

Українська державна академія залізничного транспорту

Афанасьєв Олександр Валерійович

УДК 691.3:699.8(043.3)

**ЦЕОЛІТОНАПОВНЕНІ ЕПОКСИДНО-КАМ'ЯНОВУГІЛЬНІ
ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства інфраструктури України на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

- Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Плугін Андрій Аркадійович, Українська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри будівельних матеріалів конструкцій та споруд.
- Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Золотарьов Віктор Олександрович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів;
- кандидат технічних наук, доцент
Костюк Тетяна Олександрівна, Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри будівельних матеріалів та виробів.

Захист дисертації відбудеться ____ жовтня 2011 р. ____ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради 64.820.02 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050.

Автореферат розісланий ____ вересня 2011 р.

Вчений секретар
вченої спеціалізованої
ради, к.т.н., доц.

Г.Л.Ватуля

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основною проблемою в забезпеченні довговічності металевих прогонових будов залізничних мостів є, окрім утворення втомних

тріщин, їх корозія і корозійно-втомні тріщини. Проблема недостатньої довговічності значно посилилася після електрифікації залізниць, особливо постійним струмом, і обумовленою нею електрокорозією конструкцій.

Лакофарбові матеріали вітчизняного виробництва, що традиційно використовуються для захисту конструкцій від корозії, виявилися недовговічними в умовах їх обводнення і експлуатації на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць. З числа антикорозійних захисних покриттів, що широко використовуються за кордоном, найбільш стійкими і довговічними є поліуретанові та епоксидно-кам'яновугільні. Проте достатнього досвіду їх експлуатації у подібних умовах немає і вони характеризуються високою вартістю.

На відміну від зарубіжного, в Україні є досвід застосування епоксидно-кам'яновугільних захисних покриттів в умовах обводнення і постійних струмів витоку. Зокрема, це емаль ЕП-5116, що промислово виготовляється, а також захисні склади ЗС-З і ЗС-ЗМ, розроблені в УкрДАЗТ. Проте, емаль ЕП-5116 має високу вартість, у порівнянні з вартістю зарубіжних складів. Покриття ЗС-З і ЗС-ЗМ пройшли широку багаторічну перевірку у вказаних умовах і мають невисоку вартість. Проте при нанесенні складу ЗС-ЗМ (без наповнювача цементу) на поверхню сталі не завжди забезпечується стабільність якості покриття. У сиру погоду і при зниженій температурі доквілля часто відбувається «стягування» покриття з утворенням кратерів, що згодом є осередками електрокорозії і корозії сталевих конструкцій.

У зв'язку з цим тема дисертації, спрямована на удосконалення епоксидно-кам'яновугільних захисних складів з метою підвищення їх адгезії, довговічності, захисних властивостей і поліпшення якості покриттів на поверхні сталевих конструкцій, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася у складі держбюджетних науково-дослідних тем УкрДАЗТ за планами НДДКР Міністерства транспорту і зв'язку (з 2011 - Міністерства інфраструктури) України: - №6/2-2008 (№ДР 0108U000076) «Розробка теоретичних та експериментальних основ захисту від електрокорозії споруд залізничного транспорту»; - №6/2-2010 (№ДР 0110U002128) «Розробка теоретичних основ та експериментальні дослідження впливу струмів витоку та блукаючих струмів на бетон та розчин бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій», а також госпрозрахункових тем за планами НДДКР Укрзалізниці: - №4/07-ЦТех-778/07-ЦЮ (60/3-2007) «Дослідження та розробка рекомендацій по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних дій»; - №24/08-ЦТех-319/08-ЦЮ (60/2-2008) «Дослідження та розробка рекомендацій із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод»; - №48/09-ЦТех-151/09-ЦЮ (60/1-2009) «Проведення досліджень з розширенням статистичних даних для розробки відомчих будівельних норм із захисту будівельних конструкцій та споруд залізничного транспорту від агресивних дій»; - №31/10-ЦТех/165/10-ЦЮ (60/3-2010) «Проведення досліджень корозії елементів верхньої будови колії в залізничних тунелях, визначення їх термінів експлуатації та розробка заходів щодо їх захисту від корозії».

Мета досліджень - підвищення електрокорозійної стійкості, адгезії і довговічності епоксидно-кам'яновугільних захисних покриттів металевих конструкцій за рахунок підвищення їх якості та непроникності.

Наукова гіпотеза: Підвищення електрокорозійної стійкості і довговічності епоксидно-кам'яновугільних захисних покриттів може бути досягнуто за рахунок уведення оптимальної кількості наповнювача цеоліту, який сорбував би вільну воду і легку фракцію кам'яновугільної смоли (КВС), забезпечуючи підвищення адгезії покриття до поверхні металу, що захищається, і його непроникність для корозійних струмів і агресивних середовищ.

Задачі досліджень:

- аналітичний огляд літературних даних, узагальнення результатів досліджень захисних властивостей і виявлення недоліків епоксидно-кам'яновугільних покриттів у спорудах залізничного транспорту, експлуатованих в умовах обводнення і струмів витоку; критичний аналіз теоретичних уявлень про їх захисні властивості;
- визначення критеріїв низької якості епоксидно-кам'яновугільних захисних покриттів, факторів її погіршення і поліпшення; аналіз впливу цих факторів на якість і електрокорозійну стійкість покриттів; аналіз існуючих способів зниження в'язкості епоксидної смоли і видалення води і легкої фракції із кам'яновугільної смоли;
- удосконалення теоретичних уявлень про виникнення дефектів і погіршення якості епоксидно-кам'яновугільних покриттів на поверхні металу;
- дослідження впливу наповнювача цеоліту на технологічні властивості та електрокорозійну стійкість епоксидно-кам'яновугільних захисних складів і покриттів; розробка рецептури наповненого цеолітом епоксидно-кам'яновугільного захисного складу;
- дослідження експлуатаційних властивостей розробленого захисного покриття; фізико-хімічні дослідження захисного покриття після його тривалих випробувань на електрокорозійну стійкість;
- експлуатаційна перевірка і впровадження розробленого епоксидно-кам'яновугільного захисного покриття.

Об'єкт дослідження - полімеркомпозиційні захисні склади і покриття на основі епоксидної і кам'яновугільної смол і наповнювачів, поверхні металевих конструкцій під захисними покриттями.

Предмет дослідження - взаємодії між фазами смол і компонентами захисних складів, взаємодія захисних складів з поверхнею металу, процес утворення кратерів у покритті, властивості захисних покриттів.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі, окрім стандартних методів досліджень властивостей захисних складів і покриттів, використані спеціальні і оригінальні методи і методики:

- для оцінки електроповерхневих властивостей металу і компонентів захисного покриття - розрахунково-експериментальний спосіб визначення електроповерхневих потенціалів;
- для дослідження реологічних властивостей захисного складу та його компонентів - віскозиметр ВЗ-1 для визначення умовної в'язкості;

- для дослідження змочування і розтікання захисного складу та його компонентів - традиційну методику виміру крайового кута змочування, удосконалену з урахуванням електроповерхневих властивостей поверхні металу і компонентів захисних складів;
- для визначення адгезії захисного покриття до поверхні металу - відрив адгезіометром штампів, наклеєних на поверхню покриття;
- для дослідження фільтраційних властивостей захисних покриттів - методику визначення безнапірної водонепроникності;
- для дослідження захисних властивостей епоксидно-кам'яновугільних покриттів - запатентовану оригінальну методику їх випробувань на електрокорозійну стійкість;
- для визначення якості та фазового складу епоксидно-кам'яновугільного покриття після тривалих випробувань на електрокорозійну стійкість - фізико-хімічні методи досліджень: оптичну мікроскопію, рентгенівський аналіз, інфрачервону спектроскопію.

Наукова новизна отриманих результатів:

- встановлено, що захисні властивості, адгезія і довговічність епоксидно-кам'яновугільних покриттів поверхні металевих конструкцій знижуються за рахунок наявності в кам'яновугільній смолі води і легкої фракції, що утворюють між собою пряму емульсію; краплі емульсії піддаються коалесценції, поляризуються і утворюють нормальні до поверхні капіляри, заповнені легкою фракцією і такі, що розтягуються за рахунок поверхневого натягу до величини кратерів; легка фракція і вода, випаровуючись, залишають наскрізні кратери, що обумовлюють зниження захисних властивостей і довговічності; розмір кратерів обумовлений рівновагою між силами поверхневого натягу і латерального електроповерхневого відштовхування і складає близько 0,14 мм;
- встановлено, що подавання на поверхню сталі електричного потенціалу певного значення при нанесенні епоксидно-кам'яновугільного складу обумовлює зниження крайового кута змочування за рахунок електрокапілярного ефекту і приводить до зменшення розтягання кратерів і їх розмірів, не усуваючи їх повністю;
- встановлено, що уведення в кам'яновугільну смолу синтетичного цеоліту NaX у кількості 7÷10 % по масі повністю усуває кратероутворення в епоксидно-кам'яновугільному покритті, забезпечуючи підвищення адгезії до металу на 67 % і захисних властивостей у вигляді набуття здатності до тривалого (понад 200 годин) опору електричній дії; синтетичний цеоліт NaX своїми каналами розміром 0,9 нм адсорбує молекули речовин легкої фракції - бензолу, толуолу, ксилолу розміром 0,6, 0,67, 0,71 нм, відповідно, і воду, запобігаючи утворенню емульсії і кратерів.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблений і впроваджений модифікований цеолітом епоксидно-кам'яновугільний склад ЗС-ЗМЦ для захисних покриттів металевих поверхонь;
- розроблені розділи в нормативних документах: «Рекомендації по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних

дій»; «Рекомендації із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод»; «Рекомендації із захисту від корозії елементів верхньої будови колії в залізничних тунелях»; «Споруди транспорту. Захист конструкцій будівель і службово-технічних споруд залізничного транспорту від агресивних дій: Галузеві будівельні норми України» (проект, що затверджений Головним управлінням будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд Укрзалізниці і проходить установлену процедуру узгоджень і затвердження в органах виконавчої влади України).

- результати досліджень використовуються у навчальному процесі, у тому числі включені в підготовлений у співавторстві навчальний посібник.

Особистий внесок здобувача. Критичний аналіз існуючих уявлень з питань, що вивчаються, узагальнення даних про стан захисних покриттів після тривалої експлуатації, розрахунки електроповерхневих потенціалів і експериментальні дослідження виконані автором особисто. Постановка завдань досліджень, формулювання наукової гіпотези і нових наукових положень виконані спільно з науковим керівником, експлуатаційні дослідження і впровадження результатів досліджень - спільно із співавторами публікацій, яким автор висловлює щирю вдячність. Особистий внесок у публікаціях відображено у переліку опублікованих праць.

Апробація результатів дисертації проведена на 46-му Міжнародному семінарі з моделювання і оптимізації композитів МОК'46, Одеса, (26÷27 квітня 2007 р.), 3-й науково-технічній конференції «Математичні моделі процесів у будівництві» (Залізобетонні конструкції та матеріали), Луганськ, (24÷25 березня 2010 р.), 3-й Міжнародній конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, (12÷13 квітня 2011 р.), 68÷73 Міжнародних науково-технічних конференціях кафедр УкрДАЗТ і фахівців підприємств залізничного транспорту (2006÷2011 рр.), 66-й науково-технічній конференції ХДТУБА, (22-24 лютого 2011р).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 8 статтях, з них 6 у виданнях рекомендованих ВАК України, 1 патенті на винахід, а також 1 друкованій доповіді.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літератури з 131 найменувань на 12 сторінках; містить 128 сторінок основного тексту, 125 рисунків, 11 таблиць, 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета, завдання досліджень, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, подані відомості про апробацію роботи і публікації, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі виконано аналітичний огляд літературних даних про довговічність епоксидно-кам'яновугільних захисних складів, надані загальні відомості про захисні матеріали, що використовуються для захисту від корозії та електрокорозії штучних споруд залізниць. Виконано аналіз стану захисних покриттів експлуатованих металевих мостів.

Згідно з літературними даними, на поверхні металоконструкцій наносився один-два шари масляної фарби МА-15 або пентафталевої емалі ПФ-115. Міжремонтний термін таких покриттів має складати 3÷6 років. Проте, огляди показали, що у таких покриттях у місцях, що не продуваються, окремі сліди ушкоджень спостерігаються вже через один-два роки експлуатації навіть при ефективному піскоструминному очищенні поверхні перед ремонтним фарбуванням. Якщо піскоструминне очищення не проводилося, іржа проступає крізь покриття вже в перші місяці.

Покриття на основі епоксидних зв'язуючих, що містять кам'яновугільну смолу, за кордоном традиційно використовуються для довготривалого захисту сталевих і бетонних поверхонь від дії морської і прісної води, для гідроізоляції підземних каналів і трубопроводів. Вони також показали дуже високу ефективність при прямому контакті з різними агресивними хімічними речовинами. Високий захисний потенціал епоксидно-кам'яновугільних покриттів зумовлює їх застосування в мостобудуванні, в резервуарах з нафтою, фундаментах, трубопроводах, портових терміналах, шлюзових і гідротехнічних спорудах.

Якість захисних покриттів, як відомо, багато в чому залежить від якості їх нанесення і ретельності підготовки поверхні. При неякісному нанесенні і погано підготовленій поверхні в покритті можуть з'явитися кратери, а пізніше відбутися його підняття. За наявними даними, з числа дефектних покриттів близько 5 % обумовлені неякісним нанесенням складу, 8 % - неправильним вибором системи (несумісністю матеріалів, їх непридатністю для цієї мети або типу поверхні), 2 % - низькою якістю фарби. Частина дефектів проявляється вже в процесі нанесення фарби, інші стають помітні після висихання покриття.

У дисертації виконаний критичний аналіз досвіду застосування захисних покриттів ЗС-3 і ЗС-3М і досить тривалої експлуатації конструкцій з ними. Згідно з цим аналізом, головною причиною нестабільної якості покриттів ЗС-3 і ЗС-3М є їх нанесення при невисокій температурі повітря. Це підтверджується і встановленими для епоксидно-кам'яновугільних складів обмеженнями температури (15°C), нижче якої їх нанесення не рекомендується. На наш погляд, в умовах спільної дії обводнення і постійних струмів витоку цього обмеження недостатньо, безпечна для якості покриття температура значно вища.

Така залежність від температури сильно зменшує для епоксидно-кам'яновугільних покриттів період часу впродовж року, придатний для нанесення, що різко знижує ефективність експлуатації металевих штучних споруд на залізничному транспорті.

За результатами виконаного аналізу зроблений висновок, що для підвищення якості захисних покриттів ЗС-З, ЗС-ЗМ, що наносяться при знижених температурах, і забезпечення їх високої довговічності необхідно виконати дослідження природи зниження якості і розробити відповідні технологічні способи зменшення або виключення дефектів.

У другому розділі наведені характеристики основних матеріалів і методів досліджень. У роботі використовувалися такі матеріали:

- кам'яновугільна смола (КВС) ТУ-14-7-104-89;
- епоксидна смола ЕД-20 ГОСТ 10587;
- отверджувач УП-583Д ТУ 6-05-241-331-82;
- отверджувач поліетиленполіамін (ПЕПА) ТУ 2413-357-00-203447-99;
- ацетон ГОСТ 2768 і розчинник 647 ГОСТ 18188;
- портландцемент ДСТУ Б В. 2.7-46;
- синтетичний цеоліт *NaX* ТУ 38.10281-88.

При проведенні досліджень використовувалися такі прилади:

- для визначення вмісту в кам'яновугільній смолі води і легкої фракції, а також для визначення зв'язування легкої фракції КВС наповнювачем - цифрові електронні ваги-вологомір WPS 110S (Польща);
- для виміру величини струму при випробуваннях покриття на «пробій» - цифровий мультиметр Sanwa PC510 (Японія);
- для визначення електроповерхневого потенціалу наповнювача, дослідження змочування поверхонь захисними складами, дослідження впливу постійного електричного потенціалу на змочування металу захисним складом, дослідження адгезії захисного складу до поверхні бетону або металу, оцінки електрокорозійної стійкості покриття, а також для дослідження безнапірної водопроникності захисних покриттів використовувалися спеціальні лабораторні установки і розроблені оригінальні методики досліджень.

Фізико-хімічні дослідження захисного покриття ЗС-ЗМЦ після випробування на електрокорозійну стійкість виконувалися методами рентгенівського аналізу, інфрачервоної спектроскопії, оптичної мікроскопії. Рентгенограми отримували за допомогою модернізованого рентгенівського дифрактометра ДРОН-З, ІЧ-спектри - за допомогою ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker ALPNA.

У третьому розділі виконані теоретичні дослідження і розвинені уявлення про механізм впливу різних факторів на якість епоксидно-кам'яновугільних покриттів, у тому числі температури і вологості повітря, складу і властивостей покриття та його компонентів.

Показано, що епоксидно-кам'яновугільний захисний склад при нанесенні є структурованою дисперсною системою зі значними силами взаємодії між частками дисперсної фази. При цьому в'язкість складу, а отже, інші характеристики реології, визначаються в'язкістю його рідкої фази - емульсії з незатверділої епоксидної смоли, отверджувача УП-583Д, легкої фракції (бензолу, толуолу, ксилолу) і води КВС. Пекова фракція КВС належить до твердої дисперсної фази.

Виконаний аналіз впливу температури на в'язкість епоксидно-кам'яно-вугільного складу і вказаних компонентів його рідкої фази. Показано, що зниження в'язкості покриття при пониженій температурі обумовлене, головним чином, різким збільшенням в'язкості епоксидної смоли при зменшенні температури нижче 16°C.

Це пояснено тим, що глобули в епоксидній смолі, що мають близькі розміри, формують каркас з порожнечами між собою. У незатверділій епоксидній смолі містяться також мономерні молекули, що містяться в пустотах між глобулами і в прошарках між ними.

Прошарок з мономерних молекул утворюється при їх об'ємі, що перевищує об'єм пустот між глобулами. Як і у воді, частка мономерних молекул залежить від температури - чим вона вища, тим більша кількість молекул відривається від глобул і міститься між ними у вигляді прошарків. Прошарок між глобулами з мономерних молекул смоли і визначає її текучий стан, а отже, в'язкість. Частка мономерних молекул залежить від температури. Утворення прошарку з мономерних молекул відбувається при 16°C.

Зниженню в'язкості епоксидної смоли при невисокій температурі зазвичай запобігають шляхом її нагріву або розбавлення різними розчинниками. Проте нагріта епоксидна смола полімеризується набагато швидше, що зменшує життєздатність (час технологічної придатності) приготованого для нанесення складу ЗС-З або ЗС-ЗМ.

За даними графіків впливу на в'язкість епоксидної смоли різних розчинників, побудованих за відомими експериментальними даними, показано, що етанол зменшує в'язкість за лінійною залежністю, а ацетон - за нелінійною і інтенсивніше. Це пояснено дуже низькою в'язкістю ацетону ($0,325 \times 10^{-3}$ Па \times с, у порівнянні з етанолом ($1,2 \times 10^{-3}$ Па \times с), а також значно більшим дипольним моментом ($\mu = 2,84$ D) з функціональними групами CH_3 , оберненими позитивним полюсом назовні (структурна формула $[\text{CH}_3\text{-C}(\text{O})\text{-CH}_3]$), у порівнянні з дипольним моментом етанолу ($\mu = 169$ D) з функціональними групами OH (структурна формула $\text{C}_2\text{H}_5(\text{OH})$), оберненими негативними полюсами назовні. Перше забезпечує істотно більше зниження в'язкості, а друге призводить до сильнішої взаємодії ацетону з глобулами епоксидної смоли. В обох випадках це повинно призвести до занадто великого зниження міцності та адгезії епоксидно-кам'яновугільного покриття. Для перевірки цього виконані відповідні дослідження впливу розчинника на якість епоксидно-кам'яновугільних покриттів ЗС-З і ЗС-ЗМ на поверхні сталі.

Крім того, застосування розчинника для зниження в'язкості призводить до зайвої пористості покриття і, як наслідок, зайвої проникності. Викладене викликає необхідність встановлення граничного вмісту розчинника.

Другий показник низької якості покриття - утворення кратерів, пов'язане з вмістом у КВС води і легкої фракції (бензолу, толуолу, ксилолу). Згідно з розробленою науковою гіпотезою, зменшення кількості і навіть виключення води і легкої фракції з КВС і усунення кратероутворення може бути досягнуте уведенням до складу наповнювача цеоліту.

Таким вимогам найбільшою мірою відповідає синтетичний цеоліт NaX . Він вибірково сорбує молекули води і бензолу, толуолу, ксилолу за рахунок того, що розміри цих молекул менші розмірів каналів цеоліту (рис.1) і складають: бензолу C_6H_6 - 0,6, толуолу $C_6H_5CH_3$ - 0,67, ксилолу $C_6H_4(CH_3)_2$ - 0,71 нм.

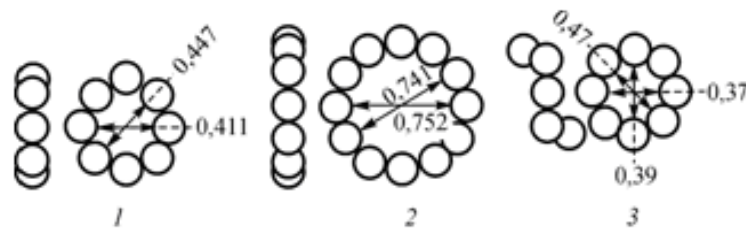


Рис.1. Будова кисневих кілець у цеолітах: 1 – типу А; 2 - типу Х; 3 - шабазиті

На основі аналізу об'єму пор у цеоліті та кількості води в КВС теоретично обґрунтована оптимальна кількість цеоліту в захисних покриттях, що дорівнює 17 %. Проте, передбачуваний вплив цеоліту як наповнювача на в'язкість епоксидно-кам'яновугільного складу вимагає проведення відповідних досліджень його впливу на в'язкість, крайовий кут змочування складу і якість покриття на поверхні металу.

Виконаний аналіз структури незатверділого епоксидно-кам'яновугільного складу, в якому КВС є конденсованою дисперсною системою, що містить тверду дисперсну фазу (пек - 50 %, нафталінову фракцію - 12 %, антраценову фракцію - 2,7 %, всього близько 65 %) і дисперсійне середовище (рідку фазу з масел, легкої фракції і води - інші 35 %). У зв'язку з тим, що у складі води міститься невелика кількість розчиненого в ній фенолу, що є ПАР з високим дипольним моментом молекул ($\mu = 1,54$ D), тобто емульгатором, у процесі приготування і нанесення на поверхню сталі утворюється пряма емульсія вода - неполярні речовини легкої фракції (бензол, толуол, ксилол).

На основі такого уявлення про емульсію води і легкої фракції, а також аналізу уявлень про крайовий кут змочування на границі розподілу трьох фаз тверда - вода - легка фракція, латеральне електроповерхневе відштовхування між адсорбованими на границі розподілу фаз полярними молекулами фенолу, спонтанну орієнтацію дипольних молекул на поверхні твердої (рідкої) фази сформульовані уявлення про механізм виникнення кратерів у тільки що нанесеному епоксидно-кам'яновугільному покритті. Суть його полягає в такому.

При виготовленні та нанесенні захисного складу вода з легкою фракцією КВС (бензолом, толуолом, ксилолом) утворює пряму емульсію, в якій емульгатором є фенол (рис.2), що утворює з водою подвійний електричний шар ПЕШ на границях розподілу (рис.3).

Проте в подібних емульсіях з помітною швидкістю може йти збільшення середнього розміру крапель речовин легкої фракції - коалесценція (злиття крапель). У тонкому шарі (0,2÷0,4 мм) тільки що нанесеного покриття під впливом електричного поля поверхні відбувається поляризація крапель речовин легкої фракції за рахунок поляризації дипольних моментів фенолу на їх поверхні (рис.4) та їх спрямована коалесценція з утворенням заповнених ними нормальних до поверхні циліндричних капілярів (рис.5).

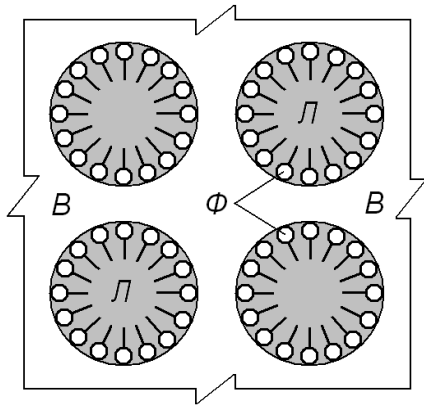


Рис.2. Стабілізація прямої емульсії за допомогою ПАР: В - вода; Л - речовини легкої фракції КВС; Ф - фенол

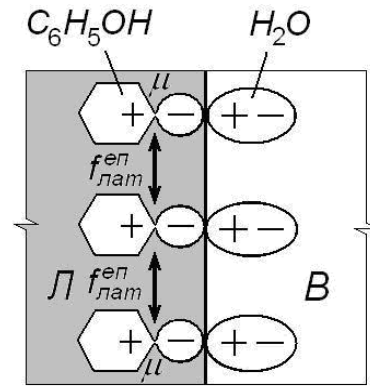
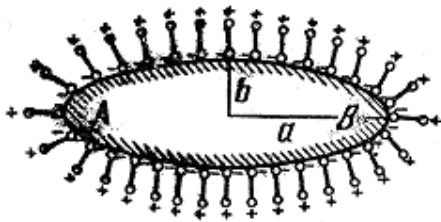


Рис.3. Виникнення ПЕШ на границі розподілу води і краплі речовин легкої фракції, а також сили латерального відштовхування між дипольними моментами молекул фенолу $f_{лат}^{en}$

а)



б)

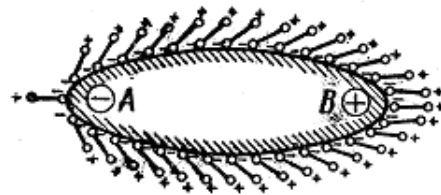
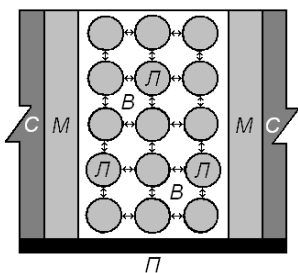
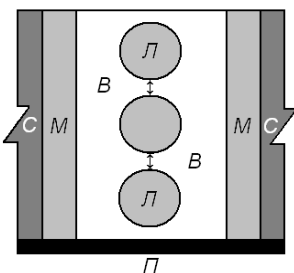


Рис.4. Схема утворення жорсткого дипольного моменту колоїдних часток: а) - неполяризований стан; б) - жорсткий дипольний момент

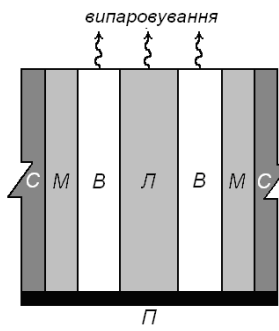
а)



б)



в)



г)

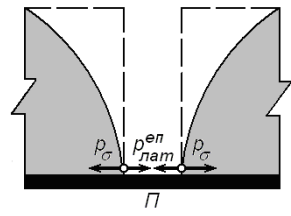


Рис.5. Схема кратероутворення у тільки що нанесеному покритті (поперечний переріз): а), б) - коалесценція крапель емульсії; в) - утворення циліндричного капіляра; г) - розтягування капіляра у кратер

Розроблені фізико-хімічні моделі процесу кратероутворення, при цьому представлена схема ПЕШ на границі розподілу і виникнення сили латерального електроповерхневого відштовхування між дипольними моментами молекул фенолу $f_{лат}^{en}$ (рис.3); виведено вираз для енергії латерального

електроповерхневого відштовхування між суміжними дипольними молекулами груп *ОН* фенолу:

$$u_{\text{лат},\mu}^{\text{en}} = \frac{2\mu_{\text{ф}}^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a_0^3}; \quad (1)$$

- загальна енергія розриву плівки:

$$U_{\text{лат}}^{\text{en}} = u_{\text{лат},\mu}^{\text{en}} \cdot N; \quad (2)$$

- робота розтягування кратера:

$$A = \sigma \cdot 2\pi R_{\text{к}} \cdot \frac{d_{\text{H}_2\text{O}}}{2}; \quad (3)$$

- рівняння рівноваги кратера:

$$U_{\text{лат},\mu}^{\text{en}} = A. \quad (4)$$

де a_0 - відстань між дипольними моментами фенолу, м; N - число молекул фенолу на границі розподілу; $R_{\text{к}}$ - радіус краплі.

На основі величини електроповерхневого потенціалу води $\psi_{\text{en}}^0 = 0,24$ В і формули плоского конденсатора визначені величини a_0 , N , а з рівняння (4) з урахуванням виразів (2) і (3) визначена величина рівноважного розміру (діаметра) кратера, яка склала 0,14 мм. Близькість цього розміру відповідає реальним розмірам кратерів (рис.6) і підтверджує коректність фізико-хімічної моделі кратероутворення і виведених рівнянь.

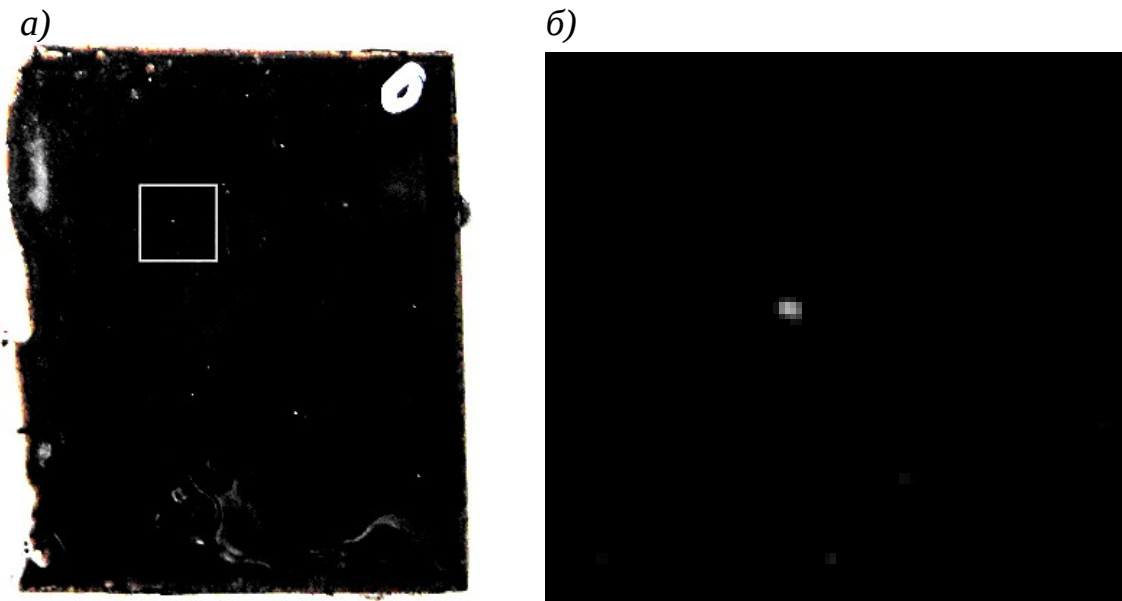


Рис.6. Фотознімки покриття ЗС-ЗМ, нанесеного на сталеву пластину: а) - білі точки, у т.ч. у білій рамці - кратери; б) - збільшений у 6,5 разів фрагмент зображення у рамці

Після утворення кратера відбувається розтягання його стінок (розширення) силами поверхневого натягу. Проте цьому розтягуванню на границі з поверхнею сталі перешкоджає латеральне електроповерхнєве відштовхування між дипольними моментами подвійних груп NH_2 отверджувача епоксидної смоли. Це обумовлено їх найбільшим дипольним моментом ($\mu = 10,3 \times 10^{-30}$ Кл \times м) у порівнянні з іншими полярними компонентами складу, і отже, їх переважною

адсорбцією на поверхні оксидної плівки. Розтягування відбувається до рівноважного стану (рис.5, г).

Розроблена фізико-хімічна модель утворення і розтягування кратерів у покритті свідчить про те, що для їх виключення необхідно виключити із складу неполярні речовини легкої фракції КВС - бензол, толуол, ксилол і воду, з якою вони утворюють пряму емульсію. Це може бути досягнуто за допомогою синтетичного цеоліту NaX , що вводиться в КВС безпосередньо перед приготуванням захисного складу. Проте оскільки збільшення вмісту твердої фази в КВС і одночасне зменшення кількості рідкої фази у зв'язку з її сорбцією цеолітом призведе до збільшення в'язкості ЗС-ЗМ, були виконані відповідні дослідження впливу наповнювача цеоліту на в'язкість, крайовий кут змочування епоксидно-кам'яновугільного складу і якість покриття на поверхні металу.

Для синтетичного цеоліту NaX були визначені за методикою А.М.Плугіна і А.А.Плугіна значення абсолютного ψ_{en}^0 і рівноважного електроповерхневого потенціалу $\psi_{en}^p = -0,26$ В.

Якість покриття на поверхні металу знижується також за рахунок виникнення розривів при його нанесенні. Розроблена фізико-хімічна модель утворення цих розривів, суть якої полягає в такому. На відміну від рівноваги краплі рідини на твердій поверхні, захисне покриття є плоским тонким шаром, який повинен покривати поверхню металу, перекриваючи її нерівності і не розриваючись. Нерівності на поверхні металу обумовлені рядом технологічних чинників: обумовлені зернистою структурою металу, за рахунок абразивної обробки і за рахунок прокатної окалини. Такі нерівності (опуклості) можуть призвести при недостатньо текучому складі до гальмування його потоку, зупинки розтікання і утворення просвітів у покритті. Очевидно також, що склади з низькою в'язкістю легко долатимуть опуклості і покриватимуть поверхню металу рівномірним шаром. Проте надто низька в'язкість складу сприяє значному зниженню адгезії і збільшенню проникності покриття.

Отже, захисне покриття, особливо з наповнювачем цеолітом, повинне мати оптимальну в'язкість. Критерієм такої в'язкості є шлях розтікання складу по поверхні сталі на довжину 20 мм, тобто ділянки між найбільш високими гребенями неоднорідностей і подряпинами, що виникли на етапі їх створення і очищення.

В основу розробленої фізико-хімічної моделі утворення розривів у покритті при його нанесенні покладені виведені в дисертації вирази:

- для сили розтягування контуру капіляра в захисному покритті низом:

$$F_{розт} = \sigma_{en} \cdot 2\pi R_{en}; \quad (5)$$

- для сил латерального електроповерхневого відштовхування між двома паралельними диполями аміних груп NH_2 (перешкоджають розтягуванню) -

$$f_{лат,\mu}^{en} = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot \mu_{\Phi}^2 = \frac{3 \cdot \mu_{\Phi}^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a_0^4}, \quad F_{лат,\mu}^{en} = f_{лат,\mu}^{en} \cdot N. \quad (6)$$

При рівності $F_{лат,\mu}^{en} = F_{розт}$ виникає рівноважний стан покриття, при якому його розтікання зупиняється.

Розв'язання цього рівняння при величині a_0 , знайденій за величиною рівноважного електроповерхневого потенціалу оксидної плівки на поверхні металу $\psi_{en}^0 = -0,566$ В, дало можливість визначити умовну в'язкість покриття по ВЗ-1 $t_c = 140$ с, при якій захисне покриття самостійно розпливеться на відстань, рівну максимальному розміру нерівності на поверхні металу, тобто 20 мм.

Таким чином, встановлений важливий технологічний параметр епоксидно-кам'яновугільного складу, що забезпечує високу якість покриття, - умовна в'язкість t_c не вища 140 с.

У четвертому розділі виконані експериментальні дослідження впливу невисоких температур і постійного потенціалу (від струму витоку) на якість покриття (міру дефектності), а також теоретичні дослідження механізму негативного впливу невисоких температур на якість покриття і способів усунення цього негативного впливу.

Експериментально підтверджено, що якість захисного покриття при зниженні температури менше 16°C значно погіршується. Найкращим за якістю (у балах) є покриття, нанесене при середній денній температурі 30°C (рис.7). З усіх компонентів покриття найбільшою мірою проявляється залежність в'язкості від температури для епоксидної смоли ЕД-20 (рис.8).

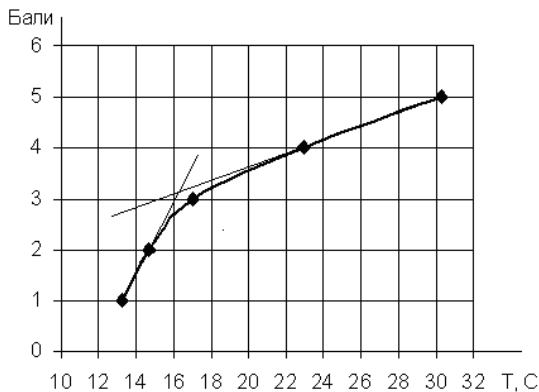
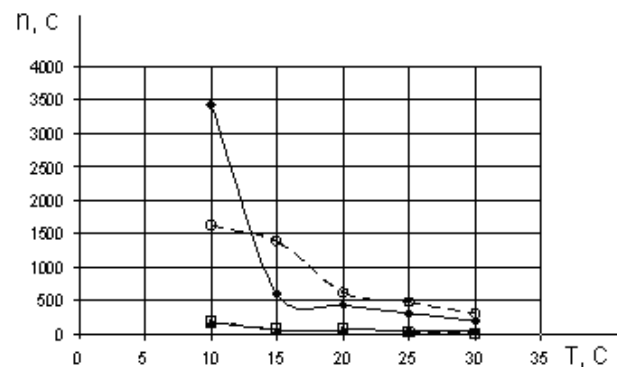


Рис.7. Залежність якості покриття від середньої денної температури повітря



—◆— ЕД-20; —○— УП-583Д;
—□— КВС Харківського КХЗ;
—▲— КВС + 10 % цеоліту

Рис.8. Залежність в'язкості компонентів складу від температури

При збільшенні масштабу графіка (рис.8) для КВС Харківського КХЗ (рис.9) відзначається двоступінчата залежність в'язкості від температури зі «сходінками» при 15 і 25°C . Перша «сходінка» відзначається при такій самій температурі, як для ЕД-20, друга - при більш високій. Перший перелом свідчить про те, що КВС також є структурованою дисперсною системою.

Виконане дослідження впливу розчинника ацетону при температурі 18°C на якість епоксидно-кам'яновугільного покриття на поверхні металу (рис.10), а також адгезії покриття залежно від кількості синтетичного цеоліту NaX/KVC (рис.11). Установлено, що кращу якість мають покриття з 4 % ацетону (рис.10). Зроблено висновок, що така екстремальна залежність обумовлена впливом двох факторів - в'язкості й полярності ацетону. При незначному вмісті ацетону (до 7 %) переважає

розріджувальний вплив його низької в'язкості, а збільшення кількості ацетону понад 7 % приводить, за рахунок його високої полярності (дипольного моменту), до збільшення когезії складу.

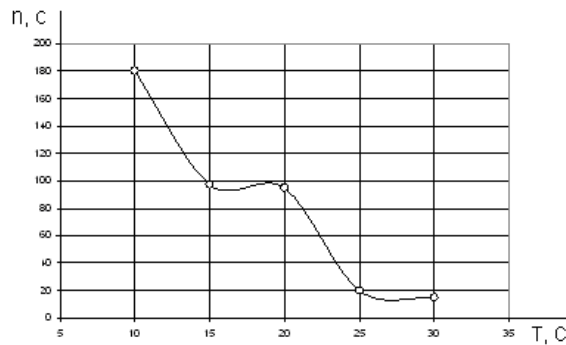


Рис.9. Залежність в'язкості КВС Харківського КХЗ від температури

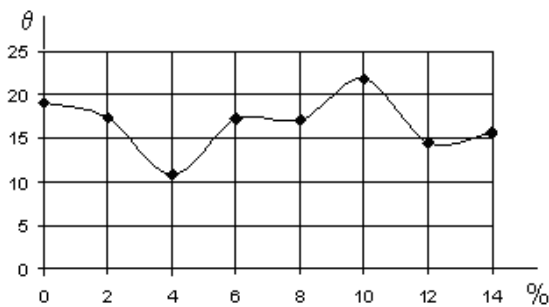


Рис.10. Зміна крайового кута змочування епоксидно-кам'яновугільного покриття від кількості введеного в нього ацетону

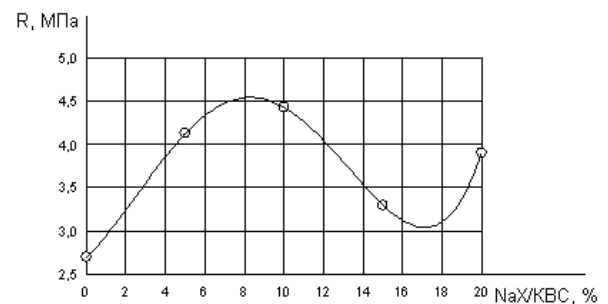


Рис.11. Залежність адгезії R епоксидно-кам'яновугільного складу від кількості наповнювача цеоліту $NaX/КУС$ (відношення за масою)

Згідно з рис.11, оптимальна кількість цеоліту перебуває в межах 7÷10 % від маси КВС. Така кількість цеоліту зв'язує близько 3,8÷5,4 % води, тобто менше її вмісту в КВС. Збільшення вмісту цеоліту понад оптимальний приводить до значного збільшення в'язкості, погіршення змочувальної здатності, зниження адгезії.

Установлено також, що якість покриття можливо поліпшити, подаючи на поверхню металу при нанесенні складу постійний електричний потенціал. Це обумовлено впливом електрокапілярного ефекту на крайовий кут змочування й розтікання покриття по поверхні металу. Залежність крайового кута змочування від потенціалу на поверхні металу є двохекстремальною з явним зниженням його значень до мінімуму при -8 В і +3 В.

На підставі проведених досліджень розроблений склад цеолітонаповненого епоксидно-кам'яновугільного захисного покриття з наповнювачем синтетичним цеолітом NaX у кількості 10 % від маси КВС (ЗС-ЗМЦ). Виконано дослідження його експлуатаційних властивостей.

На рис.12 подана експериментальна залежність в'язкості захисного складу від температури, а на рис.13 - зміна електричного струму через покриття в часі.

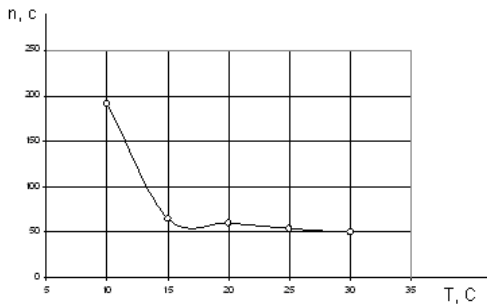


Рис.12. Залежність в'язкості складу з 10 % цеоліту NaX від температури

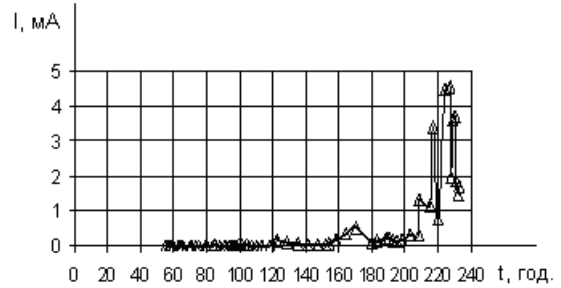


Рис.13. Зміна сили струму I у часі через захисне покриття з 10 % цеоліту NaX

З рис.12 видно, що в порівнянні із кривою для КВС (рис.9), друга «сходінка» на кривій зникла, залишилася лише перша при $15^{\circ}C$. Це свідчить про те, що цеоліт NaX вибірково сорбував легку фракцію (бензол, толуол, ксилол) і воду.

Згідно з рис.13, сила струму через покриття на поверхні металу протягом тривалого часу випробувань (до 208 год) залишалася незначною. Через близько 200 год електричного впливу спостерігалось досить різке збільшення сили струму, що після декількох короточасних пікоподібних збільшень знизилось. Видимого «пробою» в покриттях не спостерігалось.

Виконано дослідження впливу кількості наповнювача цеоліту на якість покриття на поверхні металу. У розробленому захисному складі з 10 % цеоліту кратери були відсутні, оцінка якості складала 5 балів, у той час як покриття без наповнювача характеризувалося значною кількістю кратерів і оцінкою якості 3 бали.

Зразки, відібрані з розробленого захисного покриття, що пройшло тривалі електрокорозійні випробування, досліджували за допомогою фізико-хімічних методів – рентгенівського аналізу й інфрачервоної спектроскопії. У результаті цих досліджень гідроксид заліза $Fe(OH)_3$ не був виявлений, що свідчить про відсутність електрохімічної корозії металу під захисним покриттям.

а)

б)

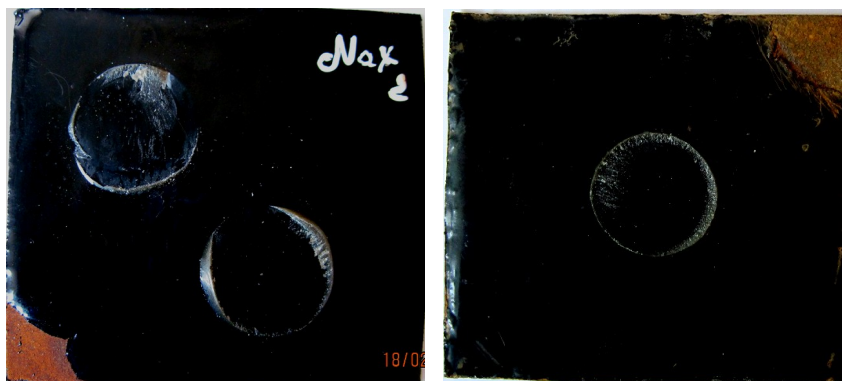


Рис.14. Характер відриву штампів від покриття: а) – без випробувань на електрокорозійну стійкість; б) – після тривалого випробування на електрокорозійну стійкість

Визначення адгезії розробленого складу виконували шляхом відриву штампів. Адгезійна міцність за період тривалих електрокорозійних випробувань навіть збільшилася в порівнянні з адгезією перед початком випробувань і склала близько 7 МПа, що близько до адгезії покриття, що не піддавалося таким випробуванням. Однак фактично величина адгезії ще більша, оскільки відрив відбувався по епоксидному клею (рис.14).

Покриття після тривалих випробувань на електрокорозійну стійкість залишалося водонепроникним за показником безнапірної проникності.

П'ятий розділ присвячений експлуатаційній перевірці й впровадженню розробленого епоксидно-кам'яновугільного захисного покриття ЗС-ЗМЦ. Покриття було нанесено на поверхню металоін'єкційної обойми водопропускної труби на 19 км електрифікованого постійним струмом ділянки Харків - Люботин Південної залізниці. Покриття було нанесене у серпні 2010 року поверх існуючого покриття, що втратило свої захисні властивості через нанесення в сиру погоду при низькій температурі навколишнього середовища. За станом на липень 2011 року покриття перебуває в гарному стані.

За результатами досліджень, що виконані у дисертації, був отриманий 1 патент на винахід, розроблені галузеві інструктивні та нормативні документи Укрзалізниці: Рекомендації по захисту конструктивних елементів будівель та споруд, що експлуатуються, від агресивних дій (2007); Рекомендації із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод (2008); Рекомендації із захисту від корозії елементів верхньої будови колії в залізничних тунелях (2010); проект галузевих будівельних норм Захист будівельних конструкцій та споруд залізничного транспорту від агресивних дій (2010).

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі, у тому числі в лекційних курсах, при дипломному проектуванні, при підготовці навчального посібника «Підсилення аварійних конструкцій».

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На залізницях України для захисту від корозії металевих конструкцій штучних споруд застосовують фарбування пентафталевами (в основному ПФ-115) і масляними сполуками, нестійкими й недовговічними в умовах обводнення й постійних струмів витоку. Більш електрокорозійностікими й довговічними є поліуретанові й епоксидні склади, однак їхня вартість значно перевищує вартість ПФ-115. Поряд із цим є світовий досвід успішного застосування епоксидно-кам'яновугільних антикорозійних складів, а також досвід застосування розроблених в УкрДАЗТ епоксидно-кам'яновугільних захисних складів ЗС-З і ЗС-ЗМ. Однак в умовах постійних струмів витоку й обводнення конструкцій вони мають нестабільність якості, схильні до «стягування» і кратероутворення.

2. Установлено, що основною причиною погіршення якості епоксидно-кам'яновугільних захисних покриттів («стягування» і кратерів) є різке зниження в'язкості епоксидної смоли в складі при температурі повітря нижче 16°C, а також наявність вільної води й легкої фракції в кам'яновугільній смолі. Такий характер

зміни в'язкості від температури обумовлений тим, що при температурі 16°C і нижче зменшується частка мономерних молекул епоксидної смоли й зникає прошарок з них між глобулами (надмолекулярними утвореннями) смоли.

3. Розкрито механізми «стягування» складу й кратероутворення. Механізм «стягування» полягає в дії стягуючих сил поверхневого натягу й перешкоджаючому стягуванню сил латерального електроповерхневого відштовхування між адсорбованими на поверхні металу амінними групами NH_2 отверджувача. Механізм кратероутворення полягає в спрямованій коалесценції крапель легкої фракції в їхній водній емульсії під впливом електричного поля поверхні металу. Розроблено відповідні моделі, схеми, рівняння. Показано, що усунення кратероутворення може бути досягнуте шляхом видалення з дисперсійного середовища води й легких фракцій за допомогою їхньої вибіркової сорбції синтетичним цеолітом NaX з розміром каналів близько 1 нм. Усунення «стягування» захисного складу може бути забезпечене за рахунок обмеження в'язкості покриття величиною не більше 140 с по ВЗ-1.

4. Експериментально встановлений вплив на якість покриття постійного потенціалу, що подається на поверхню металу при нанесенні складу. Підвищення якості покриття на поверхні металу СтЗ спостерігається при потенціалах + 8 і – 3 В. Це обумовлено впливом електрокапілярного ефекту на крайовий кут змочування й розтікання захисного складу по поверхні металу. В основі цього впливу лежить зниження поверхневого натягу силами латерального відштовхування між індукованими зарядами на поверхні металу. Спосіб підвищення змочування складом поверхні металу рекомендовано використовувати при фарбуванні конструкцій для поліпшення якості покриттів.

5. Установлено вплив наповнювача цеоліту NaX на в'язкість, крайовий кут змочування епоксидно-кам'яновугільного складу та на якість покриття на поверхні металу. Визначено оптимальну кількість цеоліту в складі, що склала 10 % від маси КВС.

6. За допомогою оптичної мікроскопії встановлена мікроструктура епоксидно-кам'яновугільних складів, у т.ч. із цеолітом NaX , і розміри її елементів: середній розмір часток пека ≈ 10 мкм; середній розмір часток цеоліту NaX у КВС ≈ 35 мкм.

7. На підставі проведених експериментально-теоретичних досліджень був розроблений цеолітонаповнений епоксидно-кам'яновугільний захисний склад ЗС-ЗМЦ. Його випробування на електрокорозійну стійкість показали зберігання високої адгезії й непроникності покриття після електричного впливу, повну відсутність продуктів електрокорозії металу в покритті й під ним.

8. Покриття ЗС-ЗМЦ успішно впроваджене й пройшло експлуатаційні випробування при капітальному ремонті водопропускної труби на електрифікованій постійним струмом ділянці залізниці. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень при капітальному ремонті штучних споруд залізничного транспорту склав 141313 грн. і досягнений за рахунок зменшення витрат на капітальний ремонт споруд запропонованими способами в порівнянні з типовими рішеннями.

9. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі в лекційних курсах, на лабораторних і практичних заняттях, у дипломному проектуванні, при підготовці навчального посібника.

Основні результати дисертації опубліковані в роботах:

1.Афанасьев А.В. Повышение технологичности и защитных свойств покрытий на основе каменноугольной и эпоксидной смол и высокоактивного отвердителя аминного типа / А.В. Афанасьев // Зб. Наук. праць - Харків: УкрДАЗТ 2010. - Вип.115. - С.82-90.

2.Афанасьев А.В. Использование синтетического цеолита для модифицирования эпоксидно-каменноугольных защитных составов / А.В. Афанасьев, Ю.Н. Горбачова, А.А. Плугин // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Зб.наук. праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вип. 109. - С.81-89. *Особистий внесок*: аналітичний огляд літературних даних, проведення лабораторних досліджень, аналіз отриманих результатів.

3.Порівняльний аналіз методів контролю летких компонентів кам'яно-вугільної смоли у повітрі робочої зони / А.М. Плугін, А.А. Плугин, Ю.М.Горбачова, О.В. Афанасьев // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Зб.наук. праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2006. - Вип. 77. - С.176-189. *Особистий внесок*: аналітичний огляд даних.

4. Плугин А.Н. Исследование диэлектрических свойств каменноугольных смол / А.Н. Плугин, А.В. Афанасьев, Ю.Н. Горбачева // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2007.- вип.44. – С.210. *Особистий внесок*: розробка лабораторної установки й вимір діелектричних характеристик КВС, аналіз отриманих результатів.

5. Экспериментальные исследования электроповерхностных свойств вяжущих и пигментов в высоковольтном электрическом поле / А.А.Плугин, А.Н. Плугин, А.В. Афанасьев, Ю.Н. Горбачова, И.В. Подтележникова // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Зб.наук. праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2007. - Вип.87. - С.125-134. *Особистий внесок*: визначення поверхневого потенціалу експериментальним і розрахунковим засобом.

6. К механизму коррозии низкоуглеродистой стали под защитными покрытиями / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, И.В. Подтележникова, С.В. Мирошниченко, Ю.Н. Горбачева, А.В. Афанасьев // Моделирование в компьютерном материаловедении: Матер. к 46-му Междунар. семин. по моделированию и оптимизации композитов МОК'46, Одесса, 26-27 апреля 2007. - Одесса: Астропринт, 2007. - С.197-202. *Особистий внесок*: проведення лабораторних досліджень.

7.Электроповерхностный потенциал простых веществ - основа моделирования прочностных и коррозионных свойств стальных и железобетонных конструкций / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Ю.Н. Горбачева, А.В. Афанасьев // Науковий вісник ЛНАУ (3-я наук. техн. конф. «Математичні моделі

процесів в будівництві» (Залізобетонні конструкції та матеріали), Луганськ, 24-25 березня 2010). - Луганськ: ЛНАУ, 2010. - Вип.14. - С.19-41. *Особистий внесок:* проведення лабораторних досліджень.

8. Пат. 88998 UA МПК E04B1/66 E04B1/62 Спосіб визначення електрокорозійної стійкості захисних покриттів / А.А. Плугін, А.М. Плугін, І.В. Потележнікова, О.В. Афанасьєв, Ю.М. Горбачова, С.В. Мірошніченко, Д.А. Плугін, О.А. Плугін, О.А. Дудін, О.С. Борзяк; Заявник та патентовласник УкрДАЗТ.- №а200811897; заявл. 07.10.2008; опубл. 10.12.2009.- Бюл. №23. *Особистий внесок:* проведення лабораторних випробувань захисних покриттів ЗС-3 і ЗС-3МЦ на «пробій».

АННОТАЦІЯ

Афанасьєв Александр Валерьевич. Цеолитонаполненные эпоксидно-каменноугольные покрытия для защиты от электрокоррозии. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - Строительные материалы и изделия. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2011.

Диссертация посвящена экспериментально-теоретическим исследованиям по совершенствованию свойств эпоксидно-каменноугольных защитных покрытий, используемых для защиты от коррозии и электрокоррозии металлических конструкций. Установлено, что при нанесении ранее разработанных в УкрГАЗТ защитных составов ЗС-3 и ЗС-3М на поверхность стали в сырую погоду при пониженной температуре окружающей среды происходит «стягивание» покрытия с образованием кратеров, впоследствии являющихся анодными участками очагов коррозии. Исследования показали, что причина этого явления заключается в направленной коалесценции капель легкой фракции каменноугольной смолы в ее эмульсии с водой под влиянием электрического поля поверхности стали. Была разработана физико-математическая модель, определены размеры (диаметр) образующихся кратеров.

Выполнены теоретические исследования и развиты представления о механизме влияния различных факторов на качество эпоксидно-каменноугольных покрытий, в том числе температуры и влажности воздуха, состава и свойств покрытия и его компонентов и т.д. Основным параметром, определяющим качество покрытия – вязкость состава, зависящая от вязкости его жидкой дисперсионной среды, состоящей из незатвердевшей эпоксидной смолы с отвердителем, легкой фракции (бензола, толуола, ксилола), антраценового масла и воды КУС. Все остальные фракции КУС, в частности частицы пека, являются, как и наполнители, твердой дисперсионной фазой.

Разработан количественный механизм смачивания поверхности стали на основе действия стягивающих и препятствующих сил на контуре капли и в слое покрытия между гребнями неровностей поверхности стали во взаимосвязи с расстоянием между ними и вязкостью состава.

Установлено, что для исключения «стягивания» покрытия необходимо исключить из дисперсионной среды воду и легкую фракцию КУС (бензол, толуол,

ксилол). Их удаление достигнуто путем введения в КУС непосредственно перед приготовлением состава синтетического цеолита NaX . Однако, поскольку увеличение содержания твердой фазы в КУС и одновременное уменьшение количества жидкой фазы в связи с ее сорбцией цеолитом приведет к повышению вязкости состава, были выполнены соответствующие исследования влияния наполнителя цеолита на вязкость, краевой угол смачивания состава и качество эпоксидно-каменноугольного покрытия на поверхности стали.

В результате исследований установлены важные технологические параметры состава - оптимальное количество цеолита, растворителя, предельная условная вязкость.

Ключевые слова: эпоксидно-каменноугольный состав, защитное покрытие, синтетический цеолит, смачивание, кратерообразование, электрокоррозия.

АНОТАЦІЯ

Афанасьєв Олександр Валерійович. Цеолітонаповнені епоксидно-кам'яновугільні покриття для захисту від електрокорозії. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.23.05 - будівельні матеріали й вироби. Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2011.

Дисертація присвячена експериментально-теоретичним дослідженням з поліпшення властивостей епоксидно-кам'яновугільних захисних покриттів, що використовуються для захисту від корозії та електрокорозії металевих конструкцій. Установлено, що при нанесенні раніше розроблених в УкрДАЗТ захисних складів ЗС-3 і ЗС-3М на металеву поверхню, особливо в сиру погоду при низькій температурі навколишнього середовища, відбувається «стягування» покриття з наступним утворенням кратерів, які є осередками корозії. Дослідження показали, що причина цього явища полягає в спрямованій коалесценції крапель легкої фракції кам'яновугільної смоли в її емульсії з водою під впливом електричного поля металеві поверхні. У зв'язку із цим була розроблена модель, визначені розміри (діаметр) кратерів, що утворюються.

Виконані теоретичні дослідження й розвинені уявлення про механізм впливу різних факторів на якість нанесення епоксидно-кам'яновугільних покриттів. Розроблено кількісний механізм змочування поверхні металу на основі дії стягуючих і перешкоджаючих сил на контурі краплі та у шарі покриття між гребенями нерівностей поверхні сталі.

Установлено, що для виключення «стягування» покриття необхідно виключити з дисперсійного середовища, яким є КВС, воду й речовини легкої фракції. Видалення цих компонентів досягається за допомогою натрієвого цеоліту NaX , що уводиться у КВС безпосередньо перед приготуванням захисного складу. Але оскільки збільшення вмісту твердої фази в КВС, і одночасне зменшення кількості рідкої фази, у зв'язку з її сорбцією цеолітом, призведе до збільшення в'язкості складу, були виконані відповідні дослідження впливу наповнювача цеоліту на в'язкість, крайовий кут змочування і якість нанесення покриття на поверхню сталі.

Теоретичні дослідження дозволили встановити важливі технологічні параметри - оптимальну кількість цеоліту і розчинника в епоксидно-кам'яно-вугільному складі, а також його умовну в'язкість.

Ключові слова: епоксидно-кам'яновугільний склад, захисне покриття, синтетичний цеоліт, змочування, кратероутворення, електрокорозія.

ABSTRACT

Alexander V. Afanasiev. Zeolite-filled epoxy-carboniferous cover to protect against electrocorrosion. Manuscript.

Thesis for degree of candidate of technical sciences, specialty 05.23.05 - building materials and products. Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2011.

The thesis is devoted to experimental and theoretical studies to improve the properties epoxy-carboniferous coatings used for corrosion and electrocorrosion protection of metal structures.

In this thesis performed theoretical research and development of the mechanism of the effect of various factors on the quality of the application of an epoxy-coating of coal, including temperature and humidity, the composition and properties of the coating, its components, etc. The main parameter that determines the quality of coverage - the viscosity, which is determined viscosity of its liquid phase (dispersion medium).

The mechanism of crater formation, developed a quantitative mechanism for wetting the surface of the steel, the conditioned viscosity defined composition.

It is established that to avoid contraction of coverage should be removed from the dispersion medium, which is the light fraction and water of epoxy-carboniferous resin (ECR) and, which can be achieved through the introduction of ECR synthetic zeolite NaX.

But since the increase of the solid phase in ECR, and a simultaneous decrease in the amount of the liquid phase will increase the viscosity of the composition, were carried out relevant studies the influence of zeolite filler on the viscosity, contact angle and the quality of the application for coverage epoxy-carboniferous steel plate.

Theoretical studies have established important technological parameters - the optimal amount of zeolite in epoxy-carboniferous coverage (10% of ECR), as well as its viscosity.

Keywords: sheeting: epoxy-carboniferous composition? synthetic zeolite, wetting, cratering, electrocorrosion.

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

ЦЕОЛІТОНАПОВНЕНІ ЕПОКСИДНО-КАМ'ЯНОВУГІЛЬНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ

Афанасьєв Олександр Валерійович

Відповідальний за випуск

Підписано до друку __ __ 2011

Формат паперу 60x84 1/16 Папір для множувальних апаратів

Печатка офсетна. Усл. - печатка аркуш 0,9

Замовлення № ____ Тираж 120 экз. Безкоштовно

Видавництво УкрДАЗТ Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТ 61050, м. Харків 50, майдан Фейєрбаха, 7