

середовища. В статті приведені результати випробувань цих матеріалів. Установлено, що їх якість можна покращити за рахунок підвищення однорідності матеріалу в процесі їх виготовлення.

**Ключові слова:** тунелі, корозія, полімерні матеріали, випробовування, однорідність.

**Goncharenko D.F., Ubiyvovk A.V., Kazimogomedov I.E., Korinko V.I. SECONDARY POLYMER COMPOSITE MATERIAL FOR RENOVATING SEWER TUNNELS.** Concrete

structures of deep sewage tunnels are significantly damaged by corrosion. Polymers are used for their renovation and repair. Structures made of secondary polymer composite materials, which can successfully work in aggressive environments, are effective for cladding the tunnels. The results of testing these materials are presented in the article. It is established that their quality can be improved by increasing homogeneity of the material in the process of their manufacture.

**Keywords:** tunnels, corrosion, polymer materials, testing, homogeneity.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-117-122

УДК 624.21.092

**Більченко А.В., Кіслов О.Г., Синьковська О.В., Ігнатенко А.В.**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*(вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна; e-mail: [Bilchenko39@gmail.com](mailto:Bilchenko39@gmail.com);*

*ORCID: 0000-0001-5077-6235; 0000-0002-5164-8515; 0000-0003-0823-2597; 0000-0001-9222-1051)*

## **ДО ПИТАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОЛЬОТНИХ БУДОВ МОСТОВИХ СПОРУД**

Проблема довговічності залізобетонних прольотних будов мостових споруд в процесі експлуатації, як в технічному, так і в соціально-економічному плані завжди була найменш вивченою в теорії споруд, а тому завжди актуальна. Мости, як складні технічні системи звичайно мають «слабкі місця», які передбачають початок руйнування як окремих елементів, так і споруди в цілому. Процеси експлуатації мостових споруд показали, що одним із таких «слабких місць» є захисний шар бетону в залізобетонній конструкції, тому розглядається процес його руйнування. Коректна постановка оцінки довговічності залізобетонних прольотних будов дуже складна, так як вимагає врахування впливу кліматичних умов, мінливості фізико-механічних властивостей матеріалів та схем розподілу зусиль, крім того, необхідно врахувати форму конструктивного елемента, умови експлуатації, утримання і технології виготовлення конструкції.

Метою даної роботи є знайти причини виникнення тріщин в захисному шарі бетону і подальший їх розвиток в залежності від температурних перепадів в підмостовому просторі. Розвиток тріщин збільшує агресивну дію навколишнього середовища на арматуру, що призводить до руйнування конструкції в цілому.

**Ключові слова:** мостові споруди, прольотні будови, залізобетонні конструкції, захисний шар, нестійкі тріщини, агресивне середовище, руйнування, довговічність.

**Вступ.** Довговічність залізобетонних прольотних будов мостових споруд, які відносяться до складних технічних систем, завжди була найменше розробленою в теорії споруд. Тому значна частина мостових споруд зараз знаходиться в четвертому експлуатаційному стані, який передбачає їх капіталь-

ний ремонт [1]. В умовах обмеженого фінансування системи експлуатації мостових споруд, стратегічне планування ремонтів повинно спиратись на, як можливо, більш точний залишковий ресурс, що передбачає заходи по його продовженню [2, 5-8]. Коректна постановка оцінки ресурсу споруди дуже

складна, так як вимагає врахування зміни фізико-механічних властивостей матеріалів в залежності від кліматичних умов і часу. Крім того необхідно врахувати чутливість конструкції до деградації [3, 4, 8], яка залежить від форми конструктивного елемента.

Існуюча раніше думка про високу довговічність залізобетонних конструкцій виявилась помилковою, якщо конструкція експлуатується у відкритому просторі. Досвід експлуатації залізобетонних прольотних будов мостових споруд, показав, що руйнування конструкцій починається із руйнування захисного шару бетону вже через 10-15 років. В особливості це відноситься до збірних залізобетонних конструкцій, які можуть повністю деградувати через 30-40 років, так як прискорене твердіння в пропарювальній камері збільшує пористість бетону, усадочні процеси та здатність насичуватись вологою. Таким чином ці фактори при екстремальних кліматичних умовах є основними причинами руйнування захисного шару.

**Аналіз публікацій.** Проблема оцінки ресурсу залізобетонних конструкцій мостових споруд як на стадії проектування, так і в процесі експлуатації дуже складна. Ця проблема розглянута в роботах [2-4, 8]. Однак в них приділялась велика увага хімічним процесам, таким як карбонізація бетону та вплив хлоридів в елементах, коли захисний шар ще не зруйнований і корозія арматури мінімальна. В роботах [9, 10] звертається увага важливим процесам, що призводять до руйнування захисного шару завдяки появі нестійких тріщин від дії усадочних напружень і мінімальних силових зусиль. Після цього з'являються нові навантаження від циклічного заморожування та відтаювання бетону. Цей процес посилюється динамічним навантаженням і з часом тріщини ростуть, розривають монолітність захисного шару вже на ранніх стадіях експлуатації тобто в першому або другому експлуатаційних стадіях роботи залізобетонного елемента. Таким чином в цій

роботі ставиться завдання розглянути цей процес більш детально.

**Реалізація задачі.** Дуже часто серед спеціалістів дорожньо-будівельної галузі існує думка, що головною причиною недостатньої довговічності залізобетонних конструкцій мостових споруд є недосконале утримання їх в процесі експлуатації. Відсутність організаційних спеціалізованих мостових структур та надійної системи експлуатації у відкритому просторі є вагомою причиною малої довговічності, однак ще на стадії проектування нічого не оговорюється, в яких умовах, за рахунок яких причин і з якою швидкістю буде протікати деградація залізобетонного елемента мостової споруди. Таким чином для розрахунку довговічності необхідно визначити причини деградації залізобетонного елемента із часом. Тому, крім хімічних процесів, розглянемо фізичні явища, що виникають після виготовлення конструкцій. В будь якому залізобетонному елементі при конструюванні необхідно звернути увагу на те, що шар бетону в захисному шарі монолітно слабо пов'язаний із бетоном поперечного перерізу елемента, так як він відокремлюється шаром арматури. Захисний шар конструктивний, залежить від діаметра арматури і розмірів крупного заповнювача та має малу товщину і малий об'єм (рис. 1). Цей фактор впливає на неоднорідність бетону та на його механічні характеристики, так як розміри структури бетону і розміри захисного шару ставить під сумнів то що цей бетон є умовно-однорідним, при цьому енергія руйнування бетону залежить від кількості і крупності заповнювача і цементного каменю. Його міцність як правило, відрізняється від стандартизованої, що отримана при випробуванні кубиків, тому бетон працює із іншими характеристиками, а сумісна робота бетону і арматури буде мінімальною внаслідок малих об'ємів бетону. Етап виготовлення конструкцій (в особливості збірних) закінчується появою усадочних деформацій, які закінчуються по-

явою мікротріщин в двох площинах – на поверхні елементу і на контактї із арматурою, що і зменшує її зчеплення із бетоном. При мінімальних навантаженнях цей процес можна назвати нестійким з’явленням тріщин. При цьому усадочні деформації по глибині бетону поперечного перерізу елемента стримується арматурою, тому тріщин у цій площині значно менше ніж біля зовнішній грані елементу. Для залізобетонних конструкцій мостових споруд, які працюють в екстремальних умовах, тобто при циклічному заморожуванні і відтаюванні бетону мікротріщини, з часом збільшуються, при цьому на цей процес накладається циклічне, динамічне навантаження, що розхитує тріщину. Більшість існуючих підходів і практичних методик прогнозування довговічності елементів залізобетонних конструкцій мостових споруд не враховують температурно-вологісних кліматичних впливів разом із силовими. В діючих нормативних документах нема науково обґрунтованої методики розрахунку строку служби залізобетонних елементів мостових конструкцій так як вони відштовхуються від корозії арматури, а руйнування захисного шару не розглядається. Слід зауважити, що у підмостовому просторі створюється свій мікроклімат який більш вологий і агресивний ніж на поверхні мостової споруди, що супроводжується зміною температури [11]. Фактор сполучення великої вологості із великими амплітудами температури впливає на температурні поля в захисному шарі залізобетонних елементів, тому на нього необхідно звернути увагу [9 - 11].

На кафедрі мостів, конструкцій та будівельної механіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету були виконані натурні дослідження по розподілу температури по зовнішній поверхні поперечного перерізу балок прольотних будов мостових споруд в м. Харкові. Вимірювання температури навколишнього середовища і температури залізобетонних елементів балок виконувалось тепловізором Ti20, а також безконтактним вимірювачем температури

FLUKE68. Для вивчення розподілу температури по поверхні залізобетонного елементу були вибрані два шляхопроводи по 9 балок в поперечному напрямку із різною орієнтацією по відношенню до сонця. Було встановлено, що температура залізобетонних конструкцій ближче до температури підмостового простору, але не співпадає із нею. Зміна температури в конструкції внаслідок її теплової масивності більш повільна у порівнянні із температурою повітря зовнішнього середовища і відрізняється в середньому на 4-5 градусів (25%). Тут необхідно зауважити, що вимірювалась температура захисного шару залізобетонних балок. Вимірювання температури у перехідний період від зими до весни (лютий – березень) показало, що зміна температури навколишнього середовища супроводжується більш повільною зміною в конструкціях (рис.2), тобто із запізненням на 4-5 днів.

Зміна температури навколишнього середовища призводить до циклічності заморожування і відтаювання бетону. Ця циклічність особливо небезпечна для захисного шару бетону так як вона розхитує вершину тріщин. В цілому температурний режим конструкцій моста не є лінійним та має складний характер, тому моделі, що використовують лінійну зміну температури можуть приводити до помилок при оцінці напружено-деформованого стану.

При наявності дефектів в захисному шарі конструкцій фіксується характерна картина теплового поля, при цьому слід зауважити, що руйнування балок залежить від їх розміщенні в поперечному перерізі. За даними роботи [11] від сонячної радіації і температурного перепаду балки в поперечному напрямку моста руйнуються по різному:

- фасадна балка із боку сонця на глибину 1,0см;
- крайня балка із внутрішнього боку – на 0,5см;
- середні балки – без руйнування захисного шару.

За 30 років сумарне пошкодження поверхні крайніх балок склало:

- фасадна балка – 50%;
- внутрішня поверхня крайньої балки – 30%;
- балки 2 і 6 – 25%;
- балки 3, 4, 5 – 5%.



Рис. 1. Руйнування захисного шару бетону в балці прольотної будови моста через р. Мжа на під'їзді до м. Зміїв

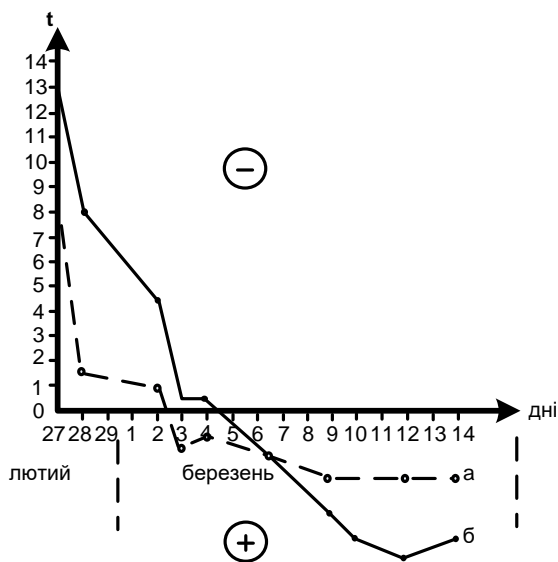


Рис. 2. Характер падіння температури:  
а – температура навколишнього середовища;  
б - температура конструкції мостової споруди.

Особливості роботи фасадних балок мостових споруд в екстремальних умовах впливають на швидкість їх руйнування завдяки руйнуванню захисного шару. Таким чином для залізобетонних прольотних будов руйнування захисного шару в крайніх і середніх балках відрізняється більше ніж на 10-15 років, і ця ситуація спостерігається на більшості мостів. Тому для розгляду розвитку нестійких хаотичних тріщин або системи тріщин в бетоні захисного шару необхідно за-

стосовувати статистичний аналіз на основі заданих характеристик структури бетону (пористості цементного каменю, крупності і об'ємного складу заповнювача, який імітує при цьому різні варіанти випадкового розміщення зерен в заповнювачі по мінімальному об'єму зразка в залежності від об'єму цементного каменю) і агресивного середовища. В залежності від цього і мінімального навантаження змінюється крихкість і пластичність бетону і як наслідок кількість і об'єм нестійких тріщин, які змінюють умову рівноваги внутрішніх сил міжмолекулярного зчеплення. Тут необхідно звернути увагу на роботу [12] в якій пропонується три варіанта розвитку тріщин в залізобетонному елементі. В залежності від діючого зусилля заморожування вологи в тріщині воно розсуває їх краї, тому в нашому випадку можна прийняти перший тип тріщин. В даній ситуації об'єктом особливої уваги механіки руйнування є вершина тріщини - місце виникнення найбільшої концентрації напружень і вихідна точка подальшого руйнування бетону. Для таких тріщин в роботі [12] вводиться коефіцієнт інтенсивності напруження  $K_1$ , який визначається

$$K_1 = \sigma\sqrt{\pi\ell}, \text{ або } K_1 = \frac{F}{\sqrt{\pi\ell}},$$

де  $F$  - зосереджена сила;  $\ell$  - довжина тріщини.

Коефіцієнт інтенсивності напружень збільшується прямопропорційно збільшенню довжини тріщини, що й призводить до її нестійкому зростанні. Аналіз розвитку тріщин від заморожування показав, що ця дія силова. Тому розглянемо в зоні тріщини умову рівноваги зовнішніх і внутрішніх зусиль, тобто сил міжатомного (міжмолекулярного) зчеплення. В процесі руйнування бетону в зоні вершини тріщини частина витраченої на руйнування енергії розподіляється на мікропластичні деформації, які характеризуються коефіцієнтом щільності енергії  $\gamma_{f\ell}$  [12].

Отже основним фактором руйнування захисного шару бетону в залізобетонних конструкціях мостових споруд є кліматичні

умови в сполученні із динамічними навантаженнями, які розхитують вершини тріщин.

Таким чином процес руйнування захисного шару починається на ранніх стадіях від з'явлення усадочних деформацій і швидко натікаючої повзучості до довгострокової дії температурних перепадів, в залежності від кліматичних умов у відкритому просторі.

**Висновки.** Проведений аналіз показав, що руйнування бетону захисного шару викликається внутрішніми зусиллями від дії заморожування та дії мінімального зовнішнього навантаження. Тому для оцінки ресурсу залізобетонних елементів необхідно, в першу чергу, забезпечити збереження захисного шару завдяки вдосконалень технології виготовлення конструкцій, застосуванню домішок при виготовленні бетону, які зменшують усадочні тріщини і швидконатікаючу повзучість, та застосуванні хімічних покриттів конструкцій, що зменшують агресивну дію навколишнього середовища [13, 14, 15]. Маючи наукову базу розв'язування цього питання можна приступити до розробки прогнозування довговічності мостових залізобетонних конструкцій і визначати життєвий цикл споруд.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Мости та труби. Оцінка технічного стану мостів, що експлуатуються. ВБН В.3.1-218-174-2002. Державна служба автомобільних доріг України. – К.: 2002. – 74с.
2. Дегтяр В.Г. До проблеми оцінки зносу елементів моста / В.Г. Дегтяр, А.І. Лантух-Лященко // Зб. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Вип. 59. Український транспортний університет. – К.:2000. – С.33-36.
3. Лантух-Лященко А.І. Модель визначення надійності прогонової будови в умовах неповної інформації // Зб. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – Вип. 62. – К.:2001.
4. Лантух-Лященко А.І. До проекту державних будівельних норм з оцінки технічного стану мостів // Зб. «Діагностика, довговіч-

ність та реконструкція мостів та будівельних конструкцій». – Вип. 2. – Львів: Камеяр, 2000. – С.78-83.

5. Wittmann F.H. Fracture Mechanics of Concrete / F.H Wittmann // Elsevier, 1983 – 680pp.
6. Tuutti K. Corrosion of steel in concrete / CBI Research. Fo 4:82 // Stockholm Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.
7. Lounis Z. Reliability-based service life prediction of deteriorating concrete structures / Z. Lounis, M.S. Madanat // Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf/ on Concrete under Severe Conditions. Vol. 1. 2001. – P. 965-972.
8. Лантух-Лященко А.І. Проблема довговічності залізобетонний прогонових будов автотодорожніх мостів / А.І. Лантух-Лященко// Зб. «Автомобільні дороги та дорожнє будівництва». – Вип. 73. – Національний транспортний університет. – К.: 2006. – С. 204-210.
9. Більченко А.В. Проблема довговічності залізобетонних конструкцій/ А.В.Більченко, О.Г.Кіслов, О.В.Синьковська // Збірник. Науковий вісник будівництва т.92.-№2, 2018.-с.163-166.
10. Більченко А.В. Довговічність залізобетонних конструкцій є основою життєвого циклу мостових споруд/ А.В.Більченко, О.Г.Кіслов, О.В.Синьковська, А.В.Ігнатенко // Науковий вісник будівництва т. 94.- № 4, Харків.- 2018. - С. 140-144.
11. Повышение долговечности автотодорожніх мостов: Монографія / В.П.Кожушко, А.В.Більченко, А.Г.Кіслов и др. под ред В.П.Кожушко/ Харьков: ХНАДУ. - 2016. - 236 с.
12. Зайцев Ю.В. Новый подход к расчету бетонных и железобетонных конструкций (о механике разрушения бетона и железобетона) / Ю.В. Зайцев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – М.:2000. – №5. – С. 16-17. – №6. – С.26-27.
13. Розенталь Н.К. Коррозионные процессы в модифицированных бетонах // Зб. «Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж».- Донецьк. - 2003. - С. 129 - 133.

14. Чернявский В.Л. Оценка остаточного ресурса по мере функционального состояния эксплуатирующихся железобетонных конструкций / В.Л.Чернявский, Ю.Б.Гиль // Зб. наук. пр. Луганського нац. ун-ту. №40 (52).-Луганськ: Вид-во ЛНАУ. - 2004. - С.279-285.
15. Чепурная С.Н. Повышение коррозионной стойкости бетона транспортных сооружений добавкой высокодисперсного кальцита / С.Н. Чепурная А.А. Плугин, О.С. Борзяк / Науковий вісник будівництва. – т. 91, №1 – 2018. – С.292-297.

**Бильченко А.В., Кислов А.Г., Синьковская Е.В., Игнатенко А.В. К ВОПРОСУ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ.** Проблема долговечности железобетонных пролетных строений мостовых сооружений в процессе эксплуатации, как в техническом, так и в социально-экономическом плане всегда была наименее изученной в теории сооружений, а потому всегда актуальна. Мосты, как сложные технические системы обычно имеют «слабые места», которые предусматривают начало разрушения, как отдельных элементов, так и сооружения в целом. Процессы эксплуатации мостовых сооружений показали, что одним из таких «слабых мест» является защитный слой бетона в железобетонной конструкции, поэтому рассматривается процесс его разрушения. Корректная постановка оценки долговечности железобетонных пролетных строений очень сложная, так как требует учета влияния климатических условий, изменчивости физико-механических свойств материалов и схем распределения усилий, кроме того, необходимо учесть форму конструктивного элемента, условия эксплуатации, содержание и технологии изготовления конструкции. Целью данной работы является найти причины возникновения трещин в защитном слое бетона и дальнейшее их развитие в зависимости от тем-

пературных перепадов в подмостовом пространстве. Развитие трещин увеличивает агрессивное воздействие окружающей среды на арматуру, что приводит к разрушению конструкции в целом.

**Ключевые слова:** мостовые сооружения, пролетные строения, железобетонные конструкции, защитный слой, неустойчивые трещины, агрессивная среда, разрушение, долговечность.

**Bilchenko A.V., Kislov O.G., Synkovska O.V., Ihnatenko A.V. TO THE QUESTION OF THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE FLIGHT STRUCTURES OF THE BRIDGE CONSTRUCTIONS.** The problem of durability of reinforced concrete spans of bridge structures during operation, both technically and in socio-economic terms, has always been the least studied in the theory of structures, and therefore always relevant. Bridges, as complex technical systems, usually have “weak points”, which provide for the beginning of the destruction of both individual elements and the structure as a whole. The processes of exploitation of bridge structures have shown that one of such “weak points” is a protective layer of concrete in a reinforced concrete structure, therefore, the process of its destruction is considered. Correct assessment of the durability of reinforced concrete spans is very difficult, since it requires taking into account the influence of climatic conditions, variability of the physicomaterial properties of materials and force distribution schemes; content and manufacturing technology design.

The purpose of this work is to find the causes of cracks in the protective layer of concrete and their further development depending on the temperature differences in the bridge space. The development of cracks increases the aggressive impact of the environment on the reinforcement, which leads to the destruction of the structure as a whole.

**Keywords:** bridges, spans, reinforced concrete structures, protective layer, unstable cracks, aggressive environment, destruction, durability.