

**ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІАГНОСТИКИ  
КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ МОСТОВИХ  
СПОРУД**

**ENGINEERING AND TECHNICAL PROVISION OF CORROSION  
DIAGNOSTICS DURING THE RECONSTRUCTION OF BRIDGE  
STRUCTURES**

**Онищенко А. М. д.т.н., проф., Гібаленко О.М., д.т.н., проф.,  
Чиженко Н.П., к.т.н., Карнаков І.А., асп. (Національний транспортний  
університет)**

**Onyshchenko A. M., Doctor of Technical Science, Professor,  
Gibalenko O.M., Doctor of Technical Science, Professor, Chyzhenko N.P.,  
Ph.D. in Engineering, Karnakov I. A., postgraduate (National Transport  
University)**

*Діагностика технічного стану металоконструкції мостових споруд, експлуатація яких відбувається у корозійно-агресивних середовищах промислових підприємств, обумовлює необхідність розвитку методичного підходу, який забезпечує комплексний облік параметрів дійсного стану споруд і факторів режиму експлуатації. Структурний опис процесу діагностики стану будівель за критерієм забезпечення заходів первинного та вторинного захисту від корозії дозволяє здійснити виконання програми реконструкції на основі технічного моніторингу.*

*Diagnostics of the technical state of metal structures of bridge structures, the operation of which takes place in corrosive and aggressive environments of industrial enterprises, necessitates the development of a methodical approach that provides a comprehensive account of the parameters of the actual state of the structures and factors of the operating mode. The structural description of the process of diagnosing the condition of buildings based on the criterion of providing measures of primary and secondary protection against corrosion allows the implementation of the reconstruction program based on technical monitoring. Diagnosing the technical condition of metal structures requires taking into account the influence of various operational and production factors to determine the actual condition and predict the service life. The specifics of the implementation of the program of technical diagnostics of the corrosion state is that bridge structures in general and their separate parts are considered in a state of dynamic equilibrium, and the main signs of the danger of an emergency are the appearance of deformation of the structure or its structures. At the same time, the object can be characterized by many states that require a detailed description and account of their interaction. The main task of the research is the description of the inspection procedure and then determine the current state of the bridge structure.*

*The developed approach determines the sequence of measures to extend the residual resource using the probabilistic-physical method of reliability analysis, which includes the quantitative assessment of reliability indicators based on the results of expert diagnostics and the results of physicochemical and mathematical modeling of corrosion destruction during accelerated and bench tests. Determining the remaining resource and making a decision on the further operation of the object is carried out by the established patterns of changes in parameters obtained during the analysis of the mechanisms of damage development and based on the results of the determination of functional indicators.*

*Ключові слова: мостові споруди, металоконструкції, корозійне зношування, первинний і вторинний захист від корозії, діагностика, технічний стан, реконструкція.*

*Keywords: bridge structures, metal structures, corrosion wear, primary and secondary protection against corrosion, diagnostics, technical condition, reconstruction.*

Вирішення завдань, пов'язаних із організацією системи оцінки технічного стану металоконструкцій мостів, становить основу технічної діагностики, спрямованої на забезпечення виконання робіт з ремонту та посилення металоконструкцій, виходячи з вимог забезпечення їх міцності, жорсткості та стійкості [1]. Оцінка експлуатаційної надійності будівель і споруд загалом, і навіть окремих конструктивів, вузлів і елементів з вимог використання загальних принципів технічної діагностики, здійснюється шляхом реалізації програми моніторингу технічного стану. Найважливішою умовою виконання робіт є організація системного обстеження, оцінка стану первинного та вторинного захисту від корозії; проведення прискорених корозійних випробувань зразків протикорозійних матеріалів, моделей та елементів конструкцій; виконання лабораторних і стендових випробувань систем лакофарбових покриттів; визначення необхідних характеристик міцності, параметрів жорсткості, стійкості як окремих конструкцій, так і споруд в цілому [2].

**Постановка проблеми.** Для виконання моніторингу технічного стану мостових споруд у процесі їх зведення, реконструкції, ремонту та експлуатації необхідно виконати сукупність цілеспрямованих дій при виконанні технічної діагностики з використанням неруйнівних методів контролю, заснованих на новітніх досягненнях науки та техніки [3]. Питання діагностики технічного стану металоконструкцій вимагають урахування впливу різних експлуатаційно-виробничих факторів для визначення дійсного стану та прогнозування терміну служби [4, 5].

**Проблеми, відображені у дослідженні.** Специфіка виконання програми робіт із технічної діагностики корозійного стану полягає в тому, що мостові споруди загалом та їх окремі частини розглядаються у стані динамічної рівноваги, а основними ознаками небезпеки виникнення аварійної ситуації є поява деформації споруди або її окремих конструкцій.

При цьому об'єкт може характеризуватись безліччю станів, що потребують детального опису та обліку їхньої взаємодії.

**Ціль публікації.** Основним завданням дослідження є опис процедури перевірки, визначення стану, в якому споруди моста знаходиться в даний час. З цією метою розглянуті методи реалізації перевірки – програмний і апаратний. Засобами реалізації програмного методу перевірки виступають робочі експертні процедури та спеціально створені тестові прийоми. Апаратний спосіб полягає у використанні для діагностики вбудованих, стаціонарних чи зовнішніх, мобільних технічних засобів. У практиці діагностики технічного стану застосовуються обидва способи спільно, тому що результат впливів за заданою програмою не може бути замінений використанням апаратного або приладового забезпечення.

Справжній стан споруди моста представляється структурною схемою, яка визначає стан у кожний момент часу  $t$  значеннями вхідних -  $X_i$ , внутрішніх -  $Y_i$  та вихідних -  $Z_i$  координат, при цьому вхідні та внутрішні - змінні, а вихідні - функції. Графічне представлення процесу діагностики під час виконання процедури моніторингу корозійного стану представлено на рис 1.

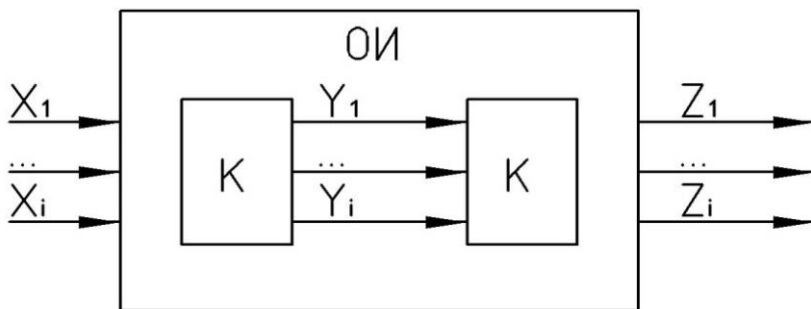


Рис. 1. Схема процесу діагностики корозійного стану мостової споруди

Умовний розподіл об'єкта дослідження (ОИ) на компоненти пов'язаний з низкою об'єктивних умов і суб'єктивних передумов. Як компоненти  $K$  вибираються конструкції, деталі, вузли, які складають окремі самостійні системи або елементи (покриття, перекриття, стінове огороження, каркас будівлі або інженерно-технологічне обладнання, оснащення тощо). Об'єкт контролю як логічна система може бути заданий графічно, аналітично, таблично, фізичною моделлю або іншою віртуальною формою, зручною для обробки методами комп'ютерно-інженерної технології.

Незалежно від форми компонента  $K$  повинні бути визначені вихідні дані та внутрішні вхідні стани. Побудова програми перевірки вимагає аналізу структури об'єкта дослідження як у справному, так і у несправному

станах первинного і вторинного захисту від корозії. Формалізація процесу аналізу обумовлює необхідність опису можливих дефектів, пошкоджень, недосконалостей об'єкта, отриманих у результаті експлуатації або на стадіях проектування та виготовлення, які, у свою чергу, визначаються несправностями складових елементів.

Аналіз структурної схеми за наявності несправностей спрощується, якщо заздалегідь відомі функції, що реалізуються компонентами з несправностями. Для визначення цих функцій у справний компонент навмисно вводиться несправність. Введення та визначення вхідних функцій несправних компонентів відбувається шляхом перерахування можливих несправностей (дефекти та пошкодження захисних покриттів, зміна геометричних характеристик у результаті корозійного зносу, фактори агресивності середовища, значення корозійної стійкості конструктивної форми та матеріалу) або визначення логічних несправностей компонента (деформація огорожувальних та осадових явищ – деформації несучих конструкцій, збільшення технологічного навантаження тощо).

Умовно, об'єкт описується станом з  $L$  компонентів. Якщо  $S_i$  - число можливих поодиноких несправностей  $j$ -го компонента, то загальна кількість  $M$  - можливих несправностей об'єкта контролю буде:

- при поодиноких несправностях (один несправний компонент має одну несправність):

$$M1 = \sum_{j=1}^L S_j \quad (1)$$

- при поодиноких несправностях компонентів та кратних несправностях об'єкта (один або кілька несправних компонентів мають по одній несправності):

$$M2 = \prod_{i=1}^L (1 + S_j) - 1 \quad (2)$$

- при кратних несправностях компонента та кратних несправностях об'єкта (один несправний компонент має одну несправність):

$$M3 = 2^{M1} - 1 \quad (3)$$

Якщо відома технологічна функція, що реалізується справним об'єктом, визначені можливі несправності об'єкта і реалізовані при цьому функції, а також спосіб проведення діагностики стану первинного та вторинного захисту від корозії, то складається таблиця функцій

несправностей, при цьому приймаються наступні умовні позначення (таблиця 1).

Таблиця 1

Функції несправностей			
R	E		
	f <sub>0</sub>	f <sub>i</sub>	f <sub>M</sub>
t <sub>1</sub>	r <sub>01</sub>	r <sub>j1</sub>	r <sub>M1</sub>
...	...	...	...
t <sub>j</sub>	r <sub>0j</sub>	r <sub>ij</sub>	r <sub>Mj</sub>
t(T)	r <sub>0(T)</sub>	r <sub>1(T)</sub>	r <sub>M(T)</sub>

де: E - безліч функцій, що реалізуються всіма справними та несправними об'єктами;

f<sub>0</sub>, f<sub>i</sub> - функція реалізована справним і несправним об'єктом ;

f<sub>M</sub> - Функція реалізована об'єктом з M несправностями;

R – множина результатів окремих досліджень об'єктів;

T – безліч, у якому задана функція, реалізована справним об'єктом;

t<sub>j(T)</sub> - окремі дослідження (експерименти) на об'єкті;

r<sub>ij(R)</sub> - результати експериментів.

При розбитті множини E на непересічні та непусті підмножини, можна виділити три характерні групи:

- число підмножин дорівнює двом при цьому одне з них містить єдиний елемент - справний об'єкт, а друге - всі і - несправні об'єкти. Така умова відповідає процедурі перевірки працездатного стану об'єкта;

- число множин на одне більше числа компонентів структури об'єкта, при цьому одна множина містить справний об'єкт, а в будь-яке з інших входять тільки ті - несправні об'єкти, яким відповідають несправності одного, зіставленому даному безлічі компонента.

- число підмножин дорівнює числу елементів множини E.

Таке структурне подання діагностики стану заходів щодо первинного та вторинного захисту металоконструкцій мостових споруд від корозії відповідає умовам локалізації з деталізацією щодо кожної певної несправності. Слід зазначити, що з діагностики, зазвичай, виходять із вирішення приватних завдань визначення стану окремих конструкцій та її наближення до граничного, не враховуючи впливу тих чи інших несправностей і технічного об'єкта загалом.

Аналіз даних за результатами технічного діагностування стану металоконструкцій кранової естакади виробничої ділянки металургійного заводу (рис.2.) в умовах агресивних впливів дозволив зробити висновок, що виявлені недосконалості первинного та вторинного захисту (рис. 3),

інтенсивний розвиток корозійних процесів (рис. 4) обумовлено невідповідністю технологічних параметрів, навантаженості об'єкта умовам експлуатації та системи технічного обслуговування.

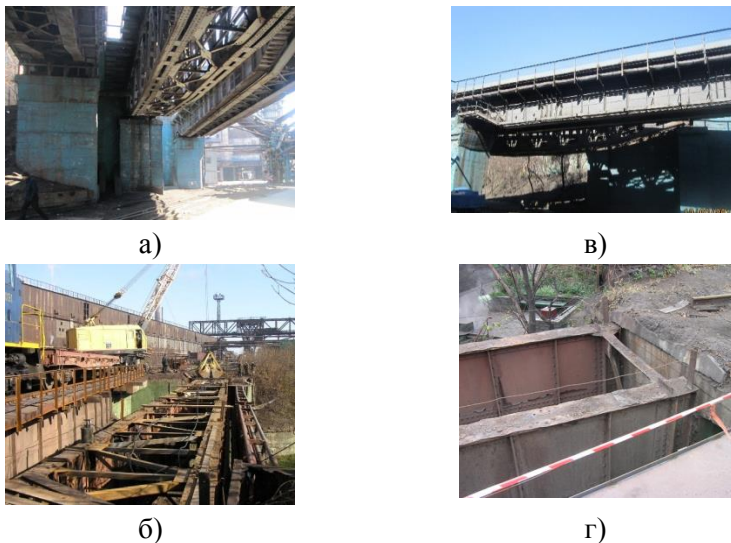


Рис. 2. Корозійний стан несучих конструкцій моста під час виконання реконструкції прогонової споруди: а) загальний вигляд моста; б) монтажні роботи при реконструкції; в) боковий вигляд споруди; г) руйнування підкранових конструкцій

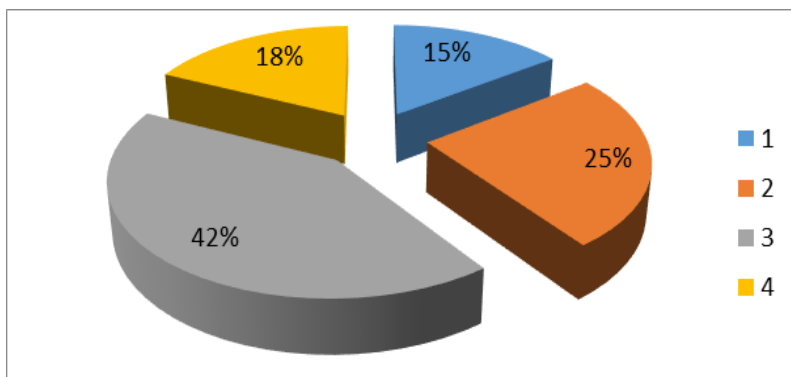


Рис.3. Виявлені недосконалості конструкцій за критерієм первинного захисту: 1 - утворення застійних зон і місць скупчення вологісно-пилкових виділень; 2 - нераціональне вузлове з'єднання елементів колон

При експертному діагностуванні корозійного стану конструкцій не завжди однозначно вдається визначити всі фактори, що впливають на перебіг технологічних процесів та оцінити характер їх впливу на якість експлуатації об'єкта, що викликає необхідність створення єдиної методики аудиту металоконструкцій [6].

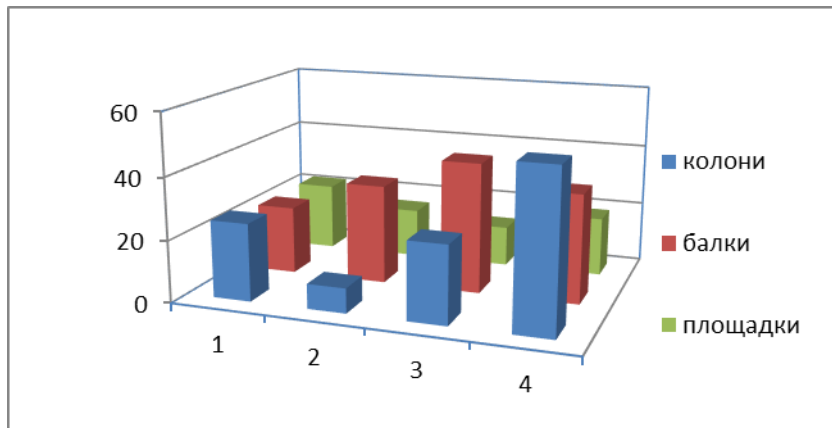


Рис. 4. Кількісні характеристики несправностей (у %):

- 1 – втрата перерізу основних елементів конструкцій,
- 2 – руйнування болтових з'єднань та руйнування зварних швів;
- 3 – втрата стійкості при зміні геометричних характеристик;
- 4 – руйнування лакофарбового покриття

**Висновки.** Найважливішою умовою реалізації програми діагностики технічного стану споруд мостів, а також їх окремих конструктивних елементів є організація їх системного обстеження, лабораторного та натурного випробування матеріалів, визначення характеристик міцності, параметрів жорсткості та стійкості як окремих конструкцій, так і споруди в цілому.

Розроблений підхід визначає послідовність заходів продовження залишкового ресурсу з використанням імовірно-фізичного методу аналізу надійності, що включає кількісну оцінку показників надійності на основі результатів експертного діагностування та результати фізико-хімічного та математичного моделювання корозійного руйнування при прискорених і стендових випробуваннях. Визначення залишкового ресурсу та прийняття рішення про подальшу експлуатацію об'єкта здійснюється згідно зі встановленими закономірностями зміни параметрів, отриманими при аналізі механізмів розвитку пошкоджень, і за результатами визначення функціональних показників.

### **References**

1. DBN V.1.2-9-2008. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Osnovni vymohy do budivel ta sporud. Bezpeka ekspluatatsii. – Minrehion Ukrainy. 21 s.
2. DBN V.1.2-14-2008 RNBB. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia bezpeky nadiinosti ta konstruktivnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnykh konstruktsii ta osnov. – Minrehion Ukrainy. 43s.
3. ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation Number of pages: 15.
4. Gibalenko A. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A Gibalenko, V Korolov, J Filatov // AKTUALNE PROBLEMY KONSTRUKCJI METALOWYCH. 2014, Gdańsk Poland. P. 98-102.
5. Estimation of steel structure corrosion risk level / V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov // Eurocorr-2010. The European Corrosion Congress (13.09-17.09.2010) / From the Earth`s Depths to Space Heights. – Moscow, 2010. Book of Abstracts. 534 p.
6. American Rust Standard Guide. New York: American Institute for Steel Classification. American rust standard guide. New York: American Institute for Steel Classification, c. 1968 (OCoLC)746104088, Media Type: Book. Publisher: American Institute for Steel Classification. Publish Date: 31/12/2002. Code ID: 24016. Pages: 12.

### **Список використаної літератури**

1. ДБН В.1.2-9-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель та споруд. Безпека експлуатації. – Мінрегіон України. 21 с.
2. ДБН В.1.2-14-2008 РНББ. Загальні принципи забезпечення\_безпеки надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Мінрегіон України. 43с.
3. ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation Number of pages: 15.
4. Gibalenko A. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A Gibalenko, V Korolov, J Filatov // AKTUALNE PROBLEMY KONSTRUKCJI METALOWYCH. 2014, Gdańsk Poland. P. 98-102.
5. Estimation of steel structure corrosion risk level / V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov // Eurocorr-2010. The European Corrosion Congress (13.09-17.09.2010) / From the Earth`s Depths to Space Heights. – Moscow, 2010. Book of Abstracts. 534 p.
6. American Rust Standard Guide. New York: American Institute for Steel Classification. American rust standard guide. New York: American Institute for Steel Classification, c. 1968 (OCoLC)746104088, Media Type: Book. Publisher: American Institute for Steel Classification. Publish Date: 31/12/2002. Code ID: 24016. Pages: 12.