

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПЕРЕДЧАСНОГО РУЙНУВАННЯ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІВ ТА ШЛЯХОПРОВІДІВ  
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ХЛОРИСТИХ ПРОТИОЖЕЛЕДНИХ  
МАТЕРІАЛІВ**

**RESEARCH OF THE CAUSES OF PREMIUM DESTRUCTION OF  
REINFORCED CONCRETE ELEMENTS OF BRIDGES AND  
PIPELINES WHEN USING CHLORINE ANTI-ICE MATERIALS**

**Сєдов А.В., к.т.н., доц., Фоменко О.О., асис. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)**

**Siedov A.V., Ph.D., assoc., Fomenko O.O., assistant (Kharkiv National Automobile and Road University)**

*Виконаний аналіз факторів, що впливають на швидкість і обсяги руйнування залізобетонних елементів штучних споруд. До основних причин появи пошкоджень на мостах відноситься корозія бетону та арматури внаслідок попадання води з проїзної частини в осінньо-зимовий період, оскільки вона містить в собі хімічні речовини, які застосовуються при боротьбі із зимовою слизькістю і викликають корозію на додаток до карбонізації. Опір цементного бетону агресивній дії ПОМ матеріалів є нестабільним. Існують періоди, коли структура бетону є достатньо стійкою і періоди, в які її стійкість може суттєво знижуватись. У процесі експлуатації таких бетонів існує небезпека незворотньої втрати міцності за спільної дії на бетон ПОМ, знакозмінних температур та інтенсивних динамічних механічних навантажень від руху транспортних засобів.*

*Factors affecting the speed and volume of destruction of reinforced concrete elements of man-made structures are analyzed. The main causes of damage to bridges include corrosion of concrete and reinforcement due to water ingress from the roadway in the autumn-winter period, as it contains chemicals that are used to combat winter slippage and cause corrosion in addition to carbonization. First, the surface layer of concrete is saturated with salt. During repeated treatments with anti-icing materials, the solution penetrates deeper and deeper into the thickness of the concrete due to capillary absorption. According to the research results, it can be concluded that the most dangerous concentration is 5 % concentration of NaCl. Under the action of the indicated anti-icing material, a steady decrease in compressive strength is observed up to 45 cycles, and then the curve stabilizes. The resistance of cement concrete to the aggressive action of anti-icing materials is unstable. There are periods when the structure of concrete is sufficiently stable and periods in which its stability can significantly decrease. During the operation of such concrete, there is a danger of irreversible loss of strength due to the simultaneous action of anti-icing materials on the concrete, sign-changing temperatures and intense dynamic mechanical loads from the movement of vehicles. The*

generalization of research results indicates the possibility of increasing the corrosion resistance of concrete by applying a protective layer on its surface, which ensures the formation of a hydrophobic film and prevents the penetration of aggressive solutions into concrete. The impregnating composition penetrates shallowly, but to a sufficient depth to primarily contribute to increased strength. But, as a result of the effect of sign-changing temperatures, microdefects continue to accumulate inside the concrete structure, which ultimately lead to a decrease in its strength.

Ключові слова: хлоридні протиожеледні матеріали, мости, шляхопроводи, довговічність, корозія.

Key words: chloride anti-icing materials, bridges, overpasses, durability, corrosion.

Під довговічністю моста або його основних елементів (фундаменти, опори, прогонові будови, опорні частини, мостове полотно) розуміють період часу, протягом якого спорудження (елемент) може експлуатуватися в проектному режимі при нормальному утриманні без реконструкції або капітального ремонту [1]. На рис. 1 наведені терміни служби мостових конструкцій за різними критеріями.

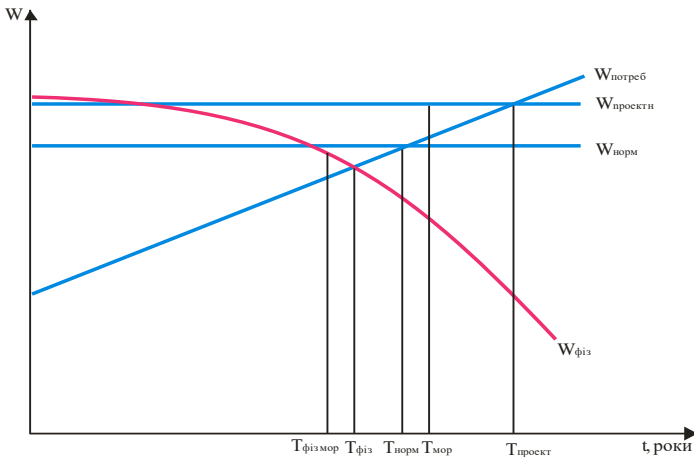


Рис. 1. Терміни служби мостових конструкцій за різними критеріями

$W$  – рівень споживчих властивостей;  $W_{\text{норм}}$  – нормативний;  $W_{\text{проектн}}$  – проектний;  $W_{\text{потреб}}$  – необхідний за умовами експлуатації;  $W_{\text{фіз}}$  – з урахуванням фізичного зносу;  $T_{\text{норм}}$  – нормативний термін служби;  $T_{\text{проект}}$  – проектний термін служби;  $T_{\text{мор}}$  – термін служби з урахуванням морального зносу;  $T_{\text{фіз}}$  – термін служби з урахуванням фізичного зносу;  $T_{\text{фізмор}}$  – термін служби з урахуванням і фізичного, і морального зносу

Вимоги до утримання автодоріг зобов'язують забезпечити безпеку на найбільш небезпечних ділянках доріг, у тому числі – на мостах і шляхопроводах. Виходячи з цього, дорожньо-експлуатаційні організації в першу чергу обробляють протижелезними матеріалами (ПОМ) ці споруди. І хоча на цементобетонних покриттях та мостових спорудах рекомендовано використовувати ПОМ на ацетатній і карбамідній основі, часто для ліквідації зимової слизькості споруди обробляються ПОМ на основі хлористих солей ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) [2, 3].

Дослідженнями доведено, що поряд із позитивними властивостями цих солей (плавка здатність, температура кристалізації тощо) виявляються і негативні по відношенню до металевих і бетонних елементів автомобільних доріг (мости, шляхопроводи, покриття) і навколишнього природного середовища (грунт, вода, повітря) [2].

І тут слід зазначити пряму залежність між інтенсивністю боротьби з ожеледдю та швидкістю і обсягами руйнування залізобетонних елементів штучних споруд. Так, якщо зима тепла, то кількість переходів температури через «нуль» протягом зими може становити кілька десятків разів і, як наслідок, ведеться інтенсивна боротьба з зимовою слизькістю і обсяг руйнувань, викликаних корозією залізобетону, різко зростає (рис. 2).



Рис. 2. Вплив зовнішньої дії хлоридів на процес руйнування цементобетону [4]

Аналіз результатів обстежень мостів дозволяє зробити висновок: основні причини появи пошкоджень мостів – корозія бетону та арматури внаслідок попадання води з проїзної частини і тротуарів в осінньо-зимовий період, оскільки вона містить в собі хімічні речовини, що застосовуються

при боротьбі із зимовою слизькістю, які викликають хлоридну корозію на додаток до карбонізації (рис. 3).

Спочатку відбувається насичення сіллю приповерхневого шару бетону. При повторних обробках ПОМ розчин проникає за рахунок капілярного всмоктування все глибше в товщу бетону.

Таким чином, можна зробити висновок, що до основних негативних факторів відносяться: хлоридна агресія, переміщення води, хімічна деградація, цикли заморожування-відтавання, низькі температури тощо.



Рис. 3. Стик між балками

На рисунку 4 наведені капілярні канали в зонах між колоїдними частинками новоутворення цементу. Аналізуючи результати виконаних досліджень (рис. 5), можна дійти висновку, що на поверхневий натяг істотно впливає концентрація розчинів хлоридів [5]. Зростання концентрації розчинів спочатку призводить до збільшення капілярного підняття рідини, а потім – до його зниження. За результатами досліджень можна зробити висновок, що найбільш небезпечною концентрацією є 5 % концентрація NaCl.

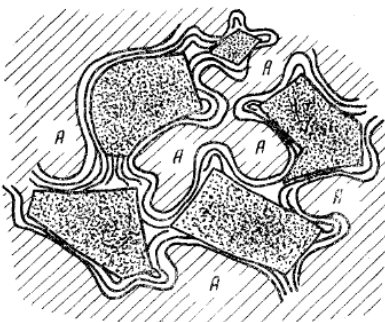


Рис. 4. Капілярні канали (А) в зонах між колоїдними частинками новоутворення цементу [5]

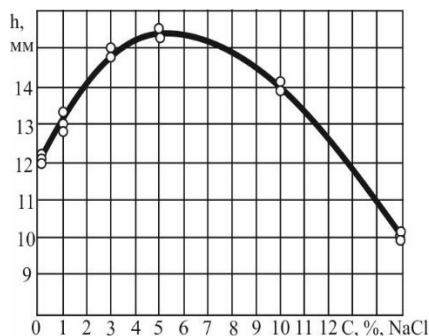


Рис. 5. Висота підняття рідини по капіляру

Новоутворення не мають в'язких властивостей і достатньої щільності, щоб запобігти проникненню агресивного середовища у бетонну конструкцію. Вони змиваються, розчиняються і оголюють більш глибокі шари бетону.

При контакті бетону з водними розчинами кислот утворюється бікарбонат кальцію, що легко розчиняється і поступово вимивається зі структури бетонного каменю. Цей процес посилюється внаслідок присутності в розчині NaCl.

Основну роль у руйнуванні цементного каменю за дії низьких температур відіграють пористість і вид капілярно-пористої структури бетону [6, 7].

На даний час процес заморожування бетону представляють наступним чином. При охолодженні поверхні насиченого водою бетону до температури нижче 0°C у зовнішньому шарі бетону вода у великих порах переходить в лід. В поступово охолоджуваному бетоні зона замерзання води поширюється все глибше. Однак у зовнішньому шарі не вся вода переходить у лід. У мікропорах вона тривалий час залишається в рідкому стані. Причиною цього є переохолодження і особливий стан води в тонкому шарі на поверхні пор і капілярів. Замерзання води у великих порах різко обмежує переміщення незамерзлої води в пористій структурі бетону. При подальшому зниженні температури, коли починає замерзати вода в мікропорах і обсяг води збільшується, переміщення її у великі пори, заповнені льодом, обмежена. Виникає внутрішній тиск, який в принципі може зруйнувати бетон [6, 7].

Руйнівна дія розчинів солей визначається їх здатністю взаємодіяти з водою з утворенням водневих (кислих) або гідроксидних (лужних) іонів. Агресивні властивості розчинів солей визначаються ступенем їх мінералізації, кількістю розчинених речовин (неорганічні солі, органічні речовини), що містяться у воді. Утворені при таненні снігу та льоду сольові розчини різної концентрації проникають у пори і капіляри бетону і при замерзанні руйнують його. При такій картині замерзання бетону руйнування його відбувається приблизно в 20-40 разів швидше, ніж у випадку заморожування бетону, насиченого водою.

Встановлено, що найбільшому корозійному впливу піддається цементний камінь, оскільки він є найактивнішим компонентом бетону і внаслідок цього схильний до руйнування у результаті хімічного та фізичного впливу агресивного середовища. Стійкість бетонів у

протиожеледних середовищах оцінювали за показниками міцності на стиск, згин та розтяг після відповідної кількості циклів заморожування-відтавання у питній воді, розчинах солей, у порівнянні з показниками міцності зразків до початку випробувань на 28 добу твердіння. Зразки протягом 48 годин насичувалися при  $18\pm 2^\circ\text{C}$  у 5% розчині NaCl. Водопоглинання бетону визначали за результатами випробувань трьох зразків, згідно з ДСТУ Б.В.2.7-42. Для визначення поглинання зразки зважували кожні 15 хвилин, протягом першої години насичення, далі – щогодини протягом 7 годин, далі – через 24 години та 48 годин на терезах з похибкою не більше 0,1%. Поглинання зразків протягом 48 годин наведено на рис. 6.

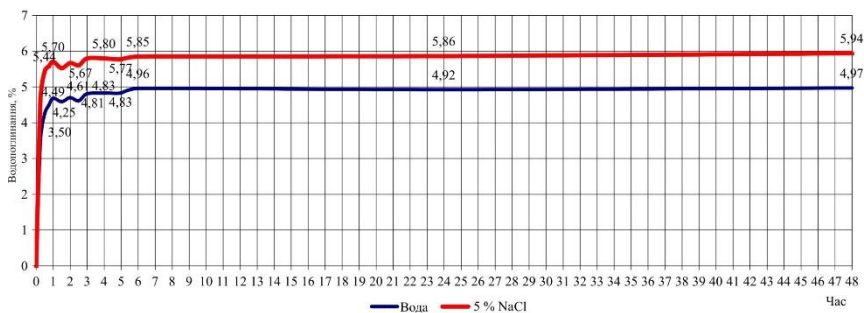


Рис. 6. Поглинання зразків протягом 48 годин

Після насичення зразків морозостійкість бетону визначали згідно з ДСТУ Б. В. 2.7-47 у таких режимах: заморожування зразків бетону проводили при температурі мінус ( $18\pm 2^\circ\text{C}$ ) протягом 1,5 години, відтавання – при  $+20^\circ\text{C}$  протягом 1,5 години.

Аналіз результатів досліджень дозволяє констатувати таке. Міцність бетону на розтяг при згині змінюється за лінійною залежністю, на ній є яскраво виражений мінімум в області 30 циклів заморожування-відтавання у 5% розчині NaCl (рис. 7).

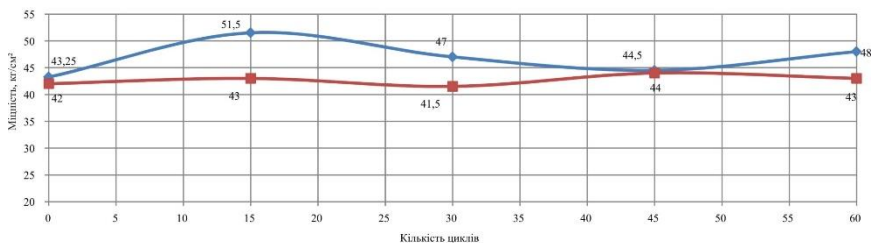


Рис. 7. Міцність цементобетону на розтяг при згині

На кривій міцності при згині є один неявно виражений максимум в області 45 циклів заморожування-відтавання. Після проходження цього максимуму зміна міцності бетону не спостерігається, що особливо помітно по характеру кривої міцності при стиску (рис. 8). При дії вказаного протижелезного матеріалу спостерігається неухильне зниження міцності при стиску до 45 циклу, а потім – стабілізація кривої. Стабілізацію міцності можна пояснити ущільненням мікроструктури бетону та заростанням мікрodefektів за рахунок вищеописаного механізму. Запізнення ефекту самозаліковування може бути викликано підвищенням розчинності силікатних мінералів клінкеру у присутності хлориду натрію. Це веде до утворення більшої кількості тоберморитового гелю.

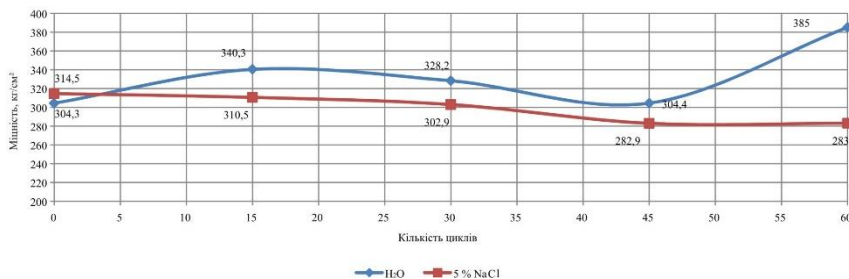


Рис. 8. Міцність цементобетону при стиску

Перший максимум викликаний гідратацією цементу, яка відбувається по топохімічному механізму. Мінімум можна пояснити накопиченням мікрodefektів у структурі бетону, а подальший максимум – їх «залікуванням».

Узагальнення результатів досліджень свідчить про можливість підвищення корозійної стійкості бетону нанесенням на його поверхню захисного шару, який забезпечує утворення плівки, яка має гідрофобні властивості та попереджує проникнення розчинів ПОМ у бетон. Міцність зразків бетону після обробки спочатку не змінюється, що можна пояснити гідрофобізацією поверхні. Бетон знаходиться ніби в захисній «обоймі». Просочуючий склад проникає неглибоко, але на достатню глибину, щоб в першу чергу сприяти підвищенню міцності. Але, в результаті дії знакозмінних температур, усередині структури бетону продовжують нагромаджуватися мікродфекти, що призводять, зрештою, до зниження його міцності.

Опір цементного бетону, призначеного для будівництва штучних споруд, агресивній дії протижеледних хлоридомістких матеріалів є нестабільним. Існують періоди, коли структура бетону є достатньо стійкою і періоди, в які її стійкість може суттєво знижуватись. У процесі експлуатації таких бетонів існує небезпека незворотньої втрати міцності за спільної дії на бетон протижеледних матеріалів, знакозмінних температур та інтенсивних динамічних механічних навантажень від руху транспортних засобів.

### **References**

1. Bilchenko A.V. Dovichichnist zalizobetonnykh konstrukttsii ye osnovoiu zhyttievoho tsykladu mostovykh sporud/ A.V.Bilchenko, O.H. Kislov, O.V. Synkovska, A.V. Ihnatenko // Naukovyi visnyk budivnytstva t. 94.- № 4, Kharkiv.- 2018. - S. 140-144.
2. DSTU 8853:2019 Materialy protyozheledni dlia avtomobilnykh dorih. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2020-07- 01]. Vyd. ofits. Kyiv : Ukrainskyi naukovodoslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti, 2019. 13 s.
3. R V.2.3-218-02071168-690:2007 Rekomendatsii z tekhnolohii vykorystannia protyozhelednykh materialiv pry utrymanni mostovykh sporud ta tsementobetonnykh pokryttiv. [Chynnyi vid 2007-09-05]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy, 2007. 8 s.
4. Zakhyst betonnykh i zalizobetonnykh konstrukttsii vid korozii. URL: <http://farbateka.com.ua/specialni-materiali/inshi-pokryttja/zahist-betonnih-i-zalizobetonnih-konstrukcij-vid.html> (data zvernennia: 11.04.2023).
5. Pluhin A.A., Pluhin A.M., Kahanovskyi O.S., Hradoboiev O.V. Koloidna khimiiia ta fizyko-khimichna mekhanika yak osnova vyrobnytstva resursozberihaiuchykh mineralnykh viazhuchykh rechovyn ta vysokoefektyvnykh kompozytsiinykh materialiv



na yikh osnovi. URL: [https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tit\\_1\\_138.pdf](https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tit_1_138.pdf) (data zvernennia: 11.04.2023).

6. Chekhov A. P. Zakhyst budivelnykh konstruktсии vid korozii / A. P. Chekhov, V. M. Hlushchenko. – K. : Vyshcha shkola, 1994. – 213 s.

7. Hidrofobni betony z pokrashchenymy pokaznykamy mitsnosti, vodonepronyknosti ta morozostiikosti / T. Mazurak // Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii : Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. – 2014. – № 15. – S. 94-100. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau\\_2014\\_15\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau_2014_15_18) (data zvernennia: 11.04.2023).

### **Література**

1. 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.

2. ДСТУ 8853:2019 Матеріали протижезедні для автомобільних доріг. Технічні умови. [Чинний від 2020-07- 01]. Вид. офіц. Київ : Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості, 2019. 13 с.

3. Р В.2.3-218-02071168-690:2007 Рекомендації з технології використання протижезедних матеріалів при утриманні мостових споруд та цементобетонних покриттів. [Чинний від 2007-09-05]. Вид. офіц. Київ : Державна служба автомобільних доріг України, 2007. 8 с.

4. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. URL: <http://farbateka.com.ua/specialni-materiali/inshi-pokrittja/zahist-betonnih-i-zalibeton-nih-konstrukcij-vid.html> (дата звернення: 11.04.2023).

5. Плугін А.А., Плугін А.М., Кагановський О.С., Градобоев О.В. Колоїдна хімія та фізико-хімічна механіка як основа виробництва ресурсозберігаючих мінеральних в'язучих речовин та високоефективних композиційних матеріалів на їх основі. URL: [https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tit\\_1\\_138.pdf](https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/tit_1_138.pdf) (дата звернення: 11.04.2023).

6. Чехов А. П. Захист будівельних конструкцій від корозії / А. П. Чехов, В. М. Глушенко. – К. : Вища школа, 1994. – 213 с.

7. Гідрофобні бетони з покращеними показниками міцності, водонепроникності та морозостійкості / Т. Мазурак // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2014. – № 15. – С. 94-100. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau\\_2014\\_15\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau_2014_15_18) (дата звернення: 11.04.2023).