розчиняється в воді, дозволяє використати ЕД на вологих і мокрих поверхнях, а також у зв'язку з тим, що він виробляється в Україні.

Методика визначення адгезії герметизуючого складу до підкладок ґрунтується на ГОСТ 26589-85 з прив'язкою до пластоеластичних складів. Результати вимірів оброблялися за допомогою методів математичної статистики.

Методика випробувань на морозостійкість ґрунтується на зміні гнучкості складу при низьких температурах (-20°C), при цьому оцінка гнучкості здійснюється за діаметром стрижня, що огинається тонким шаром цього складу. Для визначення в'язкості аналізованих складів були розроблені 2 методики (за допомогою пенетрометра і віскозиметра), що дозволяють визначати динамічну в'язкість герметизуючих складів у широкому інтервалі

в'язкості і часа. Порівняння результатів визначення в'язкості за новими методиками з результатами визначення в'язкості за приладом Ребіндера-Вейлера показало їх добру сходиність. Виведені формули для розрахунку динамічної в'язкості такі:

- для пенетрометра:

$$\eta = 187,3 \frac{\delta \cdot t}{h^2}, \quad (1)$$

де δ - товщина структурованого шару складу, що досліджується, м; t - час занурення голки, сек; h - глибина занурення голки, м.

- для віскозиметра ВЗ-1

$$\eta = 2,3 \cdot t \cdot \delta \cdot \rho, \quad (2)$$

де t - час витікання рідини з віскозиметра, сек; ρ - щільність рідини, кг/м³.

Для дослідження набухаємості складу в воді була використана методика за ГОСТ 14791-79 з урахуванням прив'язки до складів, що досліджуються.

Для визначення втрати летючих речовин із герметизуючого складу, що призводить до його старіння, була розроблена методика, суть якої полягає в визначенні втрати маси зразків при температурі $60^0 \pm 5^0\text{C}$.

Стійкість герметизуючого складу в стику до механічних деформацій оцінювалася за стандартною методикою випробувань на дуктилометрі (ГОСТ 15836-79), при цьому випробування виконувалися при більш низькій температурі (0^0C).

Для визначення стійкості шва до температурного впливу і ультрафіолетового випромінювання був розроблений макет шва, що проходив циклічні випробування по черзі на дію підвищених температур ($60^0 \pm 5^0\text{C}$), води, низьких температур ($-30^0 \pm 2^0\text{C}$), а також дію УФ-опромінення.

Випробування загерметизованих стиків на водопроникність виконували також на їх макеті. Герметичність шва оцінювали за водопроникністю W .

В розділі 3 наведені існуючі уявлення та їх розвиток про міцнісні, реологічні і фільтраційні характеристики герметизуючих матеріалів.

Досліджувані системи є дисперсними. В механіці суцільних середовищ доводиться, що у випадку нестисливих матеріалів (якими є розглядувані дисперсні системи), всі види деформацій можна звести до основної - деформації зсуву під дією напруги зсуву τ . Течія ідеально в'язких тіл описується законом Ньютона (пунктирна лінія на рис.1):

$$\frac{f}{s} = \tau = \eta \frac{dy}{dt}, \quad (3)$$

де f - сила в'язкісного опору; η - динамічна в'язкість; $\frac{dy}{dt}$ - швидкість деформації.

Рис.1. Залежність в'язкості від об'ємної частки дисперсної фази для безструктурного (I) і структурованого (II) золів.

Якщо в ньютонівську систему ввести дисперсійну складову, виникає залежність, отримана Ейнштейном (I на рис. 1).

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 + 2,5 \cdot \varphi) \quad (4)$$

де φ - об'ємна частка дисперсної фази.

У випадку, коли відбувається взаємодія між частинками, система веде себе як структурований золь (II на рис.1) і описується рівнянням течії Шведова-Бінгама:

$$\tau = \tau_d + \eta^* \cdot \frac{dy}{dt} \quad (5)$$

Механізм течії такої системи розглянутий нами за М.В.Михайловим.

Виникнення дисперсної фази і структуроутворення цементно-водної системи розглянуте на основі відомих уявлень про процеси твердіння портландцементу, розвинених нами стосовно до розглядуваної суперпластифікованої цементно-водної системи (СПЦВС). Традиційні уявлення, як відомо, ґрунтуються на послідовно розроблених теоріях Ле Шательє, Міхаеліса, Байкова і Ребіндера. Згодом окремі фрагменти цих теорій розвивалися в світі фундаментальних уявлень термодинаміки, фізики твердого тіла, фізики і хімії поверхонь, кристалохімії та ін., що наближають процес твердіння до реальних моделей і схем (Полак, Мчедлов-Петросян, Сичов, Шпинова, Ілюхін, Тейлор, Бабушкін, Людвіг, Калоусек та ін.). Значний розвиток теорія твердіння одержала у зв'язку з розвитком електронно-мікроскопічних досліджень (Шпинова, Коупленд і Овербек, Лах і Буреш, Лоренц і Рихарц, Кондо, Даймон та ін.).

Значний вклад в розвиток сучасних теорій з поглибленням окремих уявлень про гідратацію і структуроутворення, в тому числі процесів і явищ на поверхнях і в зоні контактів, зв'язаний з роботами останніх років (Ольгінський, Саницькій, Ушеров-Маршак, Матвієнко, Чернявський та ін.).

Поглиблення модельних уявлень про процеси твердіння і міцності цементного каменю ґрунтувалося на застосуванні фізико-хімічної механіки дисперсних систем та ідей Ребіндера (Гранковський, Вагнер, Круглицькій, Дібров).

Аспекти кількісної теорії твердіння і міцності утворювалися роботами Полака, Виродова та ін. на основі енергетичних розрахунків.

Узагальнення електронно-мікроскопічних досліджень вихідних і прогідратованих мінералів цементного клінкеру, застосування уявлень про електроповерхневі явища і властивості в дисперсних системах і загальних закономірностей фізико-хімічної механіки

дисперсних систем дозволили розвинути кількісні основи теорії структуроутворення, міцності, руйнування і довговічності цементного каменю і бетону (А.М. Плугін і співавтори).

Формування цементного каменю можна поділити на два основних процеси: хімічний - гідратація через розчинення з виникненням тонкодисперсної фази; колоїдно-хімічний - структуроутворення за рахунок взаємодії частинок дисперсної фази, що зумовлює міцність структури.

Грунтуючись на електронно-мікроскопічних знімках, як відомих (Шпинова, Лах і Буреш та ін.), так і отриманих у наших дослідженнях (спільно з Холодним), структуру цементного каменю слід уявляти як багаторівневу структуру, що визначається розмірами структуроутворюючих елементів:

- мікрорівень - цементні частки із середнім розміром біля 30 мкм;
- субмікрорівень - частки кристалогідратів із середнім розміром 0,5 мкм, а також гелеві частки - менш ніж 0,1 мкм.

Відповідальними за міцність в означеній багаторівневій структурі є електрогетерогенні взаємодії між протилежно зарядженими частками. Безпосередня взаємодія здійснюється через активні центри АЦ на поверхні структуроутворюючих елементів (СЕ). Для цементного каменю і його СЕ активними центрами є потенціалвизначальні іони (ПВІ) - аніони OH^- (гідросилікати кальцію і непрореаговані цементні зерна) і катіони кальцію Ca^{2+} (кристалогідратні продукти гідратації). Електрогетерогенний характер взаємодій підтверджується різноманітними за знаком потенціалами мінералів цементного клінкеру (виміри Бабушкіна і Новікової), а також характером адсорбції ССБ і суперпластифікаторів, що є аніонними міцелоутворюючими ПАР і аніонними поліелектролітами.

У відповідності з фізико-хімічною теорією міцності при розтязі дисперсних систем Ребіндера-Щукіна і викладеними уявленнями, розроблені основи фізико-хімічної теорії міцності цементного каменю і математична модель міцності:

$$R_p = \left(\frac{z_2 e \psi_1}{32 \pi^2 d_1 h^2} + \frac{z_2 \mu_d \psi_1}{8 \pi^2 z_1 d_1 h_\mu^3} \right) \cdot \gamma = \left(\frac{508 z_2 \psi_1}{d_1 h^2} + \frac{773 z_2 \mu \psi_1}{z_1 d_1 h_\mu^3} \right) \cdot \gamma. \quad (6)$$

де h - відстань між ПВІ в контакт; h_μ - відстань між ПВІ і молекулою води; μ - дипольний момент молекули води; індекси 1 і 2 - відповідають ПВІ на поверхнях контактуючих часток; ψ_1 - потенціал поверхні; d_1 - відстань між шаром ПВІ і шаром протіонів у ПЕШ.

Величина γ визначається як добуток поверхневих концентрацій (в поверхні розірвання цементного каменю) кристалогідратних і гелевих часток:

$$y = \frac{2 \times 1,5ЦА\alpha}{\rho_k \left[(Ц / \rho_u) + (B - B_x) / \rho_e \right]} \times \frac{1,5ЦБ\alpha}{\rho_e B / \rho_e} = k \frac{(Ц / B)^2}{Ц / B + \left[1 - (B_x / Ц) / (B / Ц) \right] \rho_u / \rho_e}, \quad (7)$$

де $k=4,5\alpha^2 AB\rho_u\rho_e/\rho_k\rho_e$; $Ц, B$ и B_x - маси цементу, води і хімічно зв'язаної води, що припадають на одиницю обсягу цементного каменю; α - ступінь гідратації цементу; A і B - стехіометричні з маси цементу частки, відповідно, кристалогідратних і гелевих продуктів гідратації (Шейкін); $\rho_k, \rho_e, \rho_u, \rho_e$ - істинні щільності, відповідно, кристалогідратних і гелевих продуктів гідратації, цементу і води.

Рис. 2. Еквівалентна схема електрогетерогенних контактів між частинками (а) і між потенціалвизначальними іонами (б). К - кристалогідратна частинка; Ц - цементна частинка; Г - гелева частинка; I1, I2 - ПВІ; Д - дипольна молекула води.

Уявлення про електрогетерогенні взаємодії між протилежно зарядженими поверхнями використані нами також для дослідження механізму в'язкості цементно-водних систем і механізму їх проникної здатності. Проникна здатність при цьому уявлена виведеним на основі закону Пуазейля для плоских капілярів рівнянням:

$$l = 19,6 \sqrt{\frac{h_T}{\eta}} \quad (8)$$

де l - глибина проникнення розчину в тріщину, м; h_T - ширина тріщин; η - ефективна в'язкість розчину.

З (8) видно, що при однаковій ширині тріщин h_T зменшення ефективної в'язкості розчину призведе до збільшення глибини їх заповнення. Зменшити ефективну в'язкість дисперсної системи (цементної суспензії, що нагнітається) можна за рахунок збільшення тиску нагнітання або за рахунок вібрації. Перше не може бути виконаним із-за виникнення відказу (встановлене при випробуванні), а друге - технічно. Запропоновано зруйнувати структуру цементного розчину, що нагнітається, за рахунок застосування суперпластифікатора. Адсорбуючись на позитивно заряджених ділянках (C_3A и C_4AF) цементних зерен, негативно заряджені частки суперпластифікатора, що є аніонним поліелектролітом (або міцелоутворюючими ПАР), перезаряджають позитивно заряджені ділянки на негативні. При цьому усувається електрогетерогенна взаємодія між частками цементу, тобто руйнується структура дисперсної системи. Замість електрогетерогенних зв'язків виникають сили відштовхування, що і зумовлює ефект суперпластифікації. В'язкість такої дисперсної системи при цьому знижується до в'язкості гранично зруйнованої структури, або до в'язкості води.

Введення до складу цементного розчину домішок суперпластифікаторів дозволить також зменшити ширину тріщин, що заповнюються розчином, з 0,2 мкм до 0,05 мкм за рахунок пептизації часток.

В четвертому розділі наведені результати досліджень реологічних, адгезійних та інших властивостей полімеркомпозиційних і цементно-водних систем, виконаних з метою вибору робочих герметизуючих складів і співвідношення компонентів в них.

Дослідження суміші КВС-ЕД показало, що залежність R_{ad} від відношення КВС/ЕД має екстремальний характер з максимумом $R_{ad} = 2,5$ МПа. Пояснення цього незвичайного збільшення R_{ad} епоксидної смоли при введенні в неї значної кількості рідиноподібної КВС, яка самостійно не твердіє, дано на підставі перетвореного нами рівняння Дюпре:

$$R_{ad} = \frac{R_c}{2} (1 + \cos \theta) \quad (9)$$

де R_c – когезійна міцність складу, МПа; θ - крайовий кут змочування підкладки, град.

Як бачимо, R_{ad} залежить від когезійної міцності складу, а також від розтікаємості цього складу по підкладці (чим менша величина θ , тим краще розтікаємість і тим вище R_{ad}).

При збільшенні відношення КВС/ЕД до 60% величина $\cos \theta$ збільшується швидше, ніж зменшується R_c . При КВС/ЕД $> 60\%$ зниження величини R_c стає переважаючим, що і визначає екстремум у залежності $R_{ad} = f(\text{КВС/ЕД})$.

Подальші дослідження виконувалися при КВС/ЕД = 80-100%. Модифікування властивостей ГС в цих границях здійснювалося шляхом додання в суміш цементного наповнювача. Досліджувати склад, в якому КВС/ЕД = 60%, недоцільно, так як полімеризація ЕД призводить до його високої міцності і недеформованості.

Досвідом встановлено, що максимально можлива кількість ЕД в такому складі складає 10%, тобто при КВС/ЕД = 90%. При більш низькому значенні КВС/ЕД виникає через деякий час після його приготування неприпустиме твердіння складу. При більшому, ніж 10%, відношенні КВС/ЕД суміш стає рідиноподібною, втрачаючи свої пластичні властивості.

Для додаткового загушення (без твердіння) і збільшення експлуатаційної стійкості в склад КВС/ЕД при КВС/ЕД = 90% вводили наповнювач (цемент). При збільшенні вмісту цементу міцність адгезії R_{ad} теж змінювалася екстремально. При $\text{Ц}/(\text{КВС}+\text{ЕД}) = 100\%$ значення $R_{ad} = 0,42$ МПа стає максимальним.

Для визначення залишкового вмісту цементу в герметизуючому складі виконане дослідження залежності динамічної в'язкості від вмісту цементу в складі $\text{Ц}/(\text{КВС}+\text{ЕД})$. Результати досліджень показали, що при $\text{Ц}/(\text{КВС}+\text{ЕД})$ менш ніж 60% система поводить як ньютонівська рідина. Із збільшенням $\text{Ц}/(\text{КВС}+\text{ЕД})$ понад 80% система поводить як структурований золь за рахунок виникнення зв'язків між частками наповнювача, і набуває пластичних властивостей (рис. 1). На підставі цих висновків склад з $\text{Ц}/(\text{КВС}+\text{ЕД}) = 100\%$ обрано як робочий для наступних випробувань його в часі. Ці випробування показали, що при полімеризації, склад втрачає свої пластичні властивості і через 7 місяців стає

непридатним для герметизації деформованих стиків. В той же час, у зв'язку із збереженням своїх адгезійних властивостей, що герметизують, він може бути рекомендований для застосування в малодеформованих стиках.

Дослідження складів КВС-ПВХ із вмістом ПВХ 3 і 5% в різноманітних умовах показали, що найкращі адгезійні властивості мали склади, що готувалися при температурі 100°C з витримкою при цій температурі на протязі 1 години.

Дослідження складів КВС-ПВХ на морозостійкість, теплостійкість, на випаровування летючих речовин і адгезійну міцність (при -30°C), виконувалися для складів зі збільшенням інтервалу вмісту ПВХ до (10%). При цьому показано, що морозостійкість складу значно вища при вмісті ПВХ в суміші від 3 до 7%. Як зменшення ПВХ в суміші до 1%, так і збільшення до 8 і 10% погіршило гнучкість складів, відповідно $d = 30$ мм і $d = 20$ мм. В першому випадку причиною є зменшення адгезійної міцності суміші, а в другому – підвищення її в'язкості, збільшення жорсткості і зменшення здатності до змочування.

Збільшення морозостійкості і температуростійкості можуть бути пояснені структуруючим ефектом ПВХ за типом мікродисперсного армування.

Ефект дисперсного армування КВС від ПВХ супроводжується також фізико-хімічним зв'язуванням і структуруванням КВС поверхнею високодисперсної фази – ПВХ, що пройшла теплове (при 100°C на протязі 1 години) модифікування, яке призводить до зв'язування летючих у КВС. При збільшенні змісту ПВХ від 0 до 10% кількість летючих знизилася з 3 до 0,5%.

Залежність адгезійної міцності суміші КВС-ПВХ від зміни вмісту ПВХ, як і для морозостійкості, носить екстремальний характер з досягненням максимуму $R_{ad} = 2,25$ МПа при вмісті КВС 5% (рис.3). При зниженні вмісту ПВХ до 1% і збільшенні до 7% (далі R_{ad} зменшується неістотно) R_{ad} зменшується у 4.5 рази. Як і для морозостійкості, така зміна R_{ad} зумовлена в одному випадку зменшенням когезійної міцності суміші, а в другому – зменшенням розтікаємості складу.

Таким чином, проведені дослідження зумовили вибір оптимального герметизуючого складу (ГС) КВС-ПВХ зі вмістом останнього 5%.

Випаровування летючих речовин в ГС, хоча і різко знижене введенням ПВХ, але не виключене повністю, що в умовах максимальних температур залізобетонних плит влітку (60°C) може призвести до старіння (за рахунок твердіння і тріщиноутворення на протязі тривалої експлуатації).

Рис. 3. Залежність міцності адгезії (R) до бетону при -30°C від вмісту ПВХ.

В зв'язку з цим виконані дослідження кінетики випаровування летючих речовин з КВС і суміші КВС-ПВХ на протязі тривалого часу при різноманітних температурах. Експериментальні дані для КВС-ПВХ представлені на рис. 4.

В перші години випаровування швидкість зменшення маси речовин, що випаровуються, максимальна, після цього плавно зменшується (рис. 4).

Такий характер випаровування може бути зумовлений виникненням потоків, що перешкоджають випарному, що в свою чергу зумовлене твердоподібною плівкою, що виникає на поверхні та збільшується.

В умовах експлуатації при деформаціях стику в плівці виникають окремі тріщини. Введення у склад КВС-ПВХ дибутилфталата виключає утворення твердоподібної плівки, що зумовило збереження пластичності і стійкості складу проти коагулювання в зоні утворення плівки. Відповідно виключається і утворення тріщин.

Покриття ГС плівкою мінерального масла істотно знижує швидкість випаровування. Цей ефект зникає на протязі місяця і повторюється при повторному покритті ГС плівкою мінерального масла.

Таким чином, результати досліджень дозволяють ослабити (або виключити) процес старіння шляхом додання в склад дибутилфталата або покриття складу плівкою мінерального масла. Перший спосіб переважний за санітарно-гігієнічними міркуваннями.

Для дослідження можливості підвищення стійкості до старіння (випаровування) і термостійкості шляхом модифікування за допомогою наповнювача в склад вводили: цемент (10 і 20 %), пісок, тонкомелений пісок і гумову кришку (по 10%). Однак введення цих наповнювачів не вплинуло на швидкість випаровування і тріщиностійкість. В той же час погіршилася морозостійкість (з $d = 15$ мм до $d = 20-30$ мм) і розтяжність (з 70-80 см до 20-40 см). Очевидно, це зумовлене утворенням більш грубої дисперсної структури з розірванням суцільності мікродисперсної структури ПВХ. Це збільшило жорсткість структури, зменшило її гнучкість при низькій температурі і розтяжність.

Таким чином, дослідження показали, що модифікування властивостей ГС за допомогою наповнювачів для збільшення термостійкості і стійкості проти старіння (випаровування) не уявляється можливим.

Отримані експериментальні дані дозволили розробити уявлення про механізм старіння (за рахунок випаровування) герметизуючого складу КВС-ПВХ. Обґрунтування цього механізму побудоване на аналізі двох потоків летючих речовин – випарного $j_{\text{вип}}$ та дифузійного $j_{\text{диф}}$, відповідно:

$$P_{\text{вип}} = \frac{W}{t}, \quad (10)$$

$$P_{\text{диф}} = -DS(C/X), \quad (11)$$

де W – експериментально встановлена маса летючих речовин КВС, що випаровуються, за час t , кг; D – коефіцієнт дифузії молекул летючих речовин (стосовно бензолу), $\text{м}^2/\text{с}$; S – площа відкритої поверхні зразка, м^2 ; C – концентрація летючих речовин в КВС (24%); X – путь дифузії, м.

Коефіцієнт дифузії визначається за формулою Ейнштейна:

$$D = \frac{RT}{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot N}, \quad (12)$$

де R – універсальна газова стала (8,31 Дж/моль · град); T – температура, К; η – в'яз-кість, $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; r – радіус молекули розчиненої речовини, м; N – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль).

За Кіттелем, радіус молекули можна визначити:

$$r = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{M}{N \cdot \rho}} \quad (13)$$

де M – молекулярна вага летючої речовини, г/моль; ρ – щільність летючої речовини $\text{г}/\text{см}^3$.

Рис.4. Кінетика випаровування летючих речовин з КВС-ПВХ.

1 – при 60°C ; 2 – при 20°C .

Графік (рис. 4) дозволяє визначити W .

Прирівнюючи обидва потоку $P_{\text{вип}} = P_{\text{диф}}$ ($j_{\text{вип}} = j_{\text{диф}}$), що відповідає умові безперервності потоків, отримаємо вираз для X

$$X = - \frac{D \cdot S \cdot C \cdot t}{W} \quad (14)$$

Розрахунок (при підстановці відповідних даних) дозволив визначити:

$$\text{при } T = 20^\circ\text{C} \text{ и } C = 290 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, j_{\text{вип}} = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}, D^{20} = 7,4 \cdot 10^{-13} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, X = 0,5 \text{ мм.}$$

$$\text{при } T = 60^\circ\text{C} j_{\text{исп}} = 1,51 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}, D^{60} = 19,7 \cdot 10^{-13} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, X = 0,4 \text{ мм.}$$

При шляху дифузії $X^{20} < 0,5$ мм і $X^{60} < 0,4$ мм щільність випарного потоку $j_{\text{вип}} < j_{\text{диф}}$, що призводить до збільшення шляху дифузії X до розрахованих значень і встановленню рівності дифузійного і випарного потоку, після чого процес випаровування здійснюється за режимом дифузійного потоку, що має затухаючий характер з постійним збільшенням X (рис. 4).

Експериментальні залежності між масою летючих речовин, що випаровуються, W і довготривалістю випаровування t дозволяють оцінити довговічність герметизуючого складу.

Для цього необхідно описати взаємозв'язок математичними виразами виду $t=f(W)$. Для підвищення точності оцінки довговічності прийнятий поліном четвертої степені:

$$t = a \cdot W + b \cdot W^2 + c \cdot W^3 + d \cdot W^4 + e \quad (15)$$

Складаючи за експериментальним даним систему чотирьох рівнянь і вирішуючи її, отримаємо остаточне рівняння для часу t , що витрачається на випаровування летючих в кількості W .

В герметизуючому складі кількість летючих речовин, що випаровуються в наважці 50 г при площі поверхні 283 см², $W = 12$ г. При 60⁰С ця кількість випаровується, за (15), через 144 дні, що в реальних температурних умовах еквівалентно 15 рокам експлуатації. Отже, такий герметизуючий склад може служити без його заміни від капітального ремонту до капітального ремонту (15 років).

Для забезпечення ще більшої надійності рекомендується через 1 рік експлуатації ввести на поверхню герметизуючого складу невелику кількість дибутилфталата. Він відновить еластичність поверхневого шару ГС і відверне виникнення поверхневих тріщин в ньому.

Теоретичні дослідження структури, міцності і реологічних характеристик цементно-водних систем перевірені експериментальними дослідженнями.

Результати цих досліджень наведені на рис. 5. Як бачимо, характер зміни міцності від В/Ц однаковий як для розрахункових, так і експериментальних величин.

Підтвердження теоретичних досліджень, зокрема рівняння міцності (6), експериментальними даними дозволяє реалізувати показники – ступінь гідратації, співвідношення між продуктами гідратації, їх електроповерхневі характеристики – для управління процесами твердіння цементного каменю і його властивостями, зокрема шляхом застосування суперпластифікатора. Експериментально показано, що застосування суперпластифікатора збільшило міцність цементного каменю при В/Ц=0,25 до значення, близького до розрахункового (140 МПа). При цьому міцність на згин збільшилася на 30%, а при стиску – на 50%. При означеному В/Ц спостерігалася також максимальна водонепроникність.

Рис.5. Залежність міцності цементного каменю R від В/Ц.

a - розрахункових при стиску; b , c - експериментальних при стиску і згині.

Для остаточного вибору В/Ц в СПЦВС для нагнітання виконані дослідження її реологічних властивостей, зокрема в'язкості і проникної здатності.

Наведені графіки свідчать про різке зниження η СПЦВС, у порівнянні з бездомішковою цементно-водною суспензією (ЦВС). При цьому, за рис.6, б, звичайна

цементно-водна суспензія при $\varphi = 0,25$ поводить ся як структурований золь зі значними зв'язками між частками цементу.

Суперпластифікована цементно-водна суспензія поводить ся в інтервалі від $\varphi=0,25$ до $\varphi = 0,45$ як золь з відсутніми зв'язками між частками цементу і з в'язкістю гранично зруйнованої структури, тобто в'язкістю води. Це свідчить про сприятливі властивості СПЦВС для її нагнітання в тріщини гірських порід і шви в обробці при невисоких В/Ц. Рациональним водоцементним відношенням для цього, за рис.6, б, є В/Ц = 0,3-0,4 при додаванні суперпластифікатора 0,5 ÷ 0,75%, що забезпечить проникнення СПЦВС в тріщини 0,2 мм на глибину 1 м за 10 хвилин.

В п'ятому розділі виконані дослідження різноманітних експлуатаційних чинників на фізико-механічні і реологічні характеристики герметизуючих складів та їх довговічність. За допомогою методів математичної статистики, виходячи з розрахованої тривалості періодів між капітальними ремонтами рейкової колії, обгрунтовані температурно-тимчасові параметри і кількість циклів випробувань на довговічність ($T = -30^{\circ}\text{C}$, $n = 15$ циклів). Проведені комплексні випробування герметизуючого складу ГС-1 на дію кліматичних і експлуатаційних чинників. За результатами випробувань основні характеристики складу ГС-1 практично не змінилися під впливом означених чинників, що свідчить про надійну довговічність цього складу.

Рис.6. Залежність динамічної в'язкості цементного розчину, η , $\text{H} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ від:

a - водоцементного відношення В/Ц; *б* - об'ємної концентрації твердої фази φ

В шостому розділі наведені результати виробничих випробувань та упровадження.

За результатами досліджень розроблені: - інструкція з приготування і застосування герметизуючого складу ГС-1; - технічні умови на дослідну партію герметизуючого складу ГС-1; - рекомендації по ресурсозберігаючим технологіям ремонту тунелів; - інструкція з нагнітання за обробку тунелю; - пам'ятка ОСЗ з утримання обводнених тунелів.

Дослідно-експлуатаційні випробування нової технології герметизації обводнених тунелів і нових цементних і полімеркомпозиційних гідроізолюючих матеріалів здійснювались у серпні-вересні 1998 року в сильно обводненому тунелі ділянки Самбір-Сянки (перегін Явора-Турка) Львівської залізниці.

В результаті проведених випробувань раніше сильно обводнена 10-метрова ділянка тунелю стала повністю сухою.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Причиною незадовільного стану багатьох залізобетонних і кам'яних штучних споруд є проникнення води крізь стики конструкцій, а також крізь тріщини гірських порід і шви в обробці тунелів, що в свою чергу зумовлене малою ефективністю матеріалів, що застосовуються, і технологій для їх герметизації.
2. Найбільш ефективними для герметизації є еластичні матеріали. Однак, із-за їх високої вартості і відсутності в Україні в теперішній час їх широке застосування не уявляється можливим. Із-за швидкого старіння неможливе також широке застосування бітумних матеріалів.
3. Замість еластичних запропоновано застосовувати пластоеластичні матеріали. Перспективним для їх створення є наявна в Україні дешева кам'яновугільна смола КВС, властивості якої можна модифікувати епоксидною смолою ЕД і полівінілхлоридом ПВХ.
4. Для герметизації обводнених тунелів звичайно застосовується нагнітання за обробку цементних розчинів і тампонування тріщинуватих гірських порід цементно-водними суспензіями ЦВС. Однак ці матеріали і технології не забезпечують необхідної гідроізоляції із-за недосконалості їх складів і низької ефективності означених технологічних способів в окремоті. Запропоновано здійснювати комплексну гідроізоляцію, що складається з тампонування суперпластифікованою цементно-водною суспензією СПЦВС і внутрішньої герметизації швів за допомогою пластоеластичних герметизуючих складів ГС.
5. Розроблені нові методики визначення характеристик означених матеріалів: адгезійної міцності, в'язкості, старіння і довговічності пластоеластичних ГС і їх компонентів; міцності і проникної здатності ЦВС та ін.
6. Виконані електронно-мікроскопічні дослідження КВС та ІЧС дослідження КВС-ПВХ. Визначені середні розміри структуроутворюючих частинок пека в КВС (0,25 мкм) і підтверджене підвищення в'язкості КВС-ПВХ за рахунок диспергування і часткової деструкції ПВХ.
7. Отримані експериментальні залежності від зміни в часі, співвідношення компонентів і температури експлуатаційних характеристик: адгезійної міцності, в'язкості, морозостійкості, температуростійкості, розтяжності, випаровування - для ГС, міцності, в'язкості і проникної здатності – для ЦВС.
8. Уточнені уявлення про структуру КВС-ЕД і КВС-ПВХ, про механізм деструкції ПВХ і його структуруючий вплив на КВС, механізмах їх адгезії, в'язкості і старіння, проникної здатності в тріщини звичайних та суперпластифікованих ЦВС.
9. Розроблені математичні моделі: - міцності і в'язкості ЦВС; - міцності адгезії ГС в залежності від його міцності когезії і змочувальної здатності.

10. Розроблені нові високоефективні і довговічні склади ГС-1 і СПЦВС, а також технології гідроізоляції швів, стиків і тріщин для залізобетонних прогонових споруд з безбаластовою їздою і для обводнених тунелів.
11. Виконані дослідно-промислові випробування складу ГС-1 на Карповському мості біля ст. Харків-пасажирський Південної залізниці. Склад КВС-ЕД-Ц і СПЦВС, а також нова технологія герметизації обводнених тунелів з використанням цих матеріалів перевірені в експлуатаційних умовах і впроваджені в тунелі ділянки Самбір-Сянки (перегін Явора-Турка) Львівської залізниці. В результаті впровадження раніше сильно обводнена 10-метрова ділянка тунелю стала повністю сухою.

Основний зміст дисертаційної роботи викладений в наступних роботах:

1. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А., Мирошніченко С.В., Никитинский А.И. Количественная оценка обводненности железнодорожных тоннелей. // Науковий вісник будівництва, Вип. 5, Харків, ХДТУБА, 1999, с. 37-39.
2. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А., Мирошніченко С.В., Возненко С.И, Шумик Д.В. Проницаемость гидроизоляционных составов при нагнетании в трещины скальных пород. // Науковий вісник будівництва, Вип. 5, Харків, ХДТУБА, 1999, с. 31-37.
3. Плугін А.М., Калінін О.А., Возненко С.І., Плугін А.А., Мірошніченко С.В. Відновлення експлуатаційних властивостей матеріалів і конструкцій // Навчальний посібник, част. 1, Харків, ХарДАЗТ, 1998, с.117.
4. Плугін А.М., Калінін О.А., Возненко С.І., Плугін А.А., Мірошніченко С.В. Відновлення експлуатаційних властивостей матеріалів і конструкцій // Навчальний посібник, част. 2, Харків, ХарДАЗТ, 1999, с.89.
5. Плугин А.Н., Мирошніченко С.В., Плугин Д.А. Свойства каменноугольно-эпоксидных связующих, используемых для изготовления композиционных строительных материалов // Синтетические смолы и пластмассы, технология производства и применение в отраслях промышленности / Тезисы докладов конференции, 28 февраля-2 марта, Киев, Знание, 1995, с.62.
6. Мірошніченко С.В., Плугін А.М., Калінін О.А., Пінчук В.В. Основні концепції виготовлення полімердерев'яних брусів // Тези доповідей 55-ї науково-технічної конференції кафедр інституту та спеціалістів залізничного транспорту (23-25 листопада), Харків, ХІТ, 1993, с. 30.
7. Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А., Возненко С.И., Мирошніченко С.В., Плугин Д.А. Механизм и количественная оценка долговечности бетона // Сборник трудов по технической химии, Киев, 1997, с. 355-362.

АНОТАЦІЯ

Мірошніченко С.В. Склади на основі цементу, КВС та високоякісних смол для герметизації і лікування тріщин і швів.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05- будівельні матеріали та вироби.- Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 1999.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальних проблем герметизації від води дуже деформованих стиків залізобетонних конструкцій, тріщин обробок обводнених тунелів та тріщинуватих гірських порід. При цьому виконана розробка нових герметизуючих складів як полімеркомпозиційних пластоеластичних, так і суперпластифікованих цементно-водних, які мають високу проникну здатність у тріщини і шви, а також міцність та водонепроникність. Розробку виконано на основі досліджень структури, адгезійної міцності, реологічних та інших властивостей цих матеріалів та їх компонентів. Для цього були розроблені та використані нові методики визначення адгезійних та реологічних властивостей для лабораторних та польових умов, проведені електронно-мікроскопічні дослідження, а також дослідження методом інфрачервоної спектроскопії.

На основі цих досліджень та основ фізико-хімічної механіки удосконалені уявлення про механізми структуроутворення, тріщиноутворення, про адгезійні, міцнісні, реологічні властивості та проникну здатність пластоеластичних та цементно-водних складів. Результати досліджень пройшли експериментальні випробування та упровадження в дуже обводненому тунелі.

Ключові слова: герметизуючий склад, суперпластифікована цементно-водна суспензія, пластоеластичний, активні центри, обводненість, тунель.

THE SUMMARY

Miroshnichenko S.V. Compositions on the basis of the cement, coal tar resin and resins of high quality for hermetisation and treatment of the cracks and seams. – Manuscript. Dissertation for the scientific degree of the candidate of technical sciences by speciality 05.23.05 – building materials and products. – Kharkov state academy of railway transport, Kharkov, 1999.

The dissertation is devoted to the decision of actual problem of hermetisation from the water of very deformed joints of the reinforced concrete constructions, cracks in shell of flooded tunnels and cracked rocks. Creation of new hermetic compositions, of polymer plastic-elastic compositions and superplasticization cement-water suspensions has been done. The cement-water suspensions have high penetrative properties in the cracks and seams and strength and waterprootness. The

creation has been done on the basis of the researches of the structure, adhesion strength, rheology and other properties of these materials and their components. New methods of the determination adhesion and rheology properties for laboratory and field conditions have been worked out. Electronic-microscopic researches and researches by method of infra-red spectroscopy have been done.

Key words: hermetic composition, superplasticization cement-water suspension, plastic-elastic, active centers, flooded, tunnels.

АННОТАЦИЯ

Мирошниченко С.В. Составы на основе цемента, КВС и высококачественных смол для герметизации и лечения трещин и швов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 1999.

Диссертация посвящена решению актуальной проблеме: герметизации от воды сильно деформируемых стыков железобетонных конструкций, трещин обделок обводненных тоннелей и трещиноватых горных пород. Выполнена разработка новых герметизирующих составов как полимеркомпозиционных пластоэластичных, так и суперпластифицированных цементно-водных суспензий, которые имеют высокую проникающую способность в трещины и швы, а также прочность и водонепроницаемость. Разработаны и применены новые методики исследования адгезионных и реологических свойств для лабораторных и полевых условий, выполнены электронно-микроскопические исследования и исследования методом инфракрасной спектроскопии.

На основе этих исследований и основ физико-химической механики дисперсных систем усовершенствованы представления о механизмах структурообразования, трещинообразования, об адгезионной прочности, реологических свойствах и проникающей способности пластоэластичных и цементно-водных систем. Получены экспериментальные зависимости от изменения во времени, соотношения компонентов и температуры основных характеристик герметизирующих составов: адгезионной прочности, морозостойкости, температуры размягчения, растяжимости, испаряемости летучих, вязкости - для пластоэластичных составов, а также прочности, проникающей способности и вязкости – для цементно-водных суспензий.

Уточнены представления о механизмах адгезии герметизирующих составов на основе КВС, о вязкости и проникающей способности цементно-водных суспензий, о механизме старения, что позволяет определить срок службы герметизирующего пластоэластичного

состава. Разработаны физико-математические модели прочности и вязкости цементно-водных систем, подтвержденные соответствующими экспериментами.

Установлено, что по мере продолжающейся полимеризации, герметизирующий состав КУС-ЭД-Н теряет свои пластические свойства и становится через 7 месяцев непригодным для герметизации деформируемых стыков. Но в связи с сохранением своих адгезионных и герметизирующих свойств он может быть рекомендован как состав для малодеформируемых стыков и защитных покрытий.

Установлено, что эффект дисперсного армирования от ПВХ в КУС сопряжен с возникновением физико-химического связывания и структурирования КУС поверхностью высокодисперсной фазы – ПВХ, прошедшего тепловое (при 100°C в течение 1 часа) модифицирование.

Установлено на базе комплексного обследования, что оптимальным содержанием ПВХ в герметизирующем составе КУС-ПВХ является 5%. Такой герметизирующий состав может служить без его замены на железнодорожных мостах свыше 15 лет.

Установлено, что суперпластифицированная цементно-водная суспензия в интервале η от 0,25 до 0,45 ведет себя как золь с отсутствующими связями между частицами цемента и с вязкостью предельно разрушенной структуры, то есть вязкостью воды. Это свидетельствует о благоприятных свойствах СПЦВС для ее нагнетания в трещины горных пород и стыки обделки при невысоких В/Ц. Рациональным водоцементным отношением для этого является В/Ц = 0,3-0,4 при добавке суперпластификатора 0,5-0,75%, что обеспечивает проникание СПЦВС в трещины шириной 0,2 мм за 10 минут на глубину, превышающую глубину промерзания обделки и пород.

Результаты исследований прошли экспериментальную проверку и внедрены в условиях сильно обводненного железнодорожного тоннеля.

Ключевые слова: герметизирующий состав, суперпластифицированная цементно-водная суспензия, пластоэластичный, активные центры, обводненность, туннель.

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

**Склади на основі цементу, КВС та високоякісних смол
для герметизації і лікування тріщин і швів**

Мірошніченко Сергій Валерійович

Відповідальний за випуск

Сівцов В.П.

Підписано до друку 13.04.99 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір для копіювальних апаратів.

Друк офсетний. Умовн.-друк.арк.1,0.Обл.–вид.арк. 1,2.

Замовлення № 200. Тираж 100 прим.

Вид. ХарДАЗТ, 310050, м. Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Друк. ХарДАЗТ, 310050, м. Харьков-50, майдан Фейєрбаха, 7.