

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.012.45:624.27.032:625.1

В. І. СОЛОМКА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Мости», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (067) 584 97 35, ел. пошта Solomka.valya@rambler.ru

### ХІМІЧНА ТА БІОЛОГІЧНА КОРОЗІЯ БЕТОНУ І ЇЇ НАСЛІДКИ ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ МОСТІВ

**Мета.** Актуальним для мостів, що експлуатуються в умовах агресивного середовища є питання корозійної стійкості матеріалу із якого вони виготовлені. Одним із методів рішення цього питання є захист конструкцій від корозії як на етапі виготовлення так і в процесі експлуатації. **Методика.** Використовуючи дані, що отримані при обстеженні залізобетонних мостів на під'їзних коліях одного із підприємств хімічної промисловості України, проаналізувати причини появи дефектів пов'язаних із експлуатацією споруд у агресивному середовищі та розглянути сучасні методи захисту залізобетонних споруд від корозії. **Результати.** На основі аналізу даних обстеження, встановлено, що в бетоні конструкцій залізобетонних мостів одночасно відбувається два види корозії: хімічна та біологічна. Виділені основні ознаки корозії та указані дефекти конструкцій, що є її наслідками. **Наукова новизна.** Досліджено дефекти, що виявлені у конструкціях залізобетонних мостів і вказані причини їх виникнення. Проаналізовано механізм впливу корозії бетону на стан залізобетонних мостів. **Практична значимість.** Організації, що займається утриманням та експлуатацією даних залізобетонних мостів направлено звіт, де на основі обстеження проаналізовані дефекти і пошкодження та розроблені рекомендації по подальшій експлуатації вказаних споруд.

*Ключові слова:* хімічна корозія; біологічна корозія; корозія бетону; залізобетонний міст; агресивне середовище; під'їзна колія; дефект

#### Вступ

Сьогодні на залізницях та автошляхах України залізобетонні мости та труби складають більшу частину усіх споруд, що знаходяться в експлуатації. Тому питання їх бездефектної експлуатації є найважливішим для забезпечення безперебійного руху транспорту. Окрему групу складають мости, що експлуатуються на під'їзних коліях до підприємств хімічної промисловості. Такі мости експлуатуються в агресивному середовищі та зазнають його постійного негативного впливу. Якщо конструкції споруди не мають спеціального захисту, то результатом може стати корозія бетону і арматури.

Як відомо під корозією бетону розуміють процес руйнування його структури, надання крихких властивостей під впливом навколишнього середовища. За механізмом протікання корозійного процесу розрізняють основні види корозії: хімічну, фізичну і фізико-хімічну [1-6].

Хімічна корозія бетону може бути трьох видів.

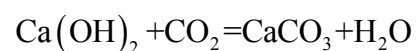
1. Розчинення складових частин цементного каменю.

Це найбільш поширений вид корозійного руйнування бетону. Бетонні вироби експлуатуються в основному на відкритому повітрі. При цьому вони піддаються впливу атмосферних опадів та інших рідких середовищ. Складовою частиною бетону є гідрат окису кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – гашене вапно. Це самий легкорозчинний компонент, тому з часом він розчиняється і поступово виноситься, порушуючи при цьому структуру бетону.

2. Корозія бетону при взаємодії цементного каменю із кислотами, що містяться у воді.

Під впливом кислот корозія бетону протікає або із збільшенням його об'єму, або з вимиванням легкорозчинних вапняних сполук.

Збільшення об'єму відбувається по реакції:



Утворений карбонат кальцію  $\text{CaCO}_3$  не розчиняється у воді. Поступово відбувається його відкладення в порах цементного каменю, за ра-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

хунок чого йде збільшення об'єму бетону, а надалі його розтріскування і руйнування.

При контакті бетону з водними розчинами кислот утворюється легкорозчинний бікарбонат кальцію, який є агресивним для бетону, а при наявності води розчиняється в ній і поступово вимивається із структури бетонного каменю. Крім розчинення спостерігається і протікання хімічної корозії бетону при цьому вимиваються солі хлористого кальцію.

3. Корозія бетону внаслідок утворення і кристалізації у порах важкорозчинних речовин. Що призводить до руйнування бетонних та залізобетонних конструкцій.

Крім вищеописаних корозійних руйнувань бетону за наявності мікроорганізмів можливе протікання біологічної корозії. Грибки, бактерії і деякі водорості можуть проникати в пори бетонного каменю і там розвиватися. У порах відкладаються продукти їх метаболізму і поступово руйнують структуру бетонного каменю.

Біопшкодження бетону, переважно зводиться до порушення зчеплення складових компонентів цього матеріалу в результаті впливу мінеральних або органічних кислот мікробного походження. Бетонні споруди руйнуються внаслідок хімічних реакцій між цементним каменем і продуктами життєдіяльності мікроорганізмів.

Пориста структура бетону сприяє залученню мікроорганізмів у корозійні процеси. Завдяки змінності перерізів контактуючих пор мікроструктура цементного каменю має непрониکنість для частинок або мікроорганізмів певного розміру, як правило, набагато менших середнього розміру пор. Омиваний рідиною бетон фільтрує воду, а дрібні частинки і мікроорганізми затримуються на поверхні матеріалу і вступають з ним у взаємодію.

Продукти життєдіяльності мікроорганізмів такі як: кислоти, сульфіді, аміак та інші, є агресивними і викликають руйнування бетону, а також арматури в залізобетонних конструкціях.

При твердінні бетон покривається захисною плівкою, утвореною вуглекислим кальцієм. Поки плівка ціла, вона перешкоджає дифузії води всередину бетонної кладки і тим самим захищає бетон від руйнування. Тіонові бактерії, що поселяються на поверхні карбонатного шару, руйнують його, змінюючи рН прилеглої води за рахунок утвореною ними кислоти. Крім того,

тіонові бактерії приносять шкоду продукуванню сульфатів, оскільки останні утворюють етрінгіт, що прискорює руйнування цементного каменю.

Інтенсивний розвиток корозії бетону та залізобетону спостерігається в умовах техногенних середовищ. Висока вологість, наявність органічної речовини, жирів і продуктів їх гідролізу, аміаку, розчинів солей створюють сприятливі умови для хімічної корозії та інтенсивного розвитку активних в корозійному відношенні мікроорганізмів.

### Мета

Метою даної статті є на основі літературних джерел та досвіду обстежень проаналізувати наслідки впливу агресивного середовища на конструкції залізобетонних мостів, що експлуатуються на під'їзних коліях підприємств хімічної промисловості України та розглянути сучасні способи захисту таких конструкцій від корозії.

### Методика

В грудні 2013 року автором статті було виконане обстеження трьох залізобетонних мостів, що експлуатуються на під'їзних коліях одного із хімічних підприємств України, згідно [7, 8]. Метою роботи було визначення технічного стану залізобетонних прогонових будов і опор, на яких вони встановлені та розробка рекомендацій по подальшій їх експлуатації для забезпечення безпеки руху поїздів із установленими швидкостями.

На основі обстеження були проаналізовані дефекти і пошкодження та розроблені рекомендації по подальшій експлуатації споруд.

В результаті обстеження виявлено ряд дефектів і недоліків пов'язаних із експлуатацією споруд в умовах дії агресивного середовища.

Одним із самих розповсюджених дефектів на усіх конструкціях є вилуговування цементного каменю, про що свідчать багаточисельні білі патьоки на поверхні прогонових будов (рис. 1).

Патьоки вилуговування цементного каменю розповсюджені по усій поверхні прогонових будов суцільною смугою, що свідчить про активний процес хімічної корозії першого виду із вимиванням гідрату окису кальцію (гашене вапно).

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА



Рис. 1. Патьоки вилуговування на поверхні залізобетонних прогонових будов

Усі прогонові будови мають зруйновані іржею водовідвідні трубки. Внаслідок чого вода із плити баластового корита просочується навколо зруйнованих трубок попадає на бокову поверхню ребра прогонової будови і суцільною смугою стікає по поверхні (див. рис. 1). Враховуючи той факт, що дані мости експлуатуються на під'їзних колях підприємства хімічної промисловості, зрозуміло, що на поверхню баласту попадають речовини, пов'язані із виробничим процесом підприємства, а потім ці речовини розчиняються у воді під час дощів та просочуються через баласт і зруйновані водовідвідні трубки на конструкції прогонової будови. В результаті дії забрудненої води у бетоні відбувається процес хімічної та біологічної корозії. Про що свідчать різні кольори забарвлення цих патьоків: чорний та зелений, відтінки коричневого і ін.

На усіх мостах, що були обстежені, виявлено нещільне прилягання металевого листа перекриття зазору між блоками прогонових будов. Результатом такого недоліку є просочування води із плити баластового корита крізь нещільно перекритий зазор та розповсюдження іржавих патьоків по усій внутрішній поверхні плити баластового корита та ребер прогонових будов (рис. 2).

Характер патьоків на внутрішній поверхні плити баластового корита та ребер залізобетонних прогонових будов дозволяє зробити висновок, що відбувається просочування води не тільки скрізь розладнання у зазорі а і скрізь бетон плити баластового корита.



Рис. 2. Іржаві патьоки на внутрішній поверхні плити баластового корита та ребер залізобетонних прогонових будов

Патьоки коричневого кольору дають підстави вважати, що відбувається внутрішній процес корозії бетону та арматури, що може привести до небезпечних наслідків, а саме руйнування захисного шару бетону та при зменшенні діаметру арматури, що піддається корозії, під навантаженням можливе руйнування арматурних стержнів.

Ще одним наслідком просочування брудної води крізь бетон плити баластового корита є утворення на внутрішній поверхні плити нашарувань кристалізації хімічних речовин внаслідок хімічної корозії бетону (рис. 3).



Рис. 3. Нашарування кристалізації хімічних речовин на внутрішній поверхні плити баластового корита

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

На усіх мостах виявлено ознаки біологічної корозії бетону. Це такі як зміна забарвлення бетоном по усій поверхні залізобетонної прогонової будови (рис. 4), патьоки зеленкуватого, чорного і інших кольорів у місцях підвищеної вологості (рис. 5), нарости моху та кристалізація продуктів життєдіяльності бактерій на поверхні бетону (рис. 6) і ін.



Рис. 4. Зміна забарвлення бетоном по усій поверхні залізобетонної прогонової будови



Рис. 5. Ознаки біологічної корозії бетону у місцях підвищеної вологості

Аналізуючи дефекти наведені на рис. 4, 5 і 6 можна зробити висновок, що на поверхні і у середині бетону залізобетонних прогонових будов відбувається активний процес біологічної корозії, який супроводжується кристалізацією на поверхні бетону продуктів життєдіяльності мікроорганізмів. Такий процес є небезпечним, тому що може привести до порушення

зчеплення складових компонентів бетону і його руйнування.



Рис. 6. Нарости моху та кристалізація продуктів життєдіяльності бактерій на поверхні бетону

Процес хімічної і біологічної корозії спостерігається і у місці контакту однієї із проміжних опор із ґрунтом (рис. 7).



Рис. 7. Руйнування бетону проміжної опори у місці контакту із ґрунтом

Внаслідок постійного контакту із агресивним середовищем і ґрунтом, який напевне має активні хімічні складники що осідають із повітря чи розчиняються у воді, відбувається руйнування бетону опори. По поверхні видно патьоки зеленкуватого кольору та каверни у бетоні, що свідчить про активний процес хімічної і біологічної корозії, який привів до руйнування структури бетону і його вимивання. Це є небезпечним явищем, тому що уже на сьогодні є ознаки просідання даної опори. Такі як нахил опорних частин та закриття деформаційних зазорів між прогоновими будовами.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

**Результати**

В результаті обстеження залізобетонних мостів, що експлуатуються на під'їзних коліях одного із хімічних підприємств України встановлено наступне:

1. В бетоні конструкцій обстежуваних залізобетонних мостів одночасно відбувається два види корозії: хімічна та біологічна.

2. Ознаками хімічної корозії є характерні білі патьоки, що утворюються по поверхні бетону внаслідок вилугування цементного каменю а також утворення на поверхні бетону продуктів кристалізації хімічних речовин, які вступають у взаємодію із складовими матеріалом.

3. Ознаками біологічної корозії є зміна бетоном забарвлення, нашарування зеленкуватого, чорного і інших кольорів в місцях підвищеної вологості, а також кристалізація на поверхні бетону продуктів життєдіяльності мікроорганізмів (нарости моху і ін.).

**Висновки**

1. Як правило, у бетонних та залізобетонних конструкціях, що піддаються дії агресивного середовища, відбувається одночасно декілька видів корозії. У будь-якому випадку запобігти виникненню корозії набагато легше, ніж боротися з її наслідками.

Захист залізобетонних конструкцій від корозії повинен бути виконаний як на стадії виготовлення так і на стадії експлуатації. На стадії виготовлення необхідно додавати у бетон спеціальні добавки, що надаватимуть йому здатності опиратися негативній дії агресивного середовища. На стадії експлуатації ефективними засобами профілактики корозійного процесу у бетоні є його надійна гідроізоляція за допомогою просочування природними або синтетичними смолами, фарбування, обклеювання рулонними матеріалами, покриття захисною штукатуркою, облицювання тощо.

2. За кліматичними характеристиками область, де експлуатуються обстежені залізобетонні мости, відноситься до території підвищеної вологості. Тому природне середовище, а також наявність поряд підприємства хімічної промисловості створюють сприятливі умови для розвитку корозійних процесів у бетоні.

3. Для приведення обстежених залізобетонних мостів на під'їзних коліях одного із хімічних підприємств України в задовільний експлуатаційний стан необхідно виконати капітальний ремонт усіх мостових конструкцій або замінити прогонові будови мостів на нові із реконструкцією опор та мостового полотна.

У випадку виконання капітального ремонту для усіх залізобетонних конструкцій мостів на під'їзних коліях даного хімічного підприємства, що піддалися впливу хімічної корозії та мікроорганізмів необхідно виконати капітальний ремонт із видаленням пошкодженого захисного шару бетону. Після цього просушити конструкції і обробити поверхню дезінфікуючим складом не менше ніж у два прийоми. Після чого знову відновити захисний шар одним із сучасних способів.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Клименко, Є. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: навчальний посібник [Текст] / Є. В. Клименко. – К. : Центр навчальної літератури, 2004. – 304 с.
2. Горчаков, Г. И. Строительные материалы: учеб. для вузов [Текст] / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1986. – 688 с.
3. Дворкін, Л. Й. Теоретичні основи будівельного матеріалознавства [Текст] / Л. Й. Дворкін. – К. : НМКВО, 1992. – 154 с.
4. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.
5. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение [Текст] / И. А. Рыбьев. – М. : Высш. шк., 2003. – 700 с.
6. Будівельне матеріалознавство на транспорті: [Текст] / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, В. В. Пунагін, О. В. Громова. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 624 с.
7. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування [Текст]. – Чинні від 2010-03-01. – К. : Мін регіон буд. України, 2009. – 42 с.
8. Інструкція по утриманню штучних споруд [Текст] / В. Ф. Сушков, Л. П. Ватуля, М. М. Літвінов і ін. – К. : Транспорт України, 1999. – 96 с.

В. И. СОЛОМКА<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Мосты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (067) 584 97 35, эл. почта Solomka.valya@rambler.ru

## ХИМИЧЕСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ БЕТОНА И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ

**Цель.** Актуальным для мостов, эксплуатируемых в условиях агрессивной среды, является вопрос коррозионной устойчивости материала, из которого они изготовлены. Одним из методов решения этого вопроса является защита конструкций от коррозии, как на этапе изготовления, так и в процессе эксплуатации. **Методика.** Используя данные, полученные при обследовании железобетонных мостов на подъездных путях одного из предприятий химической промышленности Украины, проанализировать причины появления дефектов, связанных с эксплуатацией сооружений в агрессивной среде и рассмотреть современные методы защиты железобетонных сооружений от коррозии. **Результаты.** На основе анализа данных обследования, установлено, что в бетоне конструкций железобетонных мостов одновременно происходит два вида коррозии: химическая и биологическая. Определены признаки коррозии и указаны дефекты конструкций, которые являются ее последствиями. **Научная новизна.** Исследованы дефекты, выявленные в конструкциях железобетонных мостов, и указаны причины их появления. Проанализирован механизм влияния коррозии бетона на состояние железобетонных мостов. **Практическая значимость.** Организации, занимающейся содержанием и эксплуатацией данных железобетонных мостов, направлен отчет, где на основе обследования проанализированы дефекты и повреждения, а также разработаны рекомендации по дальнейшей эксплуатации указанных сооружений.

**Ключевые слова:** химическая коррозия; биологическая коррозия; коррозия бетона; железобетонный мост; агрессивная среда; подъездной путь; дефект

VALENTINA SOLOMKA<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Dept. of Bridges, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 584 97 35, e-mail Solomka.valya@rambler.ru

## CHEMICAL AND BIOLOGICAL CORROSION OF CONCRETE AND ITS IMPLICATIONS FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BRIDGES

**Purpose.** Relevant for bridges operating in harsh environments is the issue of corrosion resistance of the material from which they are made. One method of solving this problem is the protection of structures against corrosion, both during manufacture and during use. **Methodology.** Using data obtained during the examination of concrete bridges sidings one of the Ukrainian chemical industry, to analyze the causes of the defects associated with the operation of structures in aggressive environments and discuss modern methods of protection against corrosion of reinforced concrete structures. **Findings.** Based on the analysis of the survey data found that in concrete structures reinforced concrete bridges occur simultaneously two types of corrosion: chemical and biological. Identified signs of corrosion and defects are designs that are its consequences. **Originality.** Investigated defects identified in the construction of concrete bridges, and the reasons for their occurrence. The mechanism of the influence of the state of corrosion of concrete reinforced concrete bridges. **Practical value.** Organization dedicated to the maintenance and operation data of concrete bridges, sent a report based on a survey which analyzed defects and damage, and developed recommendations for the further operation of these facilities.

**Keywords:** chemical corrosion; biological corrosion; corrosion of concrete; reinforced concrete bridge; aggressive environment; spur line; defect

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

Надійшла до редколегії 20.11.2013.

Прийнята до друку 30.11.2013.