

В. І. Маруха¹, Я. А. Середницький¹, І. П. Гнип¹, В. П. Силованюк²

¹Державне підприємство "Інженерний Центр "Техно-Ресурс" НАН України, Львів

²Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

РОЗРОБКА ІН'ЄКЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСУ ПЕРЕСУВНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В УМОВАХ КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОГО РУЙНУВАННЯ

Анотація: З позицій механіки руйнування матеріалів визначено основні корозійно-механічні чинники, що зумовлюють утворення тріщин та інших пошкоджень в процесі експлуатації конструкцій і споруд з бетону, залізобетону та інших будівельних матеріалів. Розроблено теоретичну модель руйнування системи "жорстка матриця–еластичне включення" та досліджено фізико-механічні параметри поліуретанових еластомерів і систем "бетон–поліуретан–бетон". Наведено перелік об'єктів, що підлягають ін'єкційному відновленню з застосуванням в'язкотекучих поліуретанових композицій. Створено та укомплектовано пересувний діагностично-відновлювальний комплекс на шасі автомобіля-фургона. Відпрацьовано та освоєно в промислових масштабах технологічні процеси ін'єкційного зміцнення та відновлення працездатності конструкцій і споруд з бетону і залізобетону.

Ключові слова: бетонні будівельні структури і конструкції, корозійно-механічне руйнування, інжекція, захист.

1. ВСТУП

Науково-технічні та технологічні роботи, спрямовані на виконання вказаної комплексної проблеми, виконали в 2006-му році співробітники Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України і Державного підприємства Інженерний Центр "Техно-Ресурс" НАН України в рамках інноваційного проекту ІНП-10, що входить у Перелік науково-технічних проектів НАН України згідно з постановою бюро Президії Національної Академії наук України від 20 квітня 2006 р. за № 131.

У процесі підбору і аналізу літературно-патентних джерел з питань використання ін'єкційних полімерних матеріалів і технологій для зміцнення і відновлення працездатності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд [1] встановлено основні техніко-експлуатаційні чинники, що стимулюють процеси виникнення і росту глибоких тріщин, розшарувань та інших корозійно-втомних пошкоджень у бетонних та залізобетонних конструкціях та спорудах. Зокрема визначено такі чинники впливу корозійних середовищ і механічних навантажень на прискорене руйнування бетонної основи:

- рецептури і будова цементних матриць, характеристики мінеральних наповнювачів і композиційних матеріалів у цілому;
- корозійно та мікробіологічно активні водні середовища;
- види і параметри статичних і циклічних механічних навантажень;
- наявність тиску води, а також ерозійного і абразивного зносу;
- плюсові-мінусові циклічні температурні перепади;
- зміна агрегатного стану вологи на поверхні та в пошкодженнях ("зволоження– випаровування" або "танення–замерзання").

У процесі тривалої експлуатації бетонних конструкцій і споруд вищенаведені деструкційні процеси під впливом корозійно і мікробіологічно активних середовищ та статичних і циклічних механічних навантажень приводять до утворення та росту значного числа мікро-, макротріщин, розшарувань тощо. Зростання кількості пошкоджень такого типу на завершальних стадіях їх розвитку у багатьох випадках стає причиною корозійно-механічного руйнування вказаних об'єктів.

До переліку бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд, що експлуатуються в умовах посиленого корозійно-механічного руйнування під впливом комплексу техніко-експлуатаційних чинників, входять такі підземні споруди:

- міські та промислові каналізаційні колектори;
- тунелі метрополітену та інших видів транспорту;
- фундаменти та опори широкого діапазону будівель у корозійно і мікробіологічно активних ґрунтах.

З дещо меншою швидкістю проходять корозійно-механічні деструктивні процеси на наземних і надземних бетонних і залізобетонних шляхопроводах, мостах та інших спо-

рудах. Проте необхідно враховувати, що вони експлуатуються при постійній дії широкого діапазону статичних і циклічних навантажень, циклічних температурних коливань та корозійно активних атмосферних чинників. До атмосферних впливів відносяться, насамперед, солоне морське повітря, газові та пилові промислові відходи, кислотні дощі, сонячне опромінення тощо.

2. ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ІН'ЄКЦІЙ ПОЛІУРЕТАНОВИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД

Розроблені співробітниками Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України та ДППЦ "Техно-Ресурс" НАН України теоретичні моделі [2–4] показали, що одним з найбільш ефективних способів відновлення працездатності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд є введення під тиском (ін'єкування) у тріщини та інші корозійно-механічні пошкодження в'язкотекучих поліуретанових композицій. Крім того, в рамках інноваційного проекту ІНП-10 з позицій механіки руйнування розроблено теоретичну модель системи "жорстка бетонна матриця–еластичне поліуретанове включення".

На основі вищенаведених теоретичних концепцій співробітники ФМІ НАН України і ДППЦ "Техно-Ресурс" НАН України в рамках інноваційного проекту ІНП-10 провели наукові дослідження, на основі яких відпрацювали в промислових умовах і впровадили на підприємствах Держбуду України та НАЕК "Енергоатом України" сучасні ін'єкційні матеріали, технології та устаткування для зміцнення і відновлення працездатності вказаних об'єктів. Крім того, достовірність і обґрунтованість зроблених на основі теоретичних концепцій та експериментальних досліджень висновків і перспективність широкого практич-

ного освоєння сформованого технологічного напрямку з ін'єкційного зміцнення і відновлення міцності та працездатності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд підтверджені проведеною технічною експертизою.

Експертні дослідження і проробки полягали в комплексному опрацюванні (діагностика, матеріали, технології, устаткування) вітчизняних і зарубіжних методів капітального ремонту з відновленням техніко-експлуатаційних параметрів вказаних об'єктів. Необхідно відзначити, що за науково-технічним рівнем виконані в рамках інноваційного проекту ІНП-10 розробки вказаних академічних організацій не поступаються перед досягненнями передових зарубіжних фірм і будівельних підприємств у даній області [5, 6].

Зокрема, при відпрацюванні матеріалознавчих і технологічних проблем встановлено, що високий ступінь заповнення об'єму корозійно-механічних тріщин текучими поліуретановими композиціями та заповнення вершин тріщин досягається за умови подачі відновлювальних матеріалів у бетонні матриці під тиском. Для реалізації вказаної операції використовують спеціальні ін'єкційні установки мембранного або плунжерного типу, що подають в отвори у бетонній матриці одно- або двокомпонентні поліуретанові композиції.

В процесі науково-технічної розробки і промислової перевірки в реальних умовах експлуатації встановили, що технологічний процес відновлення працездатності бетонних конструкцій і споруд, в тому числі підземних каналізаційних колекторів, пошкоджених, насамперед, глибокими (в окремих випадках наскрізними) тріщинами, складається з таких операцій (див. рис. 1):

- візуально-інструментального обстеження зі встановленням типу, розмірів та інших характеристик дефектів;
- неруйнівного контролю пошкоджених ділянок (за необхідності) ультразвуковими та акустичними методами;

- виконання конструкційних розрахунків і визначення оптимальних ділянок зміцнення;
- буріння отворів у масі бетонної матриці з досягненням тріщин, розшарувань та інших дефектів;
- ін'єкції під тиском текучих поліуретанових композицій у тріщини, розшарування тощо через пробурені отвори;
- взаємодії поліуретанових композицій з поверхнями бетону в тріщинах і дефектах та формування композиційних з'єднань типу "бетон-полімер-бетон".

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОРОЗІЙНИХ-МЕХАНІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ІН'ЄКЦІЙНОГО ПОЛІУРЕТАНОВОГО МАТЕРІАЛУ І СИСТЕМ "БЕТОН-ПОЛІУРЕТАН"

Важливим етапом у вирішенні завдань з розробки технології зміцнення і відновлення працездатності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд текучими поліуретановими композиціями було вирішення проблем матеріалознавчого характеру. Відомо, що в останні роки у зарубіжній практиці, зокрема в Польщі, Німеччині, Великобританії, неефективні бетонно-полімерні водні розчини пере-

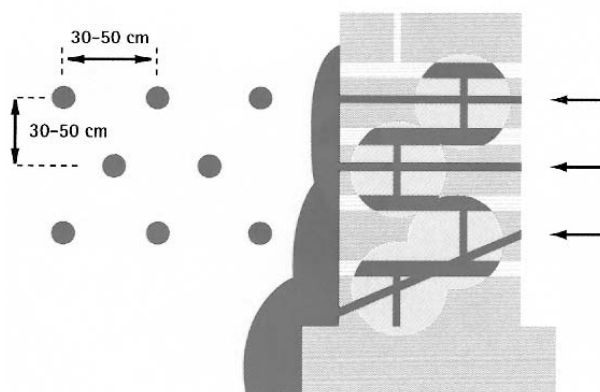


Рис. 1. Схема розміщення ін'єкційних отворів і подачі поліуретанових композицій у тріщини і порожнини цегляної кладки фундаменту та поруччів у ґрунті із будовою

важно заміняють в'язкотекучими, здатними до швидкого тверднення поліуретановими ін'єкційними матеріалами. Практичну ефективність широкого застосування вказаних поліуретанових матеріалів підтвердили вже наведені у даній статті фундаментальні дослідження співробітників ФМІ НАН України і ДПІЦ "Техно-Ресурс" НАН України.

Однак, враховуючи широкий діапазон рецептур вітчизняних і зарубіжних одно- і двокомпонентних поліуретанових композицій (компонентів "А" і "Б") та специфіку їх використання в середовищах тріщин і пошкоджень бетонних матриць, співробітники ДПІЦ "Техно-Ресурс" визначили кількісні параметри впливу корозійно-механічних чинників на характеристики твердих поліуретанових еластомерів і композиційних систем "бетон-поліуретан", зокрема дослідили кінетику водопоглинання і зміни маси зразків при тривалій витримці (до 60 діб) в 3%-х водних розчинах NaCl, NaOH, HCl та H₂SO₄. Порівняльні дослідження понад 15-и типів поліуретанових еластомерів дали можливість вибрати матеріал з оптимальною водо- та хімічною стійкістю.

Порівняльні дослідження стабільності цілеспрямовано сформованих систем "бетон-поліуретановий еластомер" із попередньо нанесеними концентраторами напружень проводили при деформаціях стискування на циліндричних (див. рис. 2) і деформаціях згинання на призматичних бетонних зразках. За умовну одиницю приймали напруження руйнування суцільних бетонних зразків. Експериментальні визначення кількісних параметрів показали, що рівень максимальних навантажень бетонних зразків із незаповненими концентраторами напружень в середньому становив 0,30 ум. од.

Надалі у вказані концентратори заливали в'язкотекучі поліуретанові композиції, певний час витримували до повного тверднення поліуретанових еластомерів і повторно випробували на спеціальних установках при дефор-

маціях стискування та згинання. В процесі експериментальних випробувань встановлено, що для систем "бетонний зразок-концентратор напружень із поліуретановим еластомером" на основі поліуретанів різної природи і структури рівень максимальних навантажень змінювався в інтервалі 0,59–0,97 ум. од. Для поліуретанових еластомерів оптимальної структури вказана величина становила 0,75–0,97 ум. од.

Таким чином, при моделюванні процесу ін'єкційного зміцнення експериментально

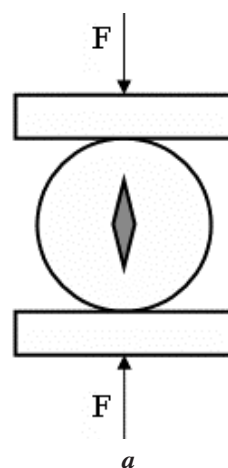


Рис. 2. Схема навантаження циліндричного зразка з концентратором напружень (а) і загальний вигляд суцільної тріщини при його руйнуванні (б)

було встановлено, що за рахунок введення в пошкоджені бетонні матриці здатних до швидкого тверднення поліуретанових еластомерів можна не менше, ніж на 75 % відновити початкову міцність основного матеріалу. Вказані закономірності були однаково характерними для деформації стискання і деформації згинання. Крім того, дослідження адгезії при нормальному відриві в системі "бетон-поліуретановий еластомер" показали, що для переважної більшості зразків розрив відбувається по матеріалу бетону.

4. ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРЕСУВНОГО ДІАГНОСТИЧНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ. ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВЕ ТА СЕРІЙНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ

На 2-му етапі планових робіт інноваційного проекту ІНП-10 було розроблено технічне завдання на проектування пересувного діагностично-відновлювального комплексу, а також запроєктовано вказаний комплекс з видачею необхідних креслень та укладенням специфікацій на діагностичні прилади, двосторонньо зв'язаний з ними персональний комп'ютер,



Рис. 3. Загальний вигляд складових діагностичної системи СВД-1: ноутбук (зліва); самопересувний візок з відеокамерою (справа); механізм подачі кабелю (вгорі)

відновлювальне та допоміжне устаткування тощо.

На 3-му етапі згідно з вищенаведеною проектною документацією укомплектовано на шасі автомобіля-фургона пересувний діагностично-відновлювальний комплекс, який сформовано з таких складових частин:

- вантажного автомобіля-фургона марки "FOTON VJ 1043" з розміром вантажного кузова 3,8×1,9×2,0 м;
- рухомого діагностичного обладнання СВД-1 з відеоголовкою і системою зчитування та передачі зображення на персональний комп'ютер (див. рис. 3);
- персонального комп'ютера (ноутбука) з самостійним джерелом живлення для реє-



Рис. 4. Установа ІН-1 для ін'єкції поліуретанових композицій (на землі), компресор для подачі стисненого повітря (в автомобілі-фургоні)

- страції результатів діагностичного обстеження внутрішніх поверхонь підземних комунікацій;
- ремонтної установки РЕН-1 для відновлювальних робіт на внутрішніх поверхнях підземних комунікацій способом накладання кільцевих муфт;
- ін'єкційної установки ІН-1 для відновлення працездатності підземних комунікацій, конструкцій і споруд у доступних для людини місцях (див. рис. 4);
- автономної бензинової електростанції потужністю 2,5–3,0 кВт;
- стелажів для закріплення приладів, установок, інструменту, шлангів, кабелів тощо;
- металевих скринь для одностороннього запасу ремонтно-відновлювальних матеріалів;
- комплекту меблів для забезпечення роботи персонального комп'ютера.

Із залученням фахівців, акредитованих в системі Держспоживстандарту України, Лабораторії сертифікаційних випробувань протикорозійних ізоляційних покриттів трубопроводів, Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України та Органу з сертифікації вказаних покриттів "УкрСЕПРОтрубоізол" були проведені атестаційні випробування і сертифіковані ін'єкційні поліуретанові матеріали та з'єднувальні системи на їх основі на відповідність вимогам ТУ У В.2.7-24.1-13803953-016-2003 "Поліуретанова система "Техно-ПУР". Технічні умови".

Результати лабораторних випробувань поліуретанової системи "Техно-ПУР" наведено в протоколі Лабораторії ФМІ НАН України № 88-43с/П-525 від 19.12.2006 р. На основі позитивних результатів випробувань ОС "УкрСЕПРОтрубоізол" видав сертифікат відповідності № UA1.100.0202645-06 від 20.12.2006 р. на поліуретанову систему "Техно-ПУР" (ТУ У В.2.7-24.1-13803953-016-2003).

Згідно з вимогами технічного завдання підготовлено комплект нормативно-технічної

документації на застосування діагностично-відновлювального комплексу, до якого входять такі нормативні та нормативно-технічні документи:

- ТУ У В.2.7-24.1-13803953-016-2003 "Поліуретанова система "Техно-ПУР". Технічні умови";
- протокол випробувань поліуретанової системи "Техно-ПУР" у Лабораторії ФМІ НАН України № 88-43с/П-525 від 19.12.2006 р.;
- сертифікат відповідності ОС "УкрСЕПРОтрубоізол" № UA1.100.0202645-06 від 20.12.2006 р. на поліуретанову систему "Техно-ПУР" (ТУ У В.2.7-24.1-13803953-016-2003);
- технічне завдання (ТЗ) на проектування пересувного автоматизованого діагностично-відновлювального комплексу;
- паспорт системи відеодіагностики "СВД-1";
- паспорт пересувного автоматизованого діагностично-відновлювального комплексу;
- інструкція з експлуатації системи відеодіагностики "СВД-1";
- технологічна інструкція на використання поліуретанових систем "Техно-ПУР" для ін'єкційного зміцнення та відновлення працездатності пошкоджених бетонних і цегляних конструкцій і споруд;
- технологічна інструкція з відновлення працездатності пошкоджених сталевих труб і бетонних колекторів внутрішніми кільцевими композитними муфтами.

Основні технологічні операції з розроблених ФМІ НАН України і ДППЦ "Техно-Ресурс" НАН України технологічних процесів ремонту та відновлення функціональних параметрів доступних бетонних, залізобетонних і цегляних конструкцій і споруд ін'єкційними поліуретановими композиціями наведено на початку даної статті. З урахуванням того, що ремонтно-відновлювальні роботи проводять також на недоступних для працівників під-

земних бетонних колекторах для стічних вод і в сталевих трубопроводах, до комплексу діагностичних операцій, інженерних розрахунків та ін'єкційного зміцнення поліуретановими композиціями необхідно додати другий метод.

Він полягає у відновленні цілісності та працездатності внутрішніх поверхонь пошкоджених колекторів і трубопроводів шляхом введення кільцевих композитних муфт на високов'язких, здатних до швидкого тверднення, смолах. Дослідно-промислово перевірку вказаної технології провели в умовах ДППЦ "Техно-Ресурс" НАН України.

З використанням діагностично-відновлювального комплексу та розроблених сучасних ін'єкційних матеріалів, технологій і устаткування ДППЦ "Техно-Ресурс" за договором з МКП "Львівводоканал" у 2006 р. зміцнив та відновив працездатність понад 500 м побудованого за часів Австро-Угорської імперії бетонного каналізаційного колектора у центрі міста діаметром понад 3 м.

За договором з ВП "Атоменергобуд" НАЕК "Енергоатом України" ін'єкційні технології було успішно застосовано на Ташлицькій ГАЕС (м. Південноукраїнськ Миколаївської обл.). В результаті проведених робіт за рахунок введення під тиском 50–100 атм. в'язкотекучих поліуретанових композицій в тріщини, нещільності та пошкодження 16-метрової залізобетонної греблі Ташлицької ГАЕС на площі понад 5 000 м² було зупинено витікання і просочування води. В комплексі з нанесенням сучасної поверхневої гідроізоляції це дало можливість відновити первинні функціональні параметри вказаного об'єкта.

5. ВИСНОВКИ

З урахуванням теоретичних основ корозійно-механічного руйнування бетонних, залізобетонних і цегляних конструкцій і споруд сформульовано технічні вимоги до ін'єкцій-

них поліуретанових матеріалів та кільцевих композитних муфт для відновлення підземних комунікацій. Проведено проектно-конструкторські роботи та укомплектовано пересувний діагностично-відновлювальний комплекс на шасі автомобіля-фургона. На основі передового вітчизняного та зарубіжного досвіду розроблено матеріали, технологічні процеси та устаткування для діагностики та відновлення працездатності бетонних конструкцій і споруд із застосуванням ін'єкційних поліуретанових композицій. Розроблено і відпрацьовано технологічні процеси ремонту внутрішніх поверхонь бетонних колекторів і сталевих трубопроводів кільцевими композитними муфтами на основі поліуретанових смол.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захист бетонних конструкцій і споруд від корозійно-механічного руйнування поліуретановими ін'єкційними композиціями. / В. І. Маруха, Б. Я. Генега, Я. А. Середницький, М. І. Заплатинський. // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спеціальний випуск № 5. – Львів, 2006. – т. 2. – С. 834–840.
2. **Панасюк В. В., Силованюк В. І., Маруха В. І.** Міцність пошкоджених тріщинами елементів конструкцій, залікованих за ін'єкційними технологіями. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2005. – № 6. – С. 60–64.
3. **Маруха В. І., Генега Б. Я.** Ущільнюючі технології для зміцнення і ремонту залізобетонних конструкцій. // Зб. наукових праць "Діагностика, довговічність і реконструкція мостів і будівельних конструкцій". – Львів: Каменяр, 2001. – С. 158–161.
4. Механіка руйнування, як наукова основа технології ущільнювальних ін'єкцій під час реконструкції об'єктів тривалої експлуатації. / В. П. Силованюк, В. І. Маруха, Б. Я. Генега, Н. А. Іванишин. // Зб. наукових праць "Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій". – Львів: Каменяр, 2002. – вип. 5. – С. 373–382.
5. ACI-89 M12 503-5R Guide for the selection of polymer adhesives with concrete. // ACI Material Journal. – 1992. – № 1–2. – Р. 90–105.
6. **Czarnecki L., Emmons P. H.** Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. – Krakow Polski Cement, 2002. – 434 s.

В. И. Маруха, Я. А. Середницький, И. П. Гнип, В. П. Силованиук. РАЗРАБОТКА ИНЪЕКЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСА ПЕРЕДВИЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУДОСПОСОБНОСТИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ, КОТОРЫЕ ЭКСПЛУАТИРУЮТСЯ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ.

Аннотация: С позиций механики разрушения определены основные коррозионно-механические факторы, обуславливающие образование трещин и других повреждений в процессе эксплуатации конструкций и сооружений из бетона, железобетона и других строительных материалов. Разработана теоретическая модель разрушения системы "жесткая матрица–эластическое включение" и исследованы физико-механические параметры полиуретановых эластомеров и систем "бетон–полиуретан–бетон". Приведен перечень объектов, подлежащих инъекционному восстановлению с применением текучих полиуретановых композиций. Создан и укомплектован передвижной диагностико-восстановительный комплекс на шасси автомобиля-фургона. Отработаны и освоены в промышленных масштабах технологические процессы инъекционного усиления и восстановления работоспособности конструкций и сооружений из бетона и железобетона.

Ключевые слова: бетонные строительные структуры и конструкции, коррозионно-механическое разрушение, инжекция, защита.

V. I. Marucha, J. A. Serednytskyi, I. P. Gnyp, V. P. Sylovaniuk. DEVELOPMENT OF INJECTION TECHNOLOGIES AND CREATION OF A MOBILE EQUIPMENT COMPLEX FOR DIAGNOSTICS AND RESTORATION OF WORKING CAPACITY OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS MAINTAINED IN CONDITIONS OF CORROSION-MECHANICAL DESTRUCTION.

Abstract: Major corrosive-mechanical factories that cause cracks and other damages initiation of constructions and buildings from concrete, reinforced concrete and other building materials in operation are considered from the viewpoint of fracture mechanics. The theoretical fracture model of the system "a rigid matrix – an elastic inclusion" has been developed and physico-mechanical parameters of polyurethane elastomers and systems "concrete- polyurethane-concrete" have been investigated. Objects that have to undergo injection restoration with yielding polyurethane compositions are listed. The mobile diagnostic-restoration complex on the van chassis has been created and equipped. Technological processes of injection strengthening and restoration of concrete and reinforced concrete constructions performance have been perfected and used commercially.

Keywords: concrete building structures and constructions, corrosive-mechanical fracture, injection, protection.

Надійшла до редакції 26.01.07
