

Матеріали і технології для подовження терміну експлуатації бетонних і залізобетонних конструкцій

Мірошник Т. П.

Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, м. Київ,

Петрикова Є. М.

Київський Національний Університет будівництва і архітектури, м. Київ

Лунін О. Д.

Центральна електроенергетична система ДП НЭК «Укренерго», м. Київ

Розглянуто деякі причини виникнення дефектів залізобетонних конструкцій. Розглянуто критерії оцінки і питання вибору матеріалів для проведення ремонтно-відновлювальних робіт. Наведено технологію виконання ремонтних робіт за допомогою розроблених органосилікатних матеріалів, та результати впровадження розроблених матеріалів.

Вступ

Ефективність і якість капітального будівництва значною мірою залежать від інтенсивності розробок і досліджень прогресивних матеріалів, конструкцій і технологій, їх широкого впровадження в практику будівництва нових об'єктів, а також тих споруд, що підлягають реконструкції. У зв'язку з цим особливо актуальним стає підвищення довговічності будівельних конструкцій і споруд. Проблеми довговічності конструкцій викликають помітну і все зростаючу увагу в будівельному світі. Це пояснюється тим, що значна частина будівель, споруд і об'єктів інфраструктури зведена багато років тому і перебуває в даний час у зношеному стані. Розвинені країни заходу вийшли на 50 процентний рівень витрат на відновлення, реконструкцію чи ремонт від усього будівельного бюджету.

З цією метою слід вивчати умови експлуатації будівельних конструкцій, розробляти методи оцінки технічного стану матеріалу конструкцій, узагальнювати досвід відновлення і реконструкції будинків та споруд, які тривалий час перебувають в експлуатації, удосконалювати технологію і підвищувати якість ремонтно-відновлювальних робіт.

Бетонні та залізобетонні конструкції завдяки численним перевагам широко застосовують у будівлях і спорудах. Об'єми збірного виробництва залізобетону за останні роки різко зменшилися. Проте існує надзвичайно багато залізобетонних конструкцій як збірного, так і монолітного бетону, введених в експлуатацію за попередні десятиріччя (цивільні та промислові будівлі, транспортні споруди).

Використання бетону висуває низку проблем, які з'ясовуються тільки під час тривалої експлуатації [1]. Бетонні та залізобетонні конструкції зазнають дії агресивних середовищ та складних експлуатаційних впливів, основною причиною яких є не стаціонарність параметрів середовища, в якому вони експлуатуються, що викликає локальне руйнування внаслідок корозійних процесів і прискорює втрату несучої здатності об'єктів, якщо не вжити відповідних заходів. Слід зазначити, що бетонні споруди ніколи не складаються тільки з бетону. В них, залежно від типу конструкції, завжди містяться інші матеріали - арматура, герметики, металеві закладні деталі та ін. Деякі з них менш довговічні, ніж бетон, і мають тенденцію руйнуватися.

Отже, у розв'язанні проблем, які полягають у ремонті пошкоджень бетонних і залізобетонних конструкцій (споруд), особливо важливим є індивідуальний підхід до встановлення причин руйнування та методів відновлення їх експлуатаційних властивостей.

Пошкодження бетонних конструкцій та причини, що їх викликають

Бетон, як будівельний матеріал, за складом вихідних матеріалів, структурою і характером зовнішньої поверхні значною мірою атмосферостійкий і практично не вимагає регулярного догляду й оновлення. Однак такі позитивні властивості бетонних конструкцій забезпечуються, якщо при проектуванні і виготовленні дотримано всіх вимог відповідних нормативно-технічних документів. Проте у бетонних конструкціях можуть виникнути дефекти, викликані фізичними і хімічними зовнішніми впливами, котрі часто неможливо передбачити. При своєчасному виявленні ще незначних дефектів (наприклад, утворення тріщин на бетонній поверхні), їх можна успішно на довгий час ліквідувати за допомогою відповідних захисних заходів.

Дуже часто на практиці важко визначити справжні причини виникнення дефектів, тобто їх джерела, що може бути пов'язане з помилками, допущеними і архітектором, і конструктором, і будівельником. Часто фактори ніби накладаються один на одного, тому інколи просто неможливо чітко визначити відповідальність конкретного виконавця проектування і будівництва за ті чи інші пошкодження бетонних конструкцій [2].

Завдяки багаторічному досвіду проведення ремонтно-відновлювальних робіт, варто зазначити, що до типових причин виникнення пошкоджень слід віднести:

- помилки, допущені при підборі складу бетонної суміші (наприклад, надто малий вміст цементу, недотримання постійного водоцементного співвідношення, неправильний гранулометричний склад заповнювача) і як наслідок, невірна густина структури бетону, зменшення його міцності, утворення тріщин і корозія арматури;
- помилки, допущені в процесі бетонування (наприклад, додавання води до готової суміші під час укладки бетону в форму, недостатньо ефективного його ущільнення, перерви в бетонуванні). В результаті в бетоні виникають зони розшарування, порожнини, усадочні тріщини і робочі шви;
- помилки, допущені в ході обробки бетонних поверхонь, що зумовлює усадочні тріщини, відшарування піску з поверхні бетону, а також тріщини на зовнішньої поверхні конструкцій;
- надто мала товщина захисного шару бетону, що може бути, наприклад, наслідком відсутності фіксаторів арматурних елементів чи недбалого розташування фіксаторів в опалубці. Ця обставина часто може потягнути за собою вельми небезпечні наслідки, що завдають серйозних пошкоджень залізобетонним конструкціям.

Також необхідно враховувати вплив хімічно-агресивних чинників, що є причинами пошкоджень. Агресивні дії різноманітних хімічних речовин, які знаходяться в навколишньому середовищі, на цементний камінь, що входить до складу затверділого бетону, настільки великі, що в результаті можуть виникнути серйозні пошкодження. Крім хімікатів, шкідливими для бетону є також рослинні і тваринні жири, масла, бо вони перетворюють вапняк у м'які солі жирних кислот. Хімічна агресія призводить до різноманітних видів пошкоджень бетону, наприклад, до утворення тріщин, відшарування окремих ділянок бетону, осипання піску з бетонних поверхонь і до явищ спучування.

Корозійна стійкість та довговічність залізобетонних конструкцій суттєво залежить від таких чинників як тріщини та тріщиноподібні дефекти. Погіршення захисних властивостей бетону пов'язане з розкриттям

тріщин, що надто небезпечно. Тріщини в бетоні зменшують жорсткість конструкцій, збільшують їх проникливість, знижують морозостійкість, а також сприяють появі і розвитку корозії арматури.

Тріщини в бетоні полегшують доступ середовища до поверхні арматури, сприяють утворенню та розвитку корозії [1]. В місцях перетину арматури з тріщинами, які утворились у розтягнутій зоні бетону, сталь піддається корозії. Корозія починається тим раніше і розвивається тим швидше, чим агресивніше середовище і ширше розкриття тріщини, за інших рівних умов.

Початок корозії арматури в тріщині бетону пов'язаний з локальною депасивацією її у результаті порушення контакту сталі з бетоном і зміни умов, за яких забезпечується стабільність пасивуючих сталевих плівок. Як і в бетоні без тріщин, депасивація сталі протікає через зниження степені лужності рідкої фази на поверхні арматури або накопичення активних іонів. Результатом таких процесів є безпосереднє іржавіння сталі. Об'єм сталі, яка іржавіє, збільшується порівняно з об'ємом тієї ж самої, але не зачепленої корозією, що викликає механічний відрив захисного шару від поверхні арматури. Такі пошкодження - досить поширене явище і у більшості випадків їх ліквідація дорого обходиться.

Проникність тріщин не визначається тільки шириною їх розкриття на поверхні конструкції. Відомо, що внаслідок великого зчеплення бетону з арматурою періодичного профілю тріщини звужуються у напрямку від поверхні конструкції до арматури. Тріщини звужуються тим більше, чим менше розкриття їх на поверхні і чим більше розтягувальне напруження в арматурі [3]. За даними Г. П. Вербецького, при використанні арматури періодичного профілю тріщина шириною розкриття на поверхні 0,05 мм може не досягнути арматури, вірніше, вона поблизу поверхні арматури розгалужується на низку мікротріщин, утворюючи зону розкришення структури бетону. Отже виникнення тріщин не є ще ознакою небезпечного стану конструкцій, якщо розкриття їх обмежене величиною, що не свідчить про значне зниження жорсткості, несучої здатності і довговічності конструкцій або порушення нормального режиму експлуатації споруди.

Матеріали для проведення ремонтних робіт

Останнім часом стосовно ремонту залізобетонних конструкцій використовують термін «санация» або «лікування», тобто мається на увазі не тільки відновлення попередніх властивостей матеріалів і конструкцій в наслідок проведених заходів, але і їхнє покращення. Тому фінішним етапом ремонтно-відновлювальних робіт є забезпечення захисту конструкції.

Асортимент доступних на ринку ремонтних матеріалів та систем дуже великий, тому слід звернути увагу на такі параметри композицій, які свідчать про ефективність її використання:

- основні міцнісні параметри ремонтних шарів;
- швидкість набору міцності в часі;
- прилипання до бетонної основи в умовах відриву і стиску;
- коефіцієнт пружності при розтягу;
- усадка схоплювання;
- коефіцієнт Пуассона.

Очевидним є те, що інколи, залежно від індивідуальних умов в яких працює конструкція, що ремонтується, окремі параметри по-різному можуть впливати на підбір відповідної ремонтної системи.

Підбираючи матеріали для ремонту, слід керуватися простим економічним розрахунком. Через значні фінансові витрати, що впливають з ціни матеріалів, слід особливо прискіпливо визначати не тільки вихідні параметри для проектування ремонтних робіт, вимоги до властивостей ремонтних композицій, але й врахувати трудомісткість робіт, пов'язаних з забезпеченням можливості доступу до місця ремонту інженерних споруд – ліси, підвісні конструкції, використання техніки промислового альпінізму і т.д.

Відновлення бетонних і залізобетонних конструкцій з порушеною цілісністю пов'язано з труднощами в забезпеченні монолітного та надійного з'єднання нового матеріалу зі старим.

Аналіз матеріалів, які використовують для проведення ремонтних робіт показав, що хоча для проведення ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій застосовуються рецептури мінеральної, полімерної або змішаної природи, перевага віддається останнім. Такі системи характеризуються досить високими фізико-механічними характеристиками і цікаві з погляду сполучення речовин різної хімічної природи з досягненням нових технічних результатів, і можуть бути отримані практично на будь-яких синтетичних полімерах, наповнювачах і заповнювачах. У силу різних причин, у тому числі зв'язаних з вартістю і дефіцитністю, а також вимогами до щільності, міцності, деформативності, хімічної стійкості і ряду інших характеристик, як у СНД, так і за кордоном, використовується невелике коло полімерів (12-15 видів).

Однак проблема ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій ускладнюється також і тією обставиною, що вибір загальновідомих матеріалів, які можна ефективно використовувати для відновлення цілісності бетону і каменю, досить обмежений.

Виходячи з усього вище сказаного, важливими й актуальними проблемами для підтримки в нормальному, технічно справному, стані конструкцій інженерних споруд, є розробка нових ефективних матеріалів і практичних методів підвищення довговічності залізобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації.

Проведений аналіз показав, що останнім часом все більше розповсюдження знайшли системи на основі ізоціанатвміщуючих сполук [4-6]. Такі системи відрізняються здатністю взаємодіяти з водою і тому для їхнього застосування не вимагається спеціальна підготовка основи. Крім того ця властивість наближає їх до мінеральних цементних в'язучих, що повинно споріднювати ці різні речовини.

Все це обумовило розроблення в НДІБК і КНУБА органосилікатної системи [7, 8], на основі якої отримані матеріали, використання яких дозволяє підвищити довговічність та подовжити термін експлуатації залізобетонних конструкцій, що працюють при несприятливих умовах та під дією агресивних середовищ. Ідеєю отримання систем була гіпотеза про можливість отримання високоміцних корозійностійких композитів за рахунок хімічної взаємодії між поліізоціанатом, дисперсною гідросилікатною речовиною нестабільної структури та волокнистим водовміщуючим армуючим компонентом з формуванням на макрорівні – дисперсноармованих композицій і синтезом на мікрорівні – сечовин, триізоціануратів та органосилікатних уретаноподібних сполук, модифікованих лужноземельними елементами.

Розроблені композиції (захисні покриття, композиції для ремонту волосяних тріщин, будівельні розчини для ремонту сколовши, раковин і тріщин зі значним розкриттям) характеризуються високими фізико-механічними характеристиками [9-11], а саме: високою міцністю; швидким набором міцності, особливо в ранній термін твердіння; можливістю твердіти і набирати міцність у вологих умовах і у воді; високою морозостійкістю; високою адгезією до бетонних основ; корозійною стійкістю в різних агресивних середовищах; можливістю використання по вологим основам без спеціальної підготовки.

Досвід використання органосилікатних композицій для ремонтно-відновлювальних робіт

Протягом 4-х років НДІБК співпрацює з ДП НЭК «Укрэнерго» в галузі підвищення довговічності та подовження терміну експлуатації залізобетонних конструкцій електроустановок і ліній електропередач, шляхом використання розроблених органосилікатних матеріалів. Вдосконалено технологію проведення ремонтно-відновлювальних робіт, яка відображена в розроблених інструкціях: «Инструкция по ремонту железобетонных

конструкцій електрооборудовання полімерсилікатними композиціями», «Інструкція по застосуванню полімерсилікатних композицій при ремонті залізобетонних опор ліній електропередач».

Як сировинні матеріали для одержання полімерсилікатних композицій використовують:

- полізоціанат-Д..... ТУ 113-03-603;
- олігоефіракрилат марки МГФ-9..... ТУ 6-01-450;
- скло натрієве розчинне..... ГОСТ 13078;
- сухі відходи азбестоцементу..... ТУ 21-26-18-96;
- пісок річковий..... ГОСТ 8735.

Для встановлення можливості подальшої експлуатації відремонтованих залізобетонних конструкцій електроустаткування полімерсилікатними складами, розробленими в КНУБА і ДНДІБК, стійки для опор ліній електропередачі перевірялися на міцність, жорсткість і тріщиностійкість згідно ДСТУ Б В.2.6-7 (ДСТ 8829), ГОСТ 22687.0 і ГОСТ 22687.1.

Надані Центральною електроенергетичною системою ДП НЕК «Укренерго» стійки ЛЕП (4-і циліндричних стояка марки СЦ 22.1-1.0 довжиною 22 м і 2-і конічні стійки марки СК 26.1-2.0 довжиною 26 м) експлуатувалися кілька десятків років і мали дефекти, що обумовили неможливість подальшої експлуатації конструкцій.

Технічний стан стійок оцінювали візуально і методом інструментального обстеження. Проведене обстеження шести залізобетонних стійок дозволило виявити найбільш характерні дефекти: волосяні тріщини із шириною розкриття до 1,5 мм, відколи, виколи бетону з оголенням арматури, на деяких стійках площею до 1456 см².

Ремонтні роботи проводилися згідно з «Інструкцією з ремонту залізобетонних конструкцій електроустаткування полімерсилікатними композиціями». Виключенням було те, що раковини і відколи площею більш 25 см² підсилювалися шляхом наклеювання склосітки з чарунками 4,5 мм х 4,5 мм у три шари.

Результати іспитів показали, що застосування для ремонту залізобетонних опор полімерсилікатних композицій дозволяє збільшити припустимі границі дефектів, які підлягають ремонту, і продовжити термін експлуатації конструкцій, а також виконувати ремонти опор, що мають такі ушкодження :

- повздовжні тріщини шириною розкриття до 0,3 мм незалежно від кількості тріщин, але не більш 50 % поверхні бетону;
- повздовжні тріщини шириною розкриття від 0,3 до 2 мм і довжиною до 6 м, але не більш 2-х тріщин в одному перетині;

- раковини в бетоні розміром 60 x 60 мм і глибиною до 10 мм;
- раковина чи наскрізний отвір площею до 60 див² (але не більш однієї раковини чи одного отвору на опорі при товщині бетонної стінки в зоні отвору не менш проектної);
- нещільності технологічного шва стійки шириною до 5 мм і довжиною до 2 м.

Проведені дослідження й випробування опор дозволили удосконалити технологію проведення ремонтно-відновлювальних робіт, яка відображена в розробленій «Інструкції по застосуванню полімерсилікатних композицій при ремонті залізобетонних опор ліній електропередач».

Технологія ремонтних робіт

Технологія ремонтних робіт залежить від характеру і розміру руйнувань і складається з таких етапів: підготовка ушкоджених і дефектних місць, готування ремонтних полімерсилікатних композицій і будівельних розчинів [12,13], відновлення дефектних місць (рисунок).

волосяні тріщини	⇒	нанесення захисного покриття (полімерсилікатна композиція)
неглибокі тріщини	⇒	розшивка, заповнення полімерсилікатною композицією і підсилення
шорстка поверхня	⇒	відновлення поверхні з допомогою полімерсилікатної композиції і підсилення
раковини (до 1-мм x 10 мм x 10 мм)	⇒	грунтування і заповнення полімерсилікатною композицією
раковини більшого розміру, з чи без оголення арматури	⇒	грунтування і заповнення полімерсилікатним будівельним розчином, підсилення
нещільності технологічного шва	⇒	грунтування і заповнення полімерсилікатним будівельним розчином, підсилення, нанесення захисного покриття

Рисунок. Схема відновлення ушкоджених і дефектних місць

Економічний ефект від нової технології ремонту

Протягом останніх років Центральна електроенергосистема активно використовує полімерсилікатні композиції для відновлення дефектних

опор у Київській, Житомирській, Чернігівській і Черкаській областях. Зараз починається використання розроблених матеріалів і технології їх застосування й у Північній електроенергосистемі.

Так за 2003 р. було відремонтовано 514 стійок залізобетонних опор ліній електропередачі напругою 330 кВ, за 2004 р. – 506 шт, за перше півріччя 2005 р. – 176 шт.

Згідно з «Інструкцією з експлуатації повітряних ліній електропередачі» з числа відремонтованих у 2003 р. опор 28 підлягало заміні, а на 126 необхідно було накласти залізобетонний бандаж. Витрати на виконання цих робіт склали б 933,5 тис. грн, витрати на ремонт цих опор за допомогою полімерсилікатних розчинів склали 53,6 тис. грн. Річний економічний ефект від упровадження нової технології склав порядку 880 тис. грн.

Висновки

При застосуванні розроблених ремонтних матеріалів є можливим виконання комплексних ремонтів конструкції, а саме:

- ремонт пошкоджень фрагментів конструкцій шляхом відновлення місць корозії або місць появи пошкоджень (вибоїн) за допомогою високоміцних розчинів;
- ремонти конструкцій в місцях появи дрібних тріщин та поверхневих пошкоджень бетону шпаклюванням;
- виконання захисту для будь-якого типу конструкцій;
- підсилення відремонтованих місць конструкцій, що експлуатуються, шляхом приклеювання підсилювальних елементів (склосітки і металевих смуг).

Високі фізико-механічні показники розроблених матеріалів, можливість виконання комплексного ремонту конструкцій і досвід використання дозволяє рекомендувати полімерсилікатні матеріали для проведення широкого спектра ремонтно-відновлювальних робіт.

Перелік посилань

1. **Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред** / Под ред. В.М. Москвина, Ю.А. Савиной. М.: Стройиздат, 1975. — 240 с.
2. **Глагола І. І.** Методи визначення корозійної тривкості, довговічності та антикорозійний захист залізобетонних конструкцій: Автореферат дис.канд.тех.наук.
3. **Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты** / Москвин В.М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. / Под общ. ред. В.М.Москвина. — М.:Стройиздат, 1980. — 536 с.

4. Шаршунов А. Б. Инъекционные композиции для восстановления эксплуатационных свойств бетона гидротехнических споруд: Дисс. канд.тех.наук: 05.23.05. — К., 1993. — 175 с.
5. Веселовский Р. А., Ищенко С. С., Новикова Т. И. Формирование органоминеральной композиции на основе полиизоцианата и жидкого стекла // Украинский химический журнал. — 1989. — Т.54, № 3. — С. 315-319.
6. Веселовский Р. А., Ищенко С. С., Файнерман А. А., Шейнина Л. С. Изучение химического строения композиций на основе изоцианатов и жидкого стекла // Журнал прикладной химии. — 1988. — Т.61, № 10. — С. 2232-2234.
7. **Захисна органосилікатна композиція.** Патент України №41716 / Шейніч Л.О., Петрикова Є.М.; Опубл. 15.09.2003, Бюл. №9.
8. **Оптимізація складу полімерсилікатних композицій на основі поліізоціанатів для захисту підземних споруд** / Петрикова Є.М., Шейніч Л.О., Вакуленко О.А., Іщенко С.С. // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн.зб. — К.: НДІБК. — 2000. — Вип. 53., кн. 2. — С. 330-335.
9. **Полімерсилікатні композиції на основі поліізоціанатів для захисту бетонних виробів та споруд** / Петрикова Є.М., Шейніч Л.О., Мірошник І.В., Капась І.В. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. ін. — Рівне: РДТУ. — 2001. — Вип. 7. — С. 64-71.
10. **Петрикова Є. М., Шейніч Л. О., Мірошник І. В.** Системи на основі ізоціанатів для ремонту й захисту бетонних та залізобетонних конструкцій // Комунальное хозяйство міст: На-ук.-техн. зб. — К.: «Техніка». — 2002. — Вип. 39. — С. 287-291.
11. **Петрикова Є. М., Шейніч Л. О.** Ефективні будівельні матеріали для захисту та ремонту залізобетонних конструкцій // Будівництво і техногенна безпека: Сб. науч. тр. - Сімферополь: Кримська акад. природоохоронного і курортного стр-ва. — 2002. — Вип. 6. — С. 71-73.
12. **Застосування полімерсилікатних композицій для ремонтних робіт** / Петрикова Є. М., Шейніч Л. О., Анопко Д. В., Шаповалів В. В., Зарицький В. В. // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. — К.: НДІБК. — 2001. — Вип.654. — С. 546-549.
13. **Технологія застосування ремонтних полімерсилікатних композицій** / Петрикова Є. М., Шейніч Л. О., Анопко Д. В., Шаповалів В. В., Зарицький В. В. // Будівельне виробництво: Міжвідомчий наук.-техн. зб. — К.: НДІБВ. — 2001. — Вип. 42. — С. 26-28.

Отримано 31.03.06