

В.П. КОРОЛЁВ¹, И.В. КУЩЕНКО¹, Е.А. БОЧАРОВА¹

¹ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Россия

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Представлены основные положения научно-методического обоснования коррозионной защищенности стальных конструкций и сооружений. Проанализированы приоритеты совершенствования действующих норм, с учетом научных достижений и международных стандартов. Сформулированы задачи, призванные повысить конкурентоспособность и ресурсосбережение благодаря использованию эффективных мер защиты от коррозии.

Цель исследования – параметризация механизма технического регулирования качества, надежности и безопасности, согласование и применение материалов и технологий, процедур, услуг в сфере защиты от коррозии по требованиям цифрового потребителя. Предложена процессно-ориентированная методология, направленная на постоянное улучшение циклов развития и моделей рационального выбора систем противокоррозионной защиты конструкций. При этом коррозионная защищенность объектов стального строительства определена уровнем надежности и требуемыми параметрами технико-экономической защищенности. Структура управления определена положениями стандарта организации согласно нормам ISO 12944, СП 28.1330.2017 в части защиты стальных конструкций от коррозии.

Проанализированы уровни надежности конструкций и их защитных покрытий с учетом процедур оценки соответствия качества, мониторинга и риск-диагностики в интерпретации метода предельных состояний. Подтверждение соответствия параметров выполнено на основе пяти принципов DMAIC, связанных с определением, измерением, анализом, усовершенствованием и контролем технического состояния конструкций. Представлены примеры статистического оценивания репрезентативных выборок коррозионных воздействий, характеристических значений коррозионной стойкости и долговечности стальных конструкций и их защитных покрытий. Предложены методы функционального и временного резервирования коррозионной защищенности. Выполнены силовые испытания моделей стальных конструкций с коррозионными повреждениями.

Полученные результаты раскрывают неопределенность параметров коррозионного состояния и обеспечивают оценку живучести объектов стального строительства с учетом приемлемого риска. Предложения по параметрическому проектированию рекомендованы для цифровой трансформации системы технико-экономических регуляторов коррозионной защищенности.

Ключевые слова: стальные конструкции, надежность, предельные состояния, коррозионная защищенность, резервирование, живучесть, цифровая трансформация.

V.P. KOROLOV¹, I.V. KUSHCHENKO¹, E.A. BOCHAROVA¹

¹Priazovsky State Technical University, Mariupol, Russia

PARAMETERIZATION OF REQUIREMENTS OF CORROSION PROTECTABILITY OF STRUCTURAL STEEL

Abstract. Basic provisions are presented of scientific and methodological substantiation of corrosion protectability of steel structures and installations. Priorities have been analyzed of improving existing codes, taking into account scientific achievements and international standards. Tasks have been formulated for increasing competitiveness and resource saving through the use of effective measures of corrosion protection.

The study is aimed at parameterization of a mechanism of technical regulation of quality, reliability and safety, approval and application of materials and technologies, procedures, services in the field of corrosion protection at the request of a digital consumer. A process-oriented methodology is proposed aimed at a continuous improvement of development cycles and models of the rational choice of systems of corrosion protection of structures. With that, corrosion protection of structural steel is defined by the level of reliability and required parameters of technical and economic protection. The management structure is defined by the provisions of organization standard in accordance with ISO 12944, SP 28.1330.2017 with regard to corrosion protection of structural steel.

The levels have been analyzed of reliability of structures and their protective coatings, with account for the procedures for assessing compliance of quality, monitoring and risk diagnostics based on the limit states method. Parameter compliance is affirmed based on five DMAIC principles related to determination, measurement, analysis, improvement and monitoring technical condition of structures. Examples are presented of statistical estimation of representative samples of corrosion impacts, characteristic values of corrosion resistance and durability of steel structures and their protective coatings. Proposed are methods for functional and time redundancy of corrosion protection assurance. Load tests were carried out of models of steel structures with corrosion damage.

The obtained results reveal uncertainty of parameters of corrosion state and allow assessing structural steel survivability with account for acceptable risk. Suggestions for parametric design are recommended for digital transformation of the system of technical and economic regulators of corrosion protectability.

Keywords: structural steel, reliability, limit state, corrosion protectability, redundancy, survivability, digital transformation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелецкий Н.С. Избранные труды. Москва: Стройиздат, 1975. 422 с.
2. Mrázik A. Teória sporahlivosti ocerových konštrukcií. Sloven. akad. vied. Úst. stavebníctva a architektúry SAV. Bratislava: VEDA, 1987. 360 p.
3. Meinen N.E., Steenbergen R.D.J.M. Reliability levels obtained by Eurocode partial factor design – A discussion on current and future reliability levels // HERON. 2018. Vol. 63. No. 3. Pp. 243-302. URL:<https://heronjournal.nl/63-3/63-3.ht>
4. Pichugin S.F. Reliability estimation of industrial building structures // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 83(7). Pp. 24-37. doi:10.18720/MCE.83.3.
5. Solovyev S.A., Solovyeva A.A. Structural reliability analysis using evidence theory and fuzzy probability distributions // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 107(7). Article No. 10704. doi:10.34910/MCE.107.4.
6. Mammedov K.A., Hamidova N.S., Huseynova U.K. Diagnosis of the corrosion state of hydraulic structures in the Caspian Sea in order to prevent environmental damage // Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2020. Vol. 3. No. 385. Pp. 111-118. URL:<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.76>
7. Zajec B. et al. Corrosion Monitoring of Steel Structure Coating Degradation // Materials Science. Tehnički Vjesnik [Technical Gazette]. 2018. No. 25(5). Pp. 1348-1355. doi:10.17559/TV-20170206004112.
8. Лапидус А.А., Топчий Д.В. Организация работ по обследованию зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 3. С. 12-15. doi:10.33622/0869-7019.2023.03.12-15.
9. Travush V.I., Fedorova N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 81(5). Pp. 73-80. doi:10.18720/MCE.81.8.
10. Андросова Н.Б., Колчунов В.И. Живучесть каркасно-стержневого железобетонного здания при аварийном воздействии // Строительство и реконструкция. 2021. № 5. С. 40-50. URL:<https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-97-5-40-50>
11. David J. Smith. Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers. Butterworth-Heinemann, 2021. 516 p. URL:https://www.amazon.com/Reliability-Maintainability-Risk-Practical-Engineers/dp/0323912613/ref=sr_1_8?crid=3I3X9NQDEGOAI&keywords=economic+risks+industrial+facilities&qid=1676202320&s=books&prefix=economic+risks+industrial+facilities%2Cstripbooks-intl-sh
12. Alekseytsev A.V., Gaile L., Drukis P. Optimization of steel beam structures for frame buildings subject to their safety requirements // Magazine of Civil Engineering. 2019. No. 91(7). Pp. 3-15. doi:10.18720/MCE.91.1.
13. Горохов Е.В. [и др.]. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции. Москва: Стройиздат, 1994. 488 с.
14. Di Sarno L., Majidian A., Karagiannakis G. The Effect of Atmospheric Corrosion on Steel Structures: A State-of-the-Art and Case-Study // Buildings. 2021. No. 11(12):571. URL:doi.org/10.3390/buildings11120571.
15. Федотов С.Д., Улыбин А.В., Шабров Н.Н. О методике определения коррозионного износа стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1. С. 12-20. doi:10.5862/MCE.36.2.

16. Королёв В.П. Методический подход к обеспечению работоспособности металлоконструкций в условиях коррозионной опасности // Строительство и реконструкция. 2019. № 4(84). С. 70-82. doi:10.33979/2073-7416-2019-84-4-70-82.
17. Mohan Dr.S. J., Chitra R., Thendral S. Limit State Method of Design for Steel Structures // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2018. Vol. 119. No. 12. Pp. 9169-9181.
18. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Residual resource of a one-storey steel frame industrial building constructed with bridge cranes // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 84 (8). Pp. 150-161. doi:10.18720/MCE.84.15.
19. Туснин А.Р., Бергер М.П. Зависимость коэффициента динамичности от жесткости ферм при разных видах локальных разрушений // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 2. С. 202–217. doi:10.22227/1997-0935.2023.2.202-217.
20. Топчий Д.В. Перспективы развития системы образования специалистов строительного контроля // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 3. С. 4-11. doi:10.33622/0869-7019.2023.03.04-11.
21. Королев В.П., Герман Г.А. Формирование проектных требований на основе управления коррозионной защищенностью стальных конструкций // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 4. С. 518–532. doi:10.22227/1997-0935.2020.4.518-532.
22. Королёв В.П., Рыженков А.А., Королёв П.В. Эволюция концептуальных подходов к управлению коррозионной защищенностью стальных конструкций и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 8. С. 32-40. doi:10.33622/0869-7019.2022.08.32-40.
23. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. Москва: Стройиздат, 1979. 319 с.
24. Шимановский А.В. [и др.]. Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений. Киев: Сталь, 2008. 463 с.
25. MacGinley T.J. Steel Structures. Practical design studies. London and New York: E&FN SPON, 1998. 184 p.
26. AISC 325-17: Steel Construction Manual // American Institute of Steel Construction. 15th Edition. 2017. 2324 p. URL:<https://www.casresource.com/product/aisc-325-17-steel-construction-manual-fifteenth-edition/>
27. Shopov A. Theoretical-Computation Conception for Forecasting on Corrosion Influence into Steel Elements at Sustainable Development // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). 2019. Vol. 8. Issue 8. June. Pp. 2253-2261. URL:<https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i8/H7152068819.pdf>

REFERENCES

1. Streleckij N.S. Izbrannye Trudy [Selected works]. Moscow: Strojizdat, 1975. 422 p.
2. Mrázik A. Teória sporahlivosti ocerových konštrukcií. Sloven. akad. vied. Úst. stavebníctva a architektúry SAV. Bratislava: VEDA, 1987. 360 p.
3. Meinen N.E., Steenbergen R.D.J.M. Reliability levels obtained by Eurocode partial factor design – A discussion on current and future reliability levels. *HERON*. 2018. Vol. 63. No 3. Pp. 243-302. URL:<https://heronjournal.nl/63-3/63-3.ht>
4. Pichugin S.F. Reliability estimation of industrial building structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No 83(7). Pp. 24-37. doi:10.18720/MCE.83.3.
5. Solovyev S.A., Solovyeva A.A. Structural reliability analysis using evidence theory and fuzzy probability distributions. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. No 107(7). Article No 10704. doi:10.34910/MCE.107.4.
6. Mammedov K.A., Hamidova N.S., Huseynova U.K. Diagnosis of the corrosion state of hydraulic structures in the Caspian Sea in order to prevent environmental damage. *Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020. Vol. 3. No 385. Pp. 111-118. URL:<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.76>
7. Zajec B. et al. Corrosion Monitoring of Steel Structure Coating Degradation. *Materials Science. Tehnički Vjesnik [Technical Gazette]*. 2018. No 25, 5. Pp. 1348-1355. doi:10.17559/TV-20170206004112.
8. Lapidus A. A., Topchiy D. V. Organizaciya rabot po obsledovaniyu zdaniy i sooruzhenij [Organization of Works on Inspection of Buildings and Structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2023. No 3. Pp. 12-15. (In Russian). doi:10.33622/0869-7019.2023.03.12-15.
9. Travush V.I., Fedorova N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No 81(5). Pp. 73–80. doi:10.18720/MCE.81.8.
10. Androsova N.B., Kolchunov V.I. Zhivuchest' karkasno-sterzhnevogo zhelezobetonogo zdaniya pri avariynom vozdeystvii [Survivability of the frame-rod reinforced concrete building framework in accidental action]. *Stroitel'stvo rekonstrukciya [Building and Reconstruction]*. 2021. No 5. Pp. 40-50. URL:<https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-97-5-40-50>.
11. David J. Smith. Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers. Butterworth-Heinemann, 2021. 516 p. URL:https://www.amazon.com/Reliability-Maintainability-Risk-Practical-Engineers/dp/0323912613/ref=sr_1_8?crid=3I3X9N0DEGOAI&keywords=economic+risks+industrial+facilities&qid=1676202320&s=books&prefix=economic+risks+industrial+facilities%2Cstripbooks-intl-sw

12. Alekseytsev A.V., Gaile L., Drukis P. Optimization of steel beam structures for frame buildings subject to their safety requirements. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. No 91(7). Pp. 3-15. doi:10.18720/MCE.91.1.
13. Gorokhov E.V. [at al]. Dolgovechnost' stal'nykh konstrukcij v usloviyah rekonstrukcii. [Durability of steel structures under reconstruction conditions]. Moscow: Strojizdat, 1992. 488 p.
14. Di Sarno L., Majidian A., Karagiannakis G. The Effect of Atmospheric Corrosion on Steel Structures: A State-of-the-Art and Case-Study. *Buildings*. 2021. No 11(12). P. 571. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings11120571>
15. Fedotov S.D., Ulybin A.V., Shabrov N.N. O metodike opredeleniya korrozionnogo iznosa stal'nykh konstrukcij [The methodology of determining the corrosion of steel structures]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Magazine of Civil Engineering]*. 2013. No 1. Pp. 12-20. doi:10.5862/MCE.36.2.
16. Korolov V.P. Metodicheskiy podhod k obespecheniyu rabotosposobnosti metallokonstrukcij v usloviyah korrozionnoj opasnosti [Methodological approach to ensuring the serviceability of metal structures under corrosion hazard conditions]. *Stroitelstvo i Rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]*. 2019. No 4 (84). Pp. 70-82. doi:10.33979 / 2073-7416-2019-84-4-70-82.
17. Mohan Dr. S. J., Chitra R., Thendral S. Limit State Method of Design for Steel Structures. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2018. Vol. 119. No 12. Pp. 9169-9181.
18. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Residual resource of a one-storey steel frame industrial building constructed with bridge cranes. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No 84(8). Pp. 150-161. doi:10.18720/MCE.84.15.
19. Tusnin A.R., Berger M.P. Zavisimost' koefficienta dinamicnosti ot zhestkosti ferm pri raznykh vidakh lokal'nykh razrushenij [Dependence of the dynamic coefficient on rigidity of trusses in case of versatile local failures]. *Vestnik MGSU [Vestnik MGSU]*. 2023. No 18(2):202-217. doi:10.22227/1997-0935.2023.2.202-217.
20. Topchiy D. V. Perspektivy razvitiya sistemy obrazovaniya specialistov stroitel'nogo kontrolya [Prospects for the Development of the Education System for Construction Control Specialists]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2023. No 3. Pp. 4-11. doi:10.33622/0869-7019.2023.03.04-11.
21. Korolov V.P., German G.A. Formirovanie proektnykh trebovanij na osnove upravleniya korrozionnoj zashchishchennost'yu stal'nykh konstrukcij [Formation of design requirements based on the management of structural steel corrosion protectability]. *Vestnik MGSU [Vestnik MGSU]*. 2020. Vol. 15. No 4. Pp. 518-532. doi:10.22227/1997-0935.2020.4.518-532.
22. Korolov V.P., Ryzhenkov A.A., Korolov P.V. Evolyuciya konceptual'nykh podhodov k upravleniyu korrozionnoj zashchishchennost'yu stal'nykh konstrukcij i sooruzhenij [Evolution of Conceptual Approaches of Management of Corrosion Protection of Steel Structures and Facilities]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2022. No 8. Pp. 32 – 40. doi:10.33622/0869-7019.2022.08.32-40
23. Likhtarnikov Ya.M. Variantnoye proyektirovaniye i optimizatsiya stalnykh konstruktsiy [Trial design and optimization of structural steel]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 319 p.
24. Shimanovsky A.V. [at al]. Tekhnicheskaya diagnostika i preduprezhdenie avariynykh situacij konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Technical diagnostics and prevention of accident cases for buildings and installations]. Kiev: Stal' [Steel], 2008. 462 p.
25. MacGinley T.J. Steel Structures. Practical design studies. London and New York: E&FN SPON, 1998. 184 p.
26. AISC 325-17: Steel Construction Manual. *American Institute of Steel Construction*. 15th Edition. 2017. 2324 p. URL: <https://www.casresource.com/product/aisc-325-17-steel-construction-manual-fifteenth-edition/>
27. Shopov A. Theoretical-Computation Conception for Forecasting on Corrosion Influence into Steel Elements at Sustainable Development *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 2019. Vol. 8. Issue 8. June. Pp. 2253-2261. URL: <https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i8/H7152068819.pdf>

Информация об авторах:

Королёв Владимир Петрович

ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Россия, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительство, архитектура и дизайн».
E-mail: korolyovskif@yandex.ru

Кущенко Игорь Владимирович

ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Россия, кандидат технических наук, и.о. ректора Приазовского государственного технического университета.
E-mail: kigorvlad@yandex.ru

Бочарова Елена Анатольевна

ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Россия, старший преподаватель кафедры «Строительство, архитектура и дизайн».
E-mail: elena270915v@yandex.ru

Information about authors:

Korolov Vladimir P.

Priazovsky State Technical University, Mariupol, Russia,

doctor in technical sciences, professor, professor of department of Civil Engineering, Architecture and Design.

E-mail: korolyovskif@yandex.ru

Kushchenko Igor V.

Priazovsky State Technical University, Mariupol, Russia,

candidate in technical sciences, acting rector of Priazovsky State Technical University.

E-mail: kigorvlad@yandex.ru

Bocharova Elena An.

Priazovsky State Technical University, Mariupol, Russia,

senior lecturer of department of Civil Engineering, Architecture and Design.

E-mail: elena270915v@yandex.ru