

УДК 624.076.2

doi:10.31650/2707-3068-2023-27-52-58

ОЦІНКА КОРОЗІЙНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОРУД ЗА ФАКТИЧНИМ СТАНОМ

Гібаленко О.М., д.т.н., професор,
grin196102@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2979-5225
ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М.Шимановського». м. Київ

Чиженко Н.П., к.т.н., доцент,
chyzhenko_np@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9152 2474,
Національний транспортний університет, м. Київ

Мельник Г.О., аспірант
melnikpstu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1084-5539
Приазовський державний технічний університет

Анотація. Робота включає результати досліджень з розширення функціональних можливостей застосування комбінованих конструкцій у будівництві, підвищення архітектурної виразності будівель і споруд. Дослідження визначають необхідність удосконалення вимог щодо забезпечення якості та надійності засобів і методів протикорозійного захисту. В даний час розвиток розрахункових методів оцінки надійності та конструктивної безпеки пов'язаний з побудовою інформаційно-аналітичних баз даних визначальних параметрів корозійного стану будівельних металоконструкцій. Таким чином створюється основа для постановки та реалізації завдань управління експлуатаційним терміном служби будівель та споруд у корозійних середовищах шляхом підвищення якості та надійності заходів первинного та вторинного захисту металоконструкцій з урахуванням рівня корозійної небезпеки. Встановлено взаємозв'язок між значеннями показників корозійної стійкості та довговічності металоконструкцій.

Ключові слова: металеві конструкції; живучість; процесний підхід; забезпечення надійності; рівень корозійної небезпеки

Вступ. При використанні принципів процесного підходу здійснюється постановки та реалізації завдання управління експлуатаційним терміном служби у корозійних середовищах. Принципи забезпечення надійності за рівнем корозійної небезпеки включають обґрунтування послідовності етапів для оцінки живучості будівельних металоконструкцій на основі принципів робастного проектування, вдосконалення та контролю заходів первинного та вторинного захисту від корозії. [1].

Аналіз стану проблеми забезпечення якості та надійності заходів первинного та вторинного захисту металоконструкцій свідчить про можливість продовження ресурсу конструкцій за рахунок комбінованого використання елементів зі сталі та полімерів, що обумовлюється підвищеною корозійною стійкістю відповідних матеріалів з одночасним раціональним конструюванням, розробкою та використанням виразних архітектурних форм та об'ємно-планувальних рішень [2–3]. Вивчення корозійної стійкості матеріалів і елементів структурних блоків, захисного протикорозійного покриття з урахуванням найбільш несприятливого поєднання впливів розглянуті в роботах [4–6]. Однак обмежений склад визначальних параметрів не дозволяє проводити забезпечення заходів захисту від корозії за критерієм корозійної небезпеки при дотриманні вимоги надійності будівельних металоконструкцій на основі розрахункових положень методу граничних станів і вирішувати завдання по управління технологічною безпекою протягом встановленого терміну служби будівельних об'єктів [7]. Особливим аспектом проблеми корозійно-механічного руйнування є зниження металоємності, підвищенні надійності та довговічності, збільшенні ресурсу при експлуатації в умовах несприятливих впливів зовнішніх середовищ за рахунок зниження рівня корозійної небезпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження спрямовані на забезпечення можливості продовження ресурсу конструкцій за рахунок комбінованого використання елементів зі сталі та полімерів, що обумовлюється підвищеною корозійною стійкістю відповідних матеріалів з одночасним раціональним конструюванням, розробкою та використанням виразних архітектурних форм і об'ємно-планувальних рішень [7 - 8]. В даний час у будівельній галузі спостерігається певне зростання застосування комбінованих конструкцій, в яких огорожувальні елементи виконані їх конструкційних пластиків і пластмас, що з успіхом замінили матеріали з полістиролу. Як показує практика використання профілів-металопластів у практиці дизайну, проектування, виготовлення та експлуатації конструкцій створює передумови впровадження виразних архітектурних рішень з урахуванням функціонального призначення споруд при одночасному зниженні металоємності, підвищення надійності та довговічності, збільшенні ресурсу при експлуатації в умовах несприятливих впливів зовнішніх середовищ за рахунок зниження рівня корозійної небезпеки. Використання умов надійності та конструктивної раціональності досягається шляхом забезпечення технологічної безпеки з урахуванням методології загального управління якістю [9]. Значний рівень зносу при збільшенні часу знаходження у несприятливих умовах є загрозами зниження якості будівель і споруд, що тягне за собою підвищення вимог до поліпшення експлуатаційних властивостей конструкцій, що втрачають якість [9-10].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Дослідження корозійної стійкості матеріалів і елементів конструкцій, захисного протикорозійного покриття з урахуванням найбільш несприятливого поєднання впливів були розглянуті відповідно методичного підходу з обґрунтування складу і структури параметрів корозійної стійкості конструкцій для управління технологічною безпекою шляхом зниження ризиків. Це свідчить про можливість продовження ресурсу конструкцій за рахунок комбінованого використання елементів зі сталі та полімерів, що обумовлюється підвищеною корозійною стійкістю відповідних матеріалів з одночасним раціональним конструюванням, розробкою та використанням виразних архітектурних форм і об'ємно-планувальних рішень [11-13].

Постановка завдання. Дослідження спрямовані на забезпечення якості та надійності заходів первинного та вторинного захисту металлоконструкцій, вдосконалення конструктивних рішень, розширення області застосування сталевих перехресно-стрижневих систем елементів металевих конструкцій на підставі розрахунково-експериментальної оцінки показників корозійної стійкості та довговічності відповідних матеріалів з одночасним раціональним конструюванням, розробкою та використанням виразних архітектурних форм та об'ємно-планувальних рішень.

Основний матеріал і результати. Визначення проектних показників довговічності комбінованих конструкцій засноване на розробленій методиці обліку коефіцієнтів надійності та готовності протикорозійного захисту встановлених за результатами експериментальних досліджень визначальних показників корозійної стійкості первинного та вторинного захисту при визначальних (прискорених або стендових) випробуваннях фрагментів-зразків з захисними покриттями згідно з класифікаційними ознаками корозійних середовищ [14 - 15].

Метою виконуваних визначальних випробувань є визначення коефіцієнта готовності металлоконструкцій та їх захисних покриттів. Коефіцієнт готовності сталевих конструкцій (K_g) є комплексним показником ремонтпридатності, що характеризує параметри конструктивних і технологічних заходів первинного та вторинного захисту:

$$K_g = \frac{T_{k\gamma} + T_{z\gamma}}{T_{k\gamma} + nT_{z\gamma}}; \quad (1)$$

де $T_{k\gamma}$ – термін служби (рік) сталевих комбінованих конструкцій за показником корозійної стійкості (первинний захист);

T_{zy} – розрахунковий термін служби (рік) захисних покриттів із довірчою ймовірністю $\gamma = 0,95$ за результатами прискорених випробувань; n - кількість ремонтних циклів відновлення протикорозійного захисту при встановленому терміні служби об'єкта.

Основний матеріал та результати. З метою вирішення завдання оцінки коефіцієнта готовності металоконструкцій та їх захисних покриттів на основі визначальних (прискорених, стендових і натурних) випробувань виконані дослідження, які спрямовані на вивчення режиму експлуатації та факторів, що визначають захисні властивості протикорозійних покриттів в агресивних середовищах. Це дозволило встановити основні причини, що порушують працездатність покриттів конструкцій:

- процеси сорбції та перенесення агресивного середовища та продуктів корозії через покриття;
- розтріскування покриття під впливом механічних навантажень і агресивного середовища;
- хімічна деструкція матеріалу покриття в агресивних середовищах;
- процеси адсорбції та підвищена вологість на межі метал-покриття, що порушують адгезію покриття до металу;
- процеси корозії металу під покриттям.

Враховуючи закономірності руйнування покриттів в агресивних середовищах [16 -17], термін служби захисних покриттів для встановлених критеріїв відмови виражається такими залежностями:

- для первинної системи захисту (T_3)

$$T_3 = t_n + t_3 + t_{om}, \quad (2)$$

- при відновленні захисних властивостей покриттів (T_n):

$$T_n = t_n + t_3, \quad (3)$$

де t_n - час проникнення агресивного середовища до металу, рік; t_3 - термін від моменту проникнення агресивного середовища на поверхню до початку корозії, рік.

Термін служби протикорозійної захисту при ремонтно-відновлювальних роботах визначається як проміжок часу, необхідний для досягнення відмови відновленої системи захисту:

$$T_n = b T_3, \quad (4)$$

де b - коефіцієнт зміни терміну служби відновленого покриття при ремонті.

Діагностика корозійного стану металізаційних покриттів та визначення терміну служби виконується за допомогою залежності:

$$T_m = \frac{a_m \cdot h_0 \cdot t_m}{K} 10^{-3}, \quad (5)$$

де a_m - ступінь руйнування існуючого металевого покриття; h_0 – проектна товщина покриття, мкм; t_m - середня відносна довговічність 1 мм металізаційного покриття, г/м²•мм.

Розрахунково-експериментальна оцінка показників довговічності захисних покриттів виконана на основі моделювання фізико-хімічних впливів у процесі прискорених випробувань зразків із замкнутих трубчастих профілів із захисними покриттями, призначеними для довготривалого захисту від корозії (рис. 1).

Вибір систем захисних покриттів включав аналіз показників технологічної раціональності протикорозійного захисту B_{oz} на прикладі виготовлення виготовленні збірно-розбірних трубчастих конструкцій. Розглянуто об'ємно-планувальні рішення конструкцій покриттів просторово-стрижневої системи (ПСС) з розрідженою схемою розташування тригранних, плоских ферм і додаткових елементів на прикладі конструктивного рішення конструкції багатоцільового призначення (рис. 2).

Таблиця 1. Результати випробувань систем протикорозійних покриттів

п/п	Схема конструктивного елемента (зразка)	Група засобів та методів захисту	Показник B_{oz}	Термін служби покриття T , років	Контрольний норматив K_p , г/м ²	γ_{zn}
	Гаряче цинкування	СКС3	3,7	50	45,3	0,90
	Електрохімічні покриття	СКС3	3,1	50	46,8	0,95
	Електрохімічні покриття + ЛКП	СКС4	2,5	50	132,6	0,99
	Цинко-полімерні покриття	СКС4	4,3	50	156,0	0,99
	Порошкові покриття	СКС5	5,0	50	241,8	0,95

Основні несучі конструкції (ферми, прогони, шпренгель і розкоси) виконані зі стрижнів замкнутого круглого профілю, що в свою чергу підвищує корозійну стійкість конструктиву; передбачає підвищення рівня довговічності, зменшення металомісткості конструкції та утворення нових форм конструкцій. Зазначені принципи формоутворення пов'язані з використанням метало-пластикових профілів, полімерних панелей як огорожувальних конструкцій.

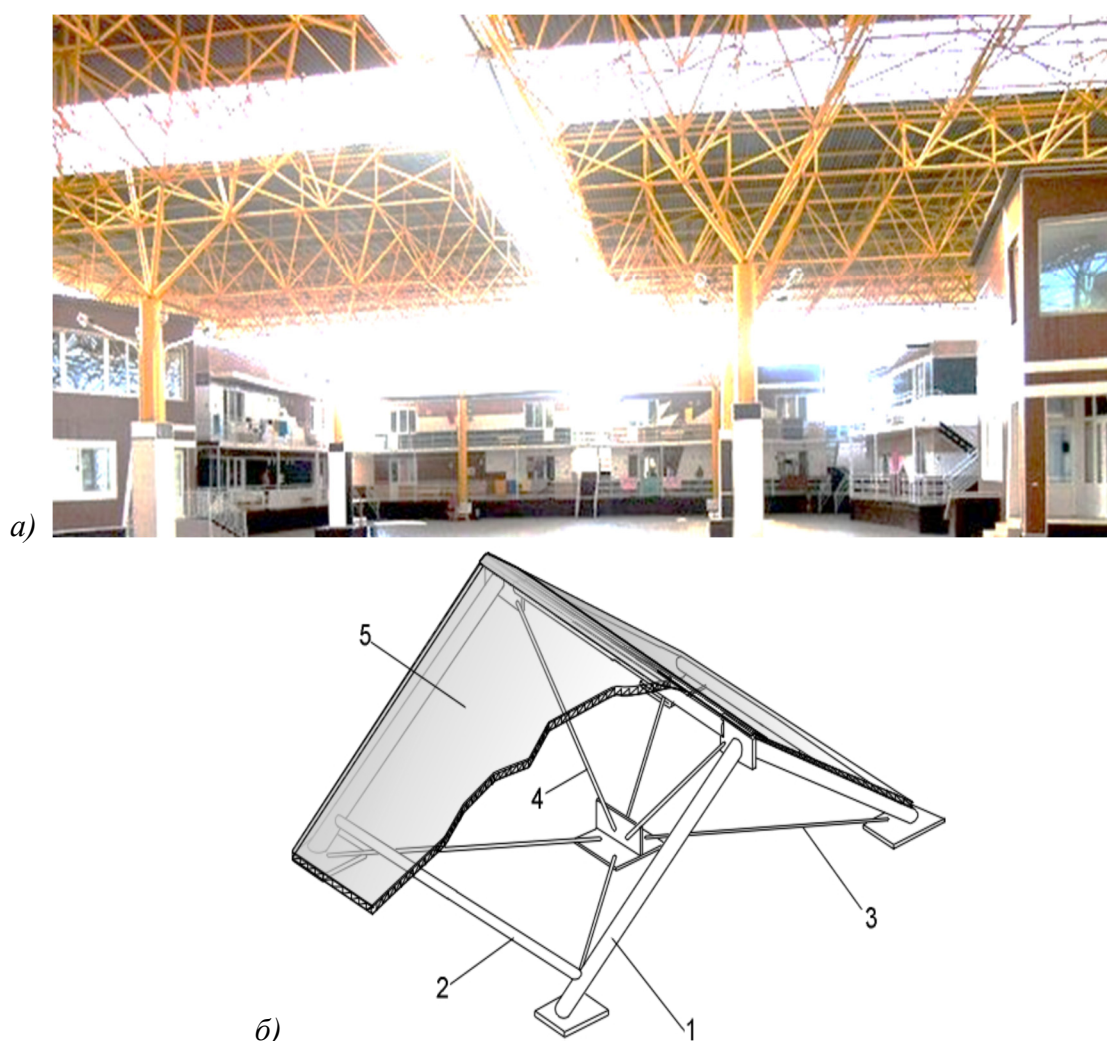


Рис. 3. Конструктивне рішення просторово-стрижневого комбінованих конструкцій:
 а) загальний вигляд споруди; б) просторовий блок покриття 1, 2 – несучі елементи (металеві замкнуті профілі), 3 – затяжка, 4 – розкіс, 5 – обшивка із стільникового полікарбонату

Висновки. Зазначені принципи формоутворення пов'язані з використанням метало-пластикових профілів, полімерних панелей як огорожувальних конструкцій. Запропоновані рішення забезпечують зниження показників концентрації металу, що при розвиненій поверхні конструктивних елементів визначає необхідність розробки ефективних заходів щодо забезпечення гарантованої довговічності конструкційних пластиків.

Практичні рішення, за результатами прогнозування технічного стану конструкцій (коефіцієнт технологічної безпеки $\gamma_{sr} > 0$), спрямовані на реалізацію запобіжних заходів для забезпечення працездатності конструкцій. Стратегічні рішення при експлуатації об'єктів приймаються при розслідуванні причин аварійних ситуацій та катастроф (коефіцієнт $\gamma_{sr} \leq 0$), викликаних створенням або не створенням умов реалізації запобіжних заходів.

Література

1. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / Цільова комплексна програма НАН України. Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2013 – 2015 рр. Наук. керівник – академік Б.Є. Патон. К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, 2015. 816 с.
2. Шимановський О.В. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій / Шимановський О.В., Корольов В.П. // Промислове будівництво та інженерні споруди, №1, 2008, с. 4-9.
3. Cai, Y., Zhao, Y., Ma, X., Zhou, K., Chen, Y. (2018). Influence of environmental factors on atmospheric corrosion in dynamic environment. *Corrosion Science*, 137, 163–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.03.042>.
4. Gibalenko, A. N. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A. N. Gibalenko, V. Korolov, J. Filatov // Aktualnie problemy konstrukcji metalowych : Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11-28.11.2014). – Gdansk : University of Technology. – 2014. – P. 98–102.
5. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation. 15. ISO 9223:2012.
6. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2014). Corrosion protection of metal structures. Design requirements. 74. B.2.6-193:2013.
7. Korolev V.P., Filatov U.V., Selutin U.V. (2014). Development of corporate management system: technological safety of production facilities. Coll. Sciences. works of Ukrinstalkon them. V.M. Shimanovsky. Publishing house Stal. 14. 136 – 149.
8. Thoft-Christensen, P. (2011). Risk Analysis in Civil Engineering. Aalborg: Dept. of Building Technology and Structural Engineering. Structural Reliability Theory, No. 224, Vol.. R0163.
9. 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.
10. Bingen, Y. Stress, strain, and structural dynamics / Y. Bingen. – USA : Elsevier Academic Press, 2005. – 961 p.
11. 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.
12. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. Available at: <https://www.iso.org/standard/62085.html>
13. Ealey, L. A. (1994). Quality by Design: Taguchi Methods and U.S. Industry. ASI Press and Irwin Professional Publishing.
14. Korolov V. Design criteria of reliability and safety in the design of corrosion protection of structural steel / V. Korolov, Y. Vysotsky, Y. Filatov / EUROCORR-2014. The European Corrosion Congress «Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications». – Pisa, Book of Abstracts. 2014. 88 p.

15. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics Sixth edition / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor // Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 30 Corporate Drive, Burlington, MA 01803. 2005. 648 p.
16. Guedes Soares, C., Garbatov, Y., Zayed, A. and Wang, G. (2009). Influence of Environmental Factors on Corrosion of Ship Structures in Marine Atmosphere. Corrosion Science. 51, 2014-2026.
17. 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

THE DECREASE IN THE LEVEL OF CORROSION HAZARD IN THE RATIONAL DESIGN OF METAL STRUCTURES

Gibalenko O.M., D.Sc., Professor,
grin196102@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2979-5225
OJSC "V. Shimanovsky UkrRDSteelconstruction", Kyiv,
Chyzhenko N.P., PhD, Associate Professor,
chyzhenko_np@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9152 2474,
National Transport University, Kyiv
Melnik G.O., postgraduate
melnikpstu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1084-5539
Azov State Technical University, Mariupol

Abstract. Expansion of functional possibilities of the use of combined designs in the construction, improvement of architectural expressiveness of buildings and structures determine the need for improved requirements to ensure the quality and reliability of means and methods of corrosion protection. Currently, the development of computational methods to assess the reliability and structural safety associated with the construction of information-analytical database key parameters of corrosion condition of metal construction. **Methodology.** This way creates the basis for setting and implementing management tasks operational life of buildings and structures in corrosive environments by improving the quality and reliability of primary and secondary protection of steel structures based on the level of corrosion hazard. **Results.** When using the principles of the process approach is the formulation and implementation of tasks of management of operational service life in corrosive environments. The principles of ensuring safety in terms of corrosion risk include the rationale for the sequence of steps to evaluate the survivability of building structures based on the principles of robust design, improvement and control measures the primary and secondary corrosion protection. **Scientific novelty.** The implementation of protection measures against corrosion according to the corrosion risk criterion helps to ensure the requirements of reliability of building structures in accordance with the design provisions of limit state method and to solve the problems of control of technological security for the rated life of construction projects. objects. **Practical significance.** The proposed generalized indicators of the actual structures' corrosion state determine the structure's operability as a whole. The functional dependencies between the operability of the main and auxiliary structures are established. The relationship between the values of corrosion resistance indicators and metal structures durability are determined. Actual technical condition control consists of checking that the values of these indicators are within acceptable limits. Taking into account the degree of operating environment aggressiveness is one of the determining factors in order to ensure the secondary protection effectiveness against corrosion. This procedure is the basis for the rational specifications appointment for anti-corrosion protection systems with subsequent display in the design and technological documentation.

Keywords: steel structures, monitoring, corrosion hazard, damage, actual condition.