

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.012.3/4

Й. Й. ЛУЧКО^{1*}, Б. Л. НАЗАРЕВИЧ², О. М. ГАЙДА³

^{1*} Каф. «Рухомий склад і колія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Львівська філія, вул. І. Блажкевич, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (097) 033 18 36

² Каф. Будівельного виробництва, Інститут будівництва та інженерії довкілля, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Карпінського 6, 2 -ий корпус, к. 419, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (032) 258 25 41, ел. пошта ibid-bv@polinet.lviv.ua

³ Каф. Будівельного виробництва, Інститут будівництва та інженерії довкілля, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Карпінського 6, 2 -ий корпус, к. 419, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (032) 258 25 41, ел. пошта ibid-bv@polinet.lviv.ua

ЗАКРИТТЯ ТРІЩИН В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ІН'ЄКЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

Мета. Бетонні та залізобетонні конструкції завдяки численним перевагам застосовують у більшості будівель і споруд. Актуальною є проблема збереження та посилення залізобетонних конструкцій промислових виробництв, оскільки досить частою є експлуатація їх в різних агресивних середовищах. Просочення розчинами різного призначення використовується для вирішення ряду задач по захисту та посиленню конструкцій, збільшенню терміну їх служби. **Методика.** В статті проаналізовано особливості технології відновлення залізобетонних конструкцій за допомогою просочення ін'єкційними поліуретановими смолами. Наведено приклади характерного використання технології на реальних об'єктах. **Наукова новизна.** Показано, що найбільш ефективне просочення відбувається за допомогою спеціальних пакерів під високим тиском. Наведено характеристики ефективного сучасного матеріалу для просочення.

Ключові слова: залізобетонна балка; поліуретанова смола; просочування тріщин; прогини; напружено-деформований стан

При відновленні працездатності пошкоджених бетонних і залізобетонних конструкцій тривалої експлуатації, наявні тріщини в них слід розглядати як окремі об'єкти ремонту. У 80-х роках минулого століття для закриття тріщин в залізобетонних конструкціях стали широко застосовувати ущільнювальні ін'єкції як один з найбільш важливих і найбільш розповсюджених методів. Цей метод, з точки зору великої кількості параметрів матеріалів і технічних питань про їх роботу, є досить складним. А з точки зору щодо довговічності об'єкту і не ремонтпридатності цього процесу, це передусім дуже відповідальна робота. Незважаючи на існування різних інструкцій і технічних умов, ін'єктування тріщин є «більше мистецтвом ніж інженерією». [1].

Тріщина здійснює розрив цілісності матеріалу проявляючись в частині поперечного перерізу елементу. Похила тріщина, яка повністю перетинає поперечний переріз елементу створює руйнівний ефект.

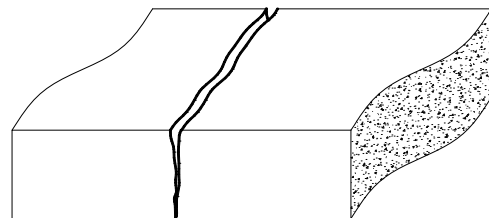


Рис. 1. Тріщина, яка повністю перетинає поперечний переріз елементу створює руйнівний ефект

Утворення тріщин є формою релаксації напружень, але великі тріщини негативно впливають на жорсткість і цілісність елементу. Ці два чинники визначають вирішення задачі про ремонт тріщин. Залізобетонні конструкції характеризуються здатністю до перерозподілу внутрішніх напружень, а тріщини у елементі, в деяких випадках, необов'язково означають зменшення несучої здатності елементу. Тріщини є до певної міри характерною рисою залізобетону, звідси впливає що, і не всі тріщини підля-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

гають ін'єктуванню. Тріщини можуть підлягати ремонту такими методами:

- розкриття і заповнення; стосується це в основному великих тріщин ($>>0,6$ мм) або тріщин які утворилися внаслідок корозії арматури на початковій стадії, але в той же час саме лише заповнення тріщини є недостатнім;
- поверхневе «зшивання» (рис. 2) [1];
- механічна стабілізація (рис. 3);
- закриття ін'єкційними методами.

Згідно [1] поверхневе «зшивання» тріщин рекомендується виконувати так, як представлено на рис. 2, *a*. Такий метод слід вважати недостатнім, так як слабо забезпечується сумісна робота металевих елементів та бетону. Тому пропонується «зшивання» тріщин виконувати як представлено на рис. 2, *b*.

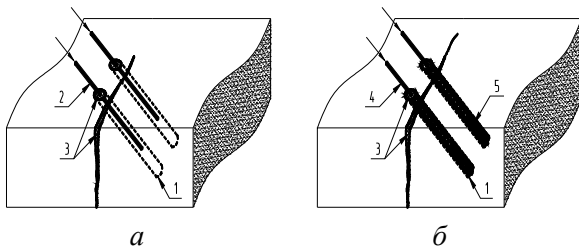


Рис. 2. «Зшивання» тріщин:

a – при монтажі металевих стержнів насухо; *b* – при втопленні металевих стержнів в модифіковану епоксидну композицію: 1 – шпур; 2 – монтаж металевих стержнів насухо; 3 – закриття епоксидною шпаклівкою; 4 – втоплення металевих стержнів попередньо оброблених антикорозійним засобом в модифіковану епоксидну композицію; 5 – шпур, заповнений модифікованою епоксидною композицією

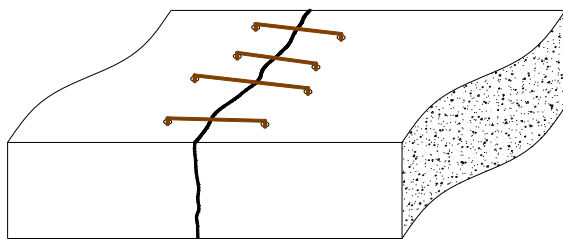


Рис. 3. Механічна стабілізація тріщин якорями втопними в епоксидній композиції

У випадку, коли ін'єктування тріщин є підготовкою основи під хімічно стійке покриття, тоді ефективним може бути часткове розширення ін'єктованої тріщини і заповнення цього місця еластичним герметиком (рис. 4).

Іноді застосовується ущільнення, наприклад робочих швів, без попереднього ін'єктування тріщин (рис. 5 і 6). [1]

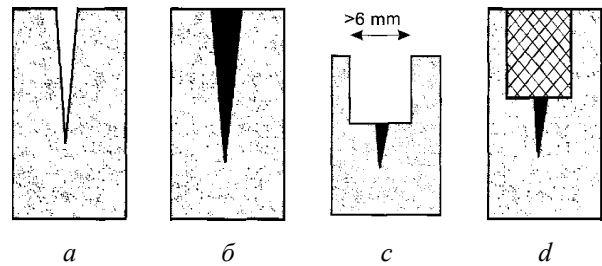


Рис. 4. Приготування основи під хімічно стійке покриття:

a – тріщина; *b* – ін'єктування; *c* – вирізання; *d* – заповнення, гнучким герметиком

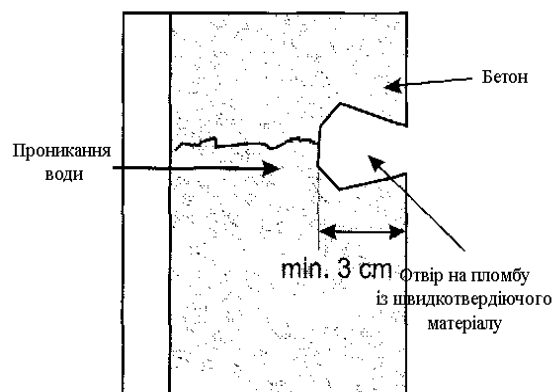


Рис. 5. Отвір типу «ластівчин хвіст» – ущільнення при незначному проникненні води

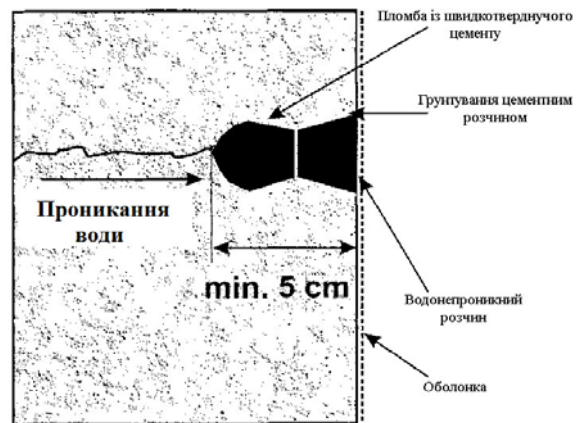


Рис. 6. Глибока ущільнююча «пломба»

Метод який найчастіше застосовується для ремонту тріщин – це ін'єктування; інколи воно поєднується з іншим методом ремонту. У випадку нестабільних рухомих тріщин може виникати необхідність попередньої механічної їх стабілізації. Забезпечення ефективності ремонту тріщин вимагає правильного визначення причини їх появи, формулювання цілі ремонту і технології його проведення. Природно, що оці-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

нити тріщину можна лише по зовнішніх ознаках; часто вона доступна лише з однієї сторони. Тріщина є також складним об'єктом дослідження – «після відкриття перестає бути тріщиною». За необхідності, рішення про ремонт та спосіб його виконання піднімається в умовах невизначеності і часто вимагає досвіду та інженерної інтуїції. [1] Причини виникнення тріщин широко представлені в багатьох джерелах, тому не будемо на них зупинятися, бачимо що в багатьох випадках можуть виступати декілька причин одночасно.

Виходячи з можливого розмаїття причин виникнення тріщин, перед початком проектування (виконання) необхідно накопичити (по мірі можливості) наступну інформацію:

- геометрія тріщини: форма, довжина та ширина їх розкриття, глибина;
- положення тріщини відносно арматури: біля арматури, поза арматурою, паралельно арматурі, під кутом;
- деформативність тріщини – стабільність розмірів: стабільна, рухома (під динамічним навантаженням, статично змінна в часі);
- наявність води в тріщині: зволожена, заповнена водою, витікання води з тріщини;
- ступінь забруднення, в тому числі забруднення маслами; в останньому випадку існує велика імовірність неефективного ремонту.

Рішення про проведення ремонту і способу його виконання вимагає аналізу виду тріщин як об'єкту ремонту і взяття до уваги цілого спектру матеріально-технологічних чинників і зовнішніх умов проведення ремонту. [2, 3, 4] Такий аналіз було проведено під час обстеження будівлі готелю «Дністер» («Інтурист») на 340 місць розташованого у центральній частині м. Львів, вул. Матейка. Будівля була запроєктвана Львівським філіалом проектного інституту «Діпроміст» Держбуду УРСР в 1969 році. В процесі будівництва (на незавершеній стадії) в ригелях рам після спорудження коробки будівлі та влаштування перегородок, тобто при неповному експлуатаційному навантаженні були виявлені тріщини (рис. 7 і 8), аналіз яких проведено в роботі [5].

Проведені перевірочні розрахунки, ще в 1975 р. показали помилки в прийнятому проектному рішенні. Однак не було виконано на належному рівні посилення балок, а також не було ліквідовано самих тріщин, так як не перед-

бачалось їх ін'єктування, що не забезпечило в цілому надійної експлуатації будівлі.

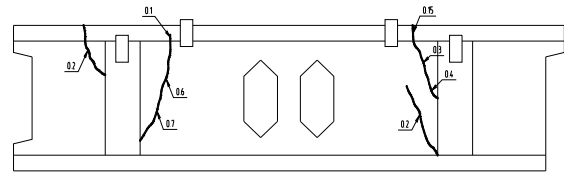


Рис. 7. Розкриття тріщин в балці по осі 2 станом на 1976 р.

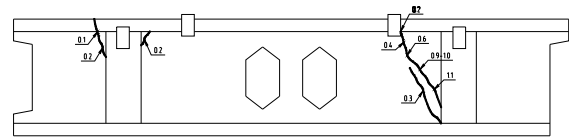


Рис. 8. Розкриття тріщин в балці по осі 6 станом на 1976 р.

В 2006 р. для обстеження та визначення технічного стану даного об'єкту було запрошено спеціалістів ТзОВ «КНП» за участю співробітників НДЛ-19 Інституту будівництва та інженерії докільля НУ «Львівська політехніка». В процесі обстеження було виявлено значно більшу кількість тріщин на одних і тих же самих конструкціях (рис. 9 та 10).

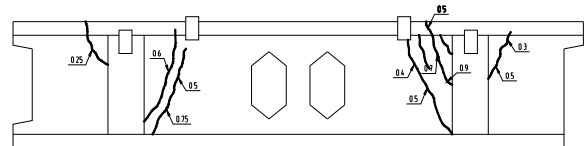


Рис. 9. Розкриття тріщин в балці по осі 2 станом на 2006 р.

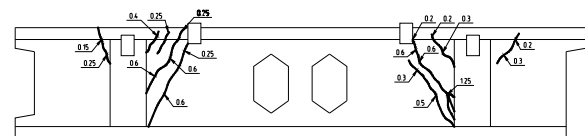


Рис. 10. Розкриття тріщин в балці по осі 6 станом на 2006 р.

Основною причиною появи додаткової кількості тріщин слід вважати несанкціоноване влаштування дверних пройомів в цегляних несучих стінах, що було заборонено в початковому проекті, тому що, в цьому випадку змінюються ділянки завантаження рівномірно розподіленим навантаженням на залізобетонну балку, збільшуючи при цьому навантаження на консольні ділянки.

В ході часткового ремонту будівлі готелю в 2003 році на передньому фасаді споруди влаштовано навіси, які прикріплені до і так аварій-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

них конструкцій балок. Враховуючи додаткове збільшення навантаження (власна вага навісу, снігове навантаження, пульсації вітру) консолі балок зазнають додаткового впливу. Цим можна пояснити і подальший розвиток тріщин в опорних зонах балок. [2] Ширина розкриття тріщин замірялась відліковим мікроскопом типу МПБ-2 з ціною поділки 0,05 мм. Аналіз зйомки показав, що у всіх прольотах ригелів мають місце характерні наскрізні косі тріщини в зонах максимальної поперечної сили, і ширина розкриття цих тріщин (до 1,3 мм) значно перевищує (в 4 рази!) допустиму величину за діючими нормами проектування для стадії експлуатації. Порівнюючи рисунки (див. рис. 7, 8, 9 та 10) бачимо, що ширина розкриття тріщин за досліджуваний період суттєво збільшилася, а разом з тим зросла кількість нових тріщин. З проведених перевірочних розрахунків при фактичних навантаженнях несуча здатність на ділянці ригеля, де утворилися похилі тріщини не забезпечена. Звідси витікає необхідність виконання посилення залізобетонних ригелів з виконанням таких заходів як: [2]

- закриття тріщин ін'єкційними методами;
- посилення ригелів композитними матеріалами;
- збільшення перерізу ригеля методом торкретування.

З технічних міркувань, для силового закриття (склеювання) тріщин було запропоновано двохкомпонентну поліуретанову композицію KOSTER KB PUR IN III (Німеччина), завдяки її здатностям сприймати значні зусилля на стиск ($> 60 \text{ Н/мм}^2$), забезпечуючи при цьому адгезію до бетону ($> 2,5 \text{ Н/мм}^2$). Дана композиція є випробувана на ряді об'єктів і підтвердила хороші техніко-економічні показники [6, 7]. Для розрахунку кількості ін'єкційного матеріалу приймаємо наступні параметри:

- загальна довжина всіх тріщин становить – 170 м;
- середня ширина розкриття тріщин – 0,8 мм;
- глибина тріщини – 0,3 м (наскрізні);

Загальний об'єм тріщин (пустоти) – 40 л. Розрахунковий розхід матеріалу **KÖSTER KB-PUR IN III** (див. технічну інструкцію від 15.05.2004 р.) становить біля 1,1 кг/л пустоти. Час виконання – повинен бути таким, щоб кристалізація матеріалу не відбувалася перед заповненням ним всього об'єму тріщин, а також

підібраний до типу ін'єкційного насосу. З іншої сторони знову ж видовжений час кристалізації може призводити до витікання ін'єктора з деяких капілярів створюючи при цьому повітряні мішки (корки) особливо в тих випадках, коли маємо обмежену можливість поверхнево закрити тріщин. Ін'єкційний матеріал, що заповнює тріщину буде корисним тільки тоді, якщо забезпечуватиметься відповідна адгезія до бетону та арматури, а також відповідна міцність. Стосується це перш за все міцності склеювання та ущільнення тріщин в бетоні зі змінною шириною розкриття по довжині. За звичай приймаємо, що адгезія до бетону ін'єкційного матеріалу повинна бути більшою ніж 1,5 МПа.

Критичним параметром є еластичність ін'єкційного матеріалу до зміни розкриття тріщини, тобто придатність до деформування. Усадка ін'єкційного матеріалу – повинна бути найменшою, щоб не зменшувати адгезію і тим самим уникати місцевих нещільностей і небажаної появи напружень в ін'єкційному матеріалі під час його кристалізації. Навпаки корисним є незначне набухання ін'єкційного матеріалу. При влаштуванні силового склеювання залізобетонної конструкції методом ін'єкції з поліуретанової композиції необхідно створювати тиск при нагнітанні $P > 0,8 \text{ МПа}$.

Матеріали для ін'єкційних технологій склеювання тріщин KOSTER KB PUR IN III

2-компонентна поліуретанова смола для силового склеювання тріщин в залізобетонних конструкціях.

Сфера застосування. Матеріал KB PUR IN III можна успішно застосовувати за умов виконання попередньої ін'єкції за допомогою смоли KB PUR IN I для довготривалого еластичного закриття мокрих тріщин (протікань) в бетоні, стяжках, кам'яній кладці і т.д., а також для зміцнення кам'яних масивів. Без попередньої ін'єкції за допомогою матеріалу KB PUR IN I використовується для склеювання сухих тріщин і заповнення пустот в залізобетоні. KB PUR IN III найкраще застосовувати там де необхідно виконати силове з'єднання тріщин в залізобетоні або виконати достатньо міцне з'єднання країв поверхонь інших будівельних конструкцій.

Властивості: 2-компонентна поліуретанова смола без розчинників, хорошої текучості

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

для ін'єктування тріщин. KB PUR IN III, завдяки високій витривалості на стиск та високому показнику адгезії дає можливість отримати довготривале силове з'єднання склеюваних тріщин в залізобетоні.

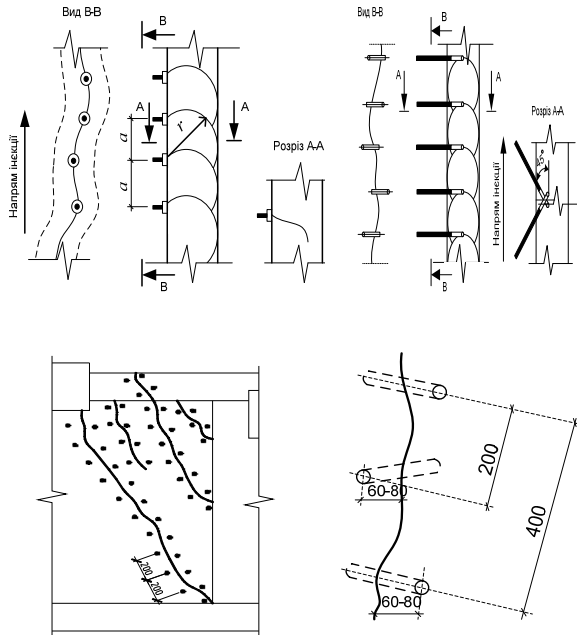


Рис. 11. Схема розташування ін'єкторів при закритті тріщин

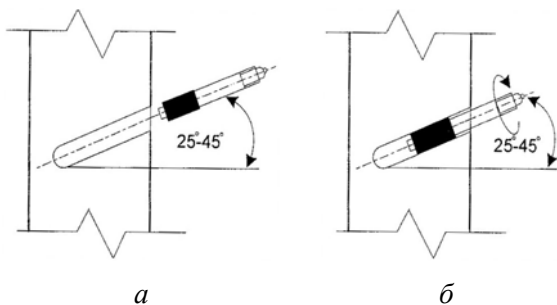


Рис. 12. Схема монтажу розтискуючих пакерів: а – установка пакера в подготовленный шпур; б – затискивание пакера в шпуре

Технічні дані:

Співвідношення змішування (за об'ємом)	2: 1 (А : В)
Співвідношення змішування (по вазі)	5: 3 (А : В)
Час застосування (20 °С, 1 л)	40 хв.
Температура застосування	вище +5 °С
В'язкість (компоненти А + В)	близько 200 МПа

Густина суміші	1,1 кг/л
Міцність на стиск	> 60 Н/мм ²
Адгезія до бетону	> 2,5 Н/мм ²

Спосіб застосування. Мокрі протікаючі тріщини або з'єднання слід попередньо осушити і захистити від доступу води виконавши попереднє ін'єктування матеріалом KB PUR IN I. Вдovж тріщини виконати отвори (шпури) під кутом 45° по обидві сторони тріщини через 10...20 см. та в подальшому вмонтувати ін'єкційні пакери (штуцери). Діаметр отворів виконується в залежності від наявних пакерів. Для мінімізації втрат ін'єкційного матеріалу перед ін'єкцією тріщину слід зашпаклювати, наприклад матеріалом KB FIX 5, Pagel U10 або Resin 220. Отвори після демонтажу ін'єкційних пакерів заробити за допомогою KB FIX 5, Pagel U10 або Resin 220.

Приготування KB PUR IN III. Обидва компоненти ретельно змішують за допомогою низькооборотової дрилі, після чого витримати інтервал очікування тривалістю 1 хв. і ще раз перемішати. Після замішування суміш можна закачувати в тріщину за допомогою ін'єкційних насосів різних типів, в тому числі і ручних, виконуючи процес ін'єктування знизу вгору.

Розхід: – біля 1,1 кг/л пустоти.

Висновки

Застосування технології ін'єктування, особливо під тиском, поліуретановими композиціями при усуненні тріщин і пошкоджень в бетонних та залізобетонних конструкціях суттєво відновлює працездатність цих конструкцій.

Ці методи дають добрі результати, особливо в комбінаціях з розвантажувальними міроприємами, чи посиленням традиційним способом або з застосуванням композитних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Czarnecki, Lech Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych [Текст] / Lech Czarnecki, Peter H. Emons. – Kraków, Polski Cement, 2002. – 434 с.
2. Звіт на тему, розробка проектно-технологічних рішень з посилення і реконструкції будівлі туристичного готельного комплексу, Дністер, (конструктивно-будівельна частина) [Текст]. – Л. : НДЛ-19, НУ, Львівська політехніка, 2006. – 45 с.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

3. Маруха, В. І. Механіка руйнування та міцність матеріалів [Текст], Т. 12/ В. І. Маруха, В. В. Панасюк, В. П. Силованюк. – Л., 2009. – 261 с.
4. Лучко, Й. Й. Методи підвищення корозійної стійкості та довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій і споруд [Текст] / Й. Й. Лучко, І. І. Глагола, Б. Л. Назаревич. – Л. : Камінь, 1999. – 229 с.; 19 табл., 81 рис.
5. Дорошкевич, Л. О. Аналіз причин аварійного стану залізобетонних ригелів рам готелю Дністер, в м. Львові. Проблеми теорії і практики будівництва [Текст], Т. 4 / Л. О. Дорошкевич, С. Б. Максимович, Б. Ю. Максимович. – ДУ, ЛП, 1997. – С. 34-39.
6. Іваник, І. Г. Досвід підвищення надійності експлуатації гідротехнічної споруди на прикладі капітального ремонту басейна [Текст] / І. Г. Іваник, В. О. Каганов, Б. Л. Назаревич // Шляхи підвищення надійності проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд меліорації. – К. : 2007. – С. 181-192.
7. Лучко, Й. Й. Капітальний ремонт басейна гостиниці «RIXOS» розположеної в г. Трускавець, Львівської обл. [Текст] / Й. Й. Лучко, І. Г. Іваник, Б. Л. Назаревич, Т. Бартошук // Матеріали науково-технічної конференції Познанської політехніки. – Польща, 2006. – С. 63-71.

И. И. ЛУЧКО^{1*}, Б. Л. НАЗАРЕВИЧ², О. М. ГАЙДА³

^{1*} Каф. «Подвижной состав и путь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Львовский филиал, ул. И. Блажкевич, Львов, Украина, 79052, тел. +38 (097) 033 18 36

² Каф. Строительного производства, Институт строительства и инженерии окружающей среды, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Карпинского 6, 2 -ой корпус, к. 419, Львов, Украина, 79013, тел. +38 (032) 258 25 41, ел. почта ibid-bv@polinet.lviv.ua

³ Каф. Строительного производства, Институт строительства и инженерии окружающей среды, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Карпинского 6, 2 -ой корпус, к. 419, Львов, Украина, 79013, тел. +38 (032) 258 25 41, ел. почта ibid-bv@polinet.lviv.ua

ЗАКРЫТИЕ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ИНЪЕКЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Цель. Бетонные и железобетонные конструкции благодаря многочисленным преимуществам применяются в большинстве сооружений. Актуальной является проблема сохранения и усиления железобетонных конструкций промышленных производств, поскольку достаточно частой является эксплуатация их в различных агрессивных средах. Пропитка растворами различного назначения используется для решения ряда задач по защите и усилению конструкций, увеличению срока их службы. **Методика.** В статье проанализированы особенности технологии восстановления железобетонных конструкций с помощью пропитки инъекционными полиуретановыми смолами. Приведены примеры характерного использования технологии на реальных объектах. **Научная новизна.** Показано, что наиболее эффективная пропитка происходит с помощью специальных пакеров под высоким давлением. Наведено характеристики эффективного современного материала для пропитки.

Ключевые слова: пропитка трещин; склеивание трещин; железобетонные конструкции; инъекционный метод

I. I. LUTCHKO^{1*}, B. L. NAZAREVITCH², O. M. GAIDA³

^{1*} Dept. of Rolling stock and track, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician

V. Lazaryan, Lviv branch, I. Blazhkevych Str., Lviv, Ukraine, 79052, tel. +38 (097) 033 18 36

² Dept. of Building Production, Institute of Building and Environmental Engineering, National University «Lviv Polytechnic», 6 Karpinskyi St., 2nd academic building, 419-rd room, Lviv, 79013, Ukraine, тел. +38 (032) 258 25 41, e-mail ibid-bv@polinet.lviv.ua

³ Dept. of Building Production, Institute of Building and Environmental Engineering, National University «Lviv Polytechnic», 6 Karpinskyi St., 2nd academic building, 419-rd room, Lviv, 79013, Ukraine, тел. +38 (032) 258 25 41, e-mail ibid-bv@polinet.lviv.ua

CLOSING OF CRACKS IN REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS INJECTABLE METHODS

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Purpose. Concrete and reinforced concrete structures due to the numerous advantages used in most buildings. The actual problem is the preservation and strengthening of concrete structures of industrial production, because of their exploitation in various aggression environments. Impregnation with solutions of different function is used to solve a number of problems for the protection and strengthening of structures, increasing their lifespan. **Methodology.** This paper analyzes the features of recovery technology of concrete structures using polyurethane injection resin impregnation. Examples of typical use technology to the real objects are presented. **Originality.** It is shown, that the most effective treatment is through special packers under high pressure. Characteristics of effective modern material treatment are given.

Keywords: impregnation of cracks; bonding of cracks; reinforced concrete structures; injection method; stress deformation state

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. О. С. Распоповим (Україна).

Надійшла до редколегії 10.08.2013.

Прийнята до друку 28.10.2013.