

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 624.014"401.4":620.193

А. Н. ГИБАЛЕНКО^{1*}, Т. С. ТРОФИМЧУК^{2*}

^{1*}Каф. «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция», ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (050) 473 14 52, эл. почта alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225

^{2*}Каф. «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция», ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», ул. Университетская, 7, Мариуполь, Украина, 87500, тел. +38 (097) 716 34 33, эл. почта taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1051-4561

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель. Исследования направлены на повышение качества и надежности мер первичной и вторичной защиты металлоконструкций производственных предприятий, для продления сроков эксплуатации циклически нагруженных конструкций производственного оборудования с учетом уровня коррозионной опасности. **Методика.** Предложено использование принципов процессного подхода для постановки и реализации задач управления эксплуатационным сроком службы в коррозионных средах. Принципы обеспечения надежности уровня коррозионной опасности включают обоснование последовательности этапов оценки живучести строительных металлоконструкций на основе стратегии *DMAIC* (*define, measure, analyze, improve, control*): определения, измерения, анализа, совершенствования и контроля мер первичной и вторичной защиты от коррозии. **Результаты.** Доказано, что обеспечение мер защиты от коррозии по критерию коррозионной опасности позволяет обеспечивать требования надежности строительных металлоконструкций на основе расчетных положений метода предельных состояний. А также решать задачи по управлению технологической безопасностью в течение установленного срока службы строительных объектов. **Научная новизна.** Разработанная стратегия обслуживания промышленных объектов по фактическому состоянию включает процессный подход к управлению ресурсами путем построения системы учета и функционального контроллинга, анализа рисков и регулирования технологической безопасности производственных фондов предприятий. Реализация принципов процессного подхода к управлению технологической безопасностью на объектном уровне направлена на совершенствование средств и методов противокоррозионной защиты, продление ресурса с учетом показателей живучести (ψ , η) и обоснование мер программы обеспечения надежности (ПОН). **Практическая значимость.** На основе процессного подхода к управлению качеством и надежностью, обобщений натурных и численных исследований, направленных на обоснование конструктивных решений первичной и вторичной защиты металлоконструкций при заданном уровне коррозионной опасности металлоконструкций, разработаны организационные меры ПОН. Они включают оценку интегральных характеристик конструктивной приспособленности, технологической рациональности и риск-анализ признаков коррозионной опасности объектов.

Ключевые слова: металлические конструкции; живучесть; процессный подход; обеспечение надежности; рудный перегружатель; уровень коррозионной опасности

Введение

Значительный период использования в сложных условиях функционирования циклически нагруженных металлических конструкций технологического оборудования, обеспечивающего производственный процесс предприятий горно-металлургической промышленности, требует решения задачи продления сроков эксплуатации (превышающих нормативные) с учетом уровня коррозионной опасности и обеспечения требований первичной и вторичной защиты от коррозии [3].

Оценка качества и надежности металлоконструкций и их защитных покрытий является важным аспектом продления ресурса объектов основных фондов, формирования рационального инновационного развития производства новых материалов и использования ресурсосберегающих технологий, которые обеспечивают снижение уровня коррозионной опасности и долговременную защиту от воздействия коррозионно-агрессивных сред.

Цель

Исследования направлены на обеспечение качества и надежности мер первичной и вторичной защиты металлоконструкций по признакам коррозионной опасности металлоконструкций производственных мощностей производственных предприятий.

Использование процедуры обоснования программы обеспечения надежности (ПОН) для продления ресурса конструкций зданий и сооружений включает оценку интегральных характеристик конструктивной приспособленности, технологической рациональности и риск-анализ признаков коррозионной опасности строительных объектов [10].

Реализация задач технической диагностики коррозионного разрушения (ТДКР) и обоснование расчетных ситуаций по признакам коррозионной опасности обеспечивает формирование эксплуатационных характеристик для выявления остаточного ресурса систем противокоррозионной защиты (СПКЗ) конструкций и разработку мер ПОН промышленных объектов.

Методика

Коррозионное разрушение циклически нагруженных стальных конструкций определяется внешними воздействиями режима эксплуатации и зависит в первую очередь от степени агрессивности среды [3, 5, 14].

Достаточная живучесть должна обеспечиваться по отношению к локальным разрушениям и предусмотренным нормами аварийным ситуациям (непреднамеренным воздействиям). Необходимо предусматривать меры обеспечения живучести в аварийных ситуациях, которые должны быть оговорены в проектной и эксплуатационной документации объекта. Задача обеспечения живучести по уровню коррозионной опасности состоит в определении фиктивных нагрузок, дополнительных перемещений и усилий, вызываемых этими нагрузками, для обоснования расчетных ситуаций при наличии признаков коррозионных поражений и повреждений [6, 15].

Для оценки разрушений и изменений физико-механических свойств материалов при воздействии локальных и прогрессирующих разрушений формулируется концепция конструктивной безопасности сооружений с учетом силовых и коррозионных воздействий, количественной оценки характеристики живучести [9, 11].

Разработанная программа работ по экспертному обследованию ставила целью выявление причин аварийного разрушения металлических конструкций рудно-грейферного перегружателя, обслуживающего склад сыпучих материалов аглофабрики металлургического завода (рис. 1) согласно требованиям норм, научно-методическое обоснование и разработка мер обеспечения технологической безопасности [6]. Проверочный расчет несущей способности конструкции выполнялся на основе задания критериев предельных состояний по результатам оценки фактического состояния с помощью коэффициента обратной связи режима эксплуатации конструкций (ψ) на основании зависимостей:

$$N = \Phi / (\Gamma - \psi),$$

$$\gamma_{sr} = \Gamma - \psi,$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

где N – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе, кН; Φ – предельное усилие, кН, которое может воспринять элемент с характеристикой повреждаемости Θ_f ; Γ – отношение резерва надежности; γ_{sr} – коэффициент технологической безопасности.

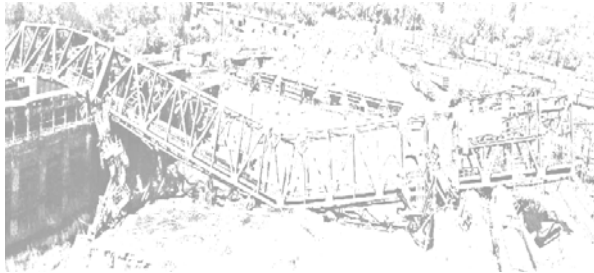


Рис. 1. Общий вид разрушения крана

Fig. 1 General view of the crane destruction

Использование коэффициента обратной связи режима эксплуатации (ψ) обеспечивает реализацию аналитического подхода к управлению технологической безопасностью, формированию программ обеспечения надежности на основе решения задач анализа возможных причин, последствий отказов (*FMEA*) и оценки критичности отказов (*FMECA*). При этом критерий технологической безопасности конструкций γ_{sr} можно рассматривать как пропускную способность регулирования ресурса (η):

$$\eta = 1/\gamma_{sr},$$

При накоплении дефектов и повреждений Θ_f коэффициент обратной связи (ψ) характеризует снижение эксплуатационных показателей стальных конструкций при установленном проектном значении отношения резерва надежности (Γ). Возмущающие воздействия негативных нагрузок и воздействий вызывают появление признаков предельных состояний конструкций. Пропускная способность регулирования ресурса характеризует допустимое изменение проектного значения отношения резерва надежности (Γ) для обеспечения работоспособного состояния за счет конструктивно-технологических ограничений и восстановления послеремонтной несущей способности.

Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния стальных конструкций для оценки показателей ресурса

(ψ , η) выполнено с использованием интегрированного расчетного комплекса «ПК ЛИРА-САПР 2013» [1].

Систематизация признаков эксплуатационного состояния конструкций выполняется с использованием классификационных признаков показателей базы данных «Ресурс» в зависимости от уровня уязвимости и угроз, категорий ответственности по технологической безопасности зданий и сооружений (табл. 1).

Таблица 1

Категории ответственности сооружений по технологической безопасности

Table 1

Structures responsibility categories by technological security

Характеристика уровня угроз	Приемлемый (0)	Низкий (I)	Средний (II)	Значительный (III)	Высокий (IV)	Недопустимый (X)
Сигнальный цвет опасности	Синий	Зеленый	Желтый	Оранжевый	Красный	Черный
Категории ответственности	R0	R1	R2	R3	R4	RX
Коэффициент технологической безопасности, γ_{sr}	Более 1,2	«1,1 5 « 1,2	«1,1 «1,1 5	«1,05 « 1,1	От 1 до 1,05	Менее 1,0

Результаты

Результаты численных исследований состояния несущих конструкций рудного перегружателя (рис. 2) основывались на методике расчета, с учетом специфики расчета конструкций мостовых перегружателей, заключающейся в характере работы мостовых перегружателей. Для такого типа конструкций основным показателем является не грузоподъемность, а производительность, что вызывает: высокие скорости подъема груза и передвижения тележки; движением моста пользуются как установочным [2]. Расчетная схема приведена на рис. 2:

– мост с П-образным сечением в решетчатом исполнении включает две вертикальные главные фермы, в плоскости верхних поясов соединены связями вдоль всего моста;

– грузовая тележка перемещается по рельсовому пути, расположенному по ездovým балкам;

– передача нагрузки от тележки и подтележного пути на главные фермы моста, а также для придания сечению моста жесткой неизменяемой формы выполнены поперечные рамы, имеющие форму портала и выполняющие связевые функции в поперечном направлении.

Характер соединения опор с мостом в вертикальной и в горизонтальной плоскости –

шарнирное соединение (с возможностью косо устанавливать мост).

В вертикальной плоскости одна опора присоединяется к мосту шарнирно (шарнирная опора), а другая – жестко (жесткая опора). В вертикальной плоскости шарнирная опора присоединяется к мосту. При расчете ферм узлы предполагаются шарнирными.

В качестве расчетных характеристик материалов принимались минимальные значения, принятые для соответствующего времени возведения сооружения, а также на основании изучения состояния конструкций и рекомендаций нормативной литературы.

Расчетными нагрузками конструкций мостового перегружателя являются следующие: собственный вес элементов; сила тяжести тележки и груза (включая грейфер). Нагрузки для металлических конструкций мостовых перегружателей и их комбинации приняты в соответствии с методикой [4, 8]. Усилия в элементах определялись методом пространственных конечных элементов с использованием вычислительного комплекса «ПК ЛИРА-САПР 2013» [16]. Результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния несущих конструкций перегружателя приведены на рис. 3, 4.

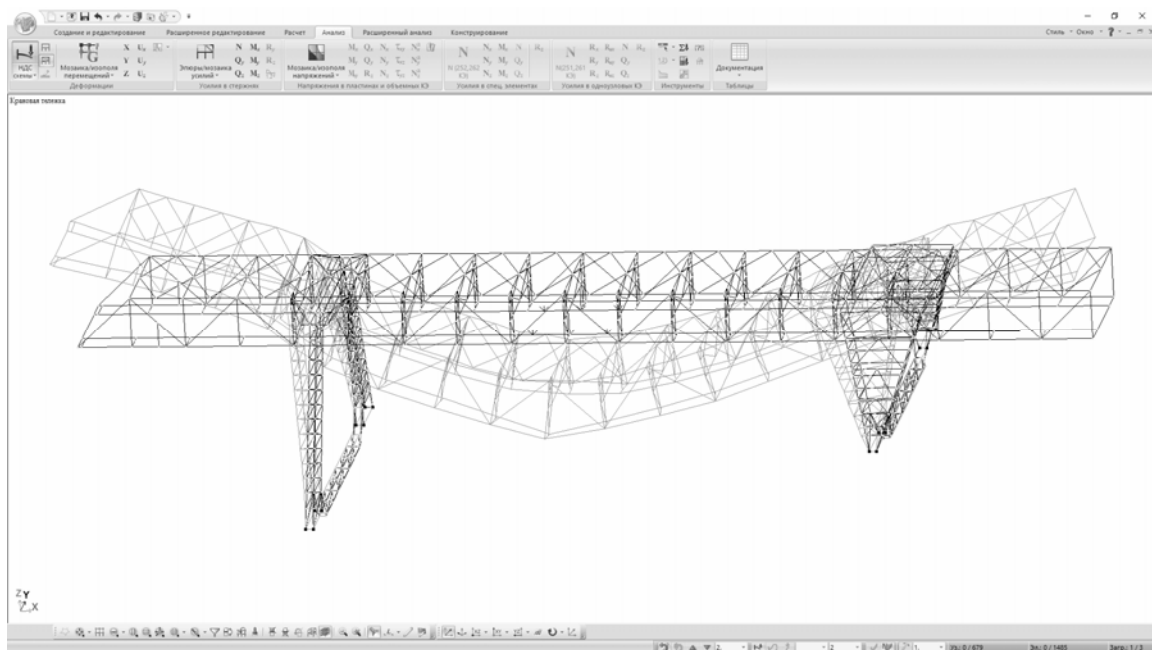


Рис. 2. Исходная и деформированная схема моста крана

Fig. 2. The initial and deformed scheme of the crane bridge

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

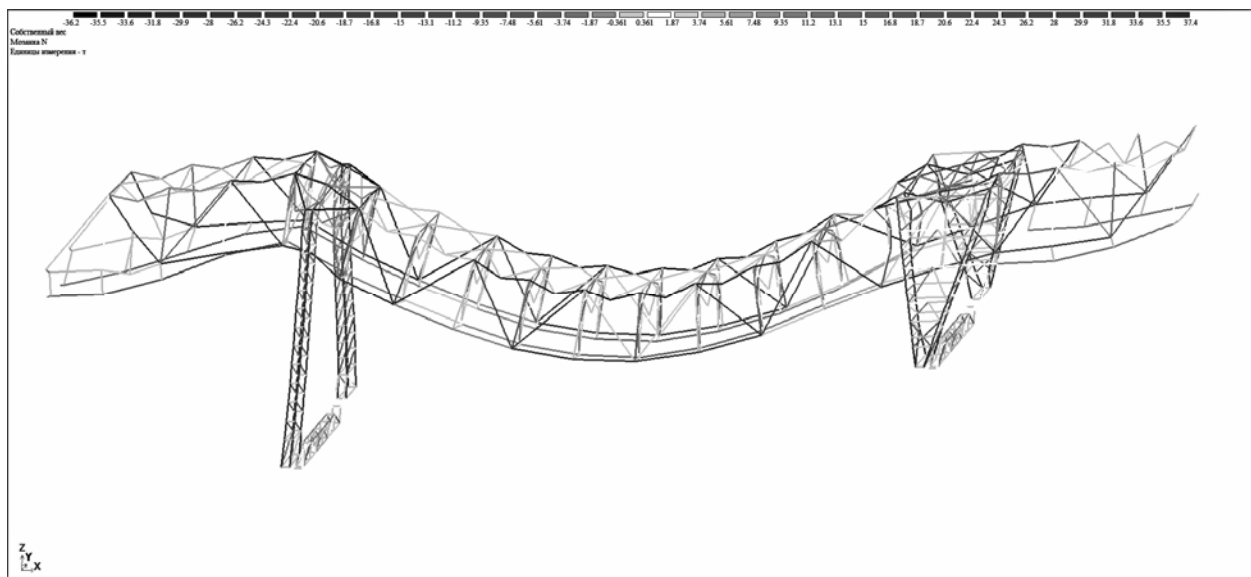


Рис. 3. Усилия N в стержнях деформированной схемы РГК

Fig. 3. Efforts of N in rod stocks of the deformed loading-crane scheme

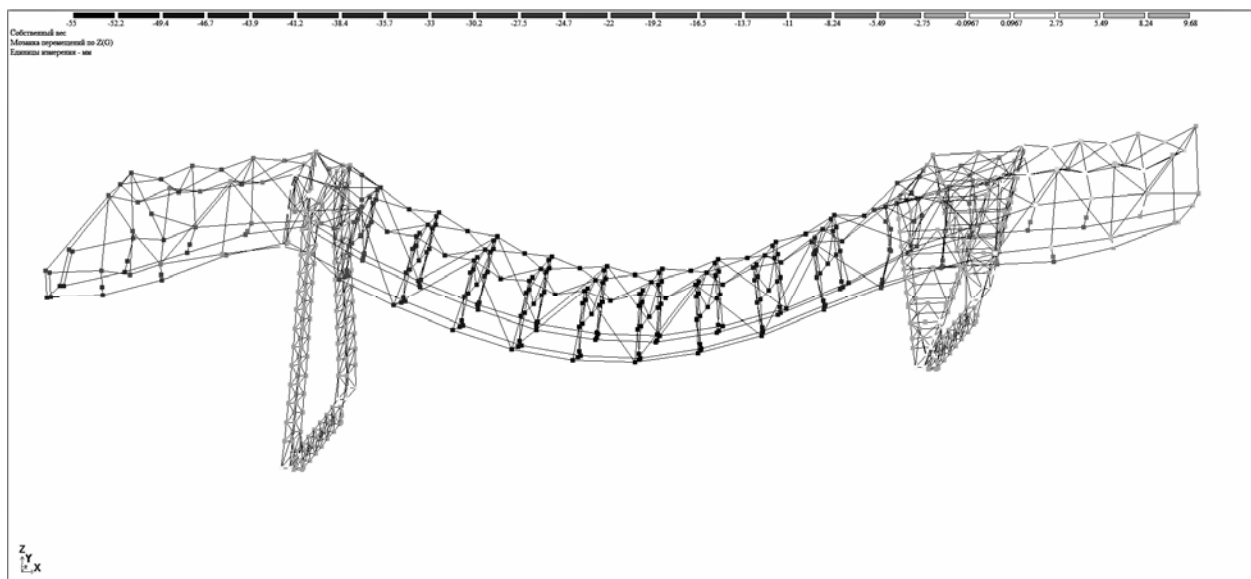


Рис. 4. Мозаика перемещений узлов конструкции по Z

Fig. 4 Movements mosaic of structural components on Z

На основании данных экспертного обследования, диагностики технического состояния после обрушения конструкции крана, изучения опыта эксплуатации и технического обслуживания [7, 9] установлено, что причинами отказа послужило:

1. Наличие усталостных явлений в материале основных несущих металлоконструкций при эксплуатации крана сверх нормативного срока

(превышающего в несколько раз) в результате воздействий динамических знакопеременных нагрузок, в период технологических операций погрузочно-разгрузочных работ складирования, перемещения и усреднения шихты, изменения геометрических характеристик элементов при коррозионных воздействиях.

2. Неработоспособное состояние элементов ограничителя перекоса крана в период прове-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

дения мероприятий по устранению перекоса моста крана и непроектное техническое решение электромеханической схемы работы ограничителей перекоса крана, отсутствие ограничителя перекоса на гибкой опоре.

3. Низкое качество технического обслуживания и контроля за содержанием и безопасной эксплуатацией.

Научная новизна и практическая значимость

Разработанная стратегия обслуживания промышленных объектов по фактическому состоянию включает процессный подход к управ-

лению ресурсами путем построения системы учета и функционального контроллинга, анализа рисков и регулирования технологической безопасности производственных фондов предприятий с учетом уровня коррозионной опасности (рис. 5). Реализация процессного подхода к управлению технологической безопасностью на объектном уровне направлена на совершенствование СПЗК, продление ресурса с учетом показателей живучести (ψ, η) и обоснование мер ПОН [11, 12].

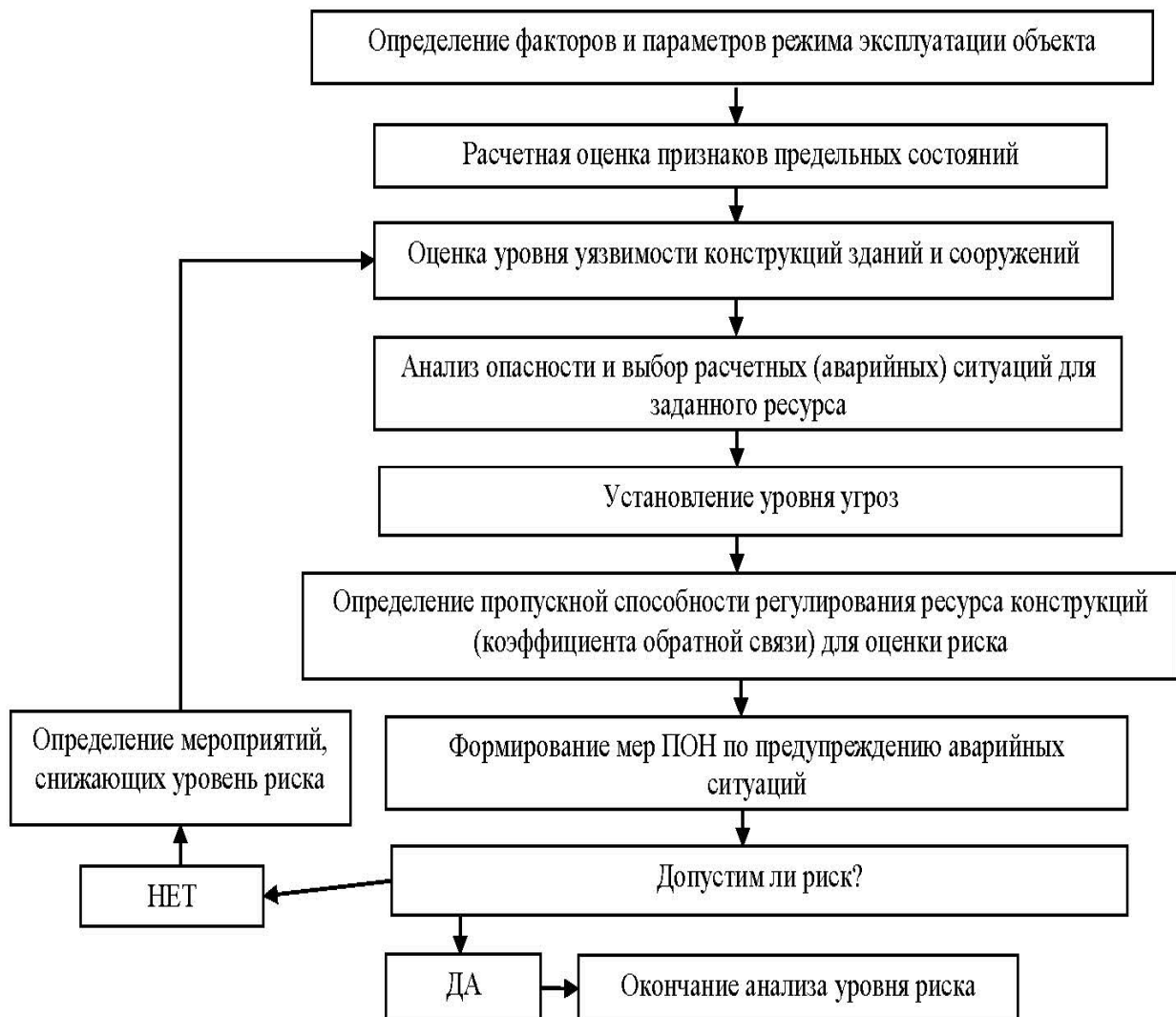


Рис.5. Схема управления уровнем риска

Fig. 5. Management scheme of risk level

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

С учетом факторов неопределенности и риска, признаков коррозионной опасности промышленных объектов принятие решений для поддержания показателей качества и надежности производится в зависимости от уровня рисков по технологической безопасности.

Группы ремонтпригодности конструкций (табл. 2) определяют возможность и сроки восстановления технического ресурса в зависимости от режима функционирования объекта.

Таблица 2

Уровень уязвимости конструкций

Table 2

Категория дефекта или повреждения	Группа ремонтпригодности			
	I	II	III	IV
A	6-8	–	–	–
B	–	3-5	–	–
B	–	–	1-2	–
O (не выявлены)	–	–	–	0

Категория дефекта или повреждения определяется по табл. 13 [6]. Уровень уязвимости оценивается в баллах в зависимости от категории дефекта и группы ремонтпригодности конструкций: нулевой (O) – 0 баллов; низкий (H) – от 1 до 2 баллов; средний (C) – от 3 до 5 баллов; высокий (B) – от 6 до 8 баллов.

Группа ремонтпригодности определяет вид контроля и сроки проведения работ по повышению работоспособности стальных конструкций.

Управления технологической безопасностью выполняется на основе показателя живучести (η) конструкций. Техническое обслуживание по фактическому состоянию и восстановление работоспособного состояния конструкций производится на основе расчетной оценки коэффициента обратной связи (ψ).

Выводы

Проектирование мер защиты от коррозии по критерию коррозионной опасности позволяет обеспечивать требования надежности строи-

тельных металлоконструкций на основе расчетных положений метода предельных состояний и решать задачи по управлению технологической безопасностью в течение установленного срока службы строительных объектов:

– выявлять отклонения от требований действующих нормативных документов по защите конструкций от коррозии;

– оценивать соответствие показателей качества, конструктивной приспособленности и технологической рациональности проектных решений противокоррозионной защиты заданному уровню коррозионной опасности;

– определять требования к выбору материалов и систем защитных покрытий металлоконструкций согласно классификационным признакам ДСТУ Б В.2.6-193 (приложения К, Л);

– разрабатывать предложения по использованию проектных решений противокоррозионной защиты по результатам экспертизы новых материалов и технологий по условиям оценки соответствия требованиям безопасности, надежности и эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барабаш, Б. М. Компьютерные технологии проектирования металлических конструкций / Б. М. Барабаш, С. В. Козлов, Д. В. Медведенко. – Киев : НАУ, 2012. – 572 с.
2. Барбас, И. Г. Напряженно-деформационное состояние основных конструкций мостового перегружателя / И. Г. Барбас, П. П. Бойко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 19–22.
3. Гибаленко, А. Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах / А. Н. Гибаленко // Зб. наук. пр. Серія: Галузеве машинобудування, буд-во / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава, 2015. – Вип. 3 (45). – С. 110–116.
4. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – Киев : Факт, 2007. – 394 с.
5. Гусев, Ю. Б. Обґрунтування параметрів високонавантажених машин на основі моделювання напружено-деформованого стану з урахуванням деградації властивостей основних елементів / Ю. Б. Гусев, А. Ю. Танченко // Вісн. НТУ «Харк. політехн. ін-т». – Харків, 2010. – № 19 : Машинознавство та САПР. – С. 62–79.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

6. ДБН 362-92. Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных сооружений. – Киев, 2014. – 199 с.
7. Исследования и практика применения магнитной структуроскопии при техническом диагностировании кранов-перегрузателей завода «Сибтяжмаш» / В. А. Гудошник, С. А. Губский, В. А. Попов, Ю. В. Чмырь // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 2011. – № 2. – С. 46–50.
8. Справочник по кранам : в 2 т. / М. М. Гохберг, В. И. Брауде, И. Е. Звягин [и др.] ; под общ. ред. М. М. Гохберга. – Москва : Машиностроение, 1988. – Т. 1 : Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций. – 536 с.
9. Bingen, Y. Stress, strain, and structural dynamics / Y. Bingen. – USA : Elsevier Academic Press, 2005. – 961 p.
10. Estimation of steel structure corrosion risk level / V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov // Eurocorr-2010 : From the Earth's Depths to Space Heights / The European Corrosion Congress (13.09–17.09.2010). – Moscow, 2010. – 534 p.
11. 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) / University of Technology. – Gdansk, 2014. – P. 98–102.
12. Holm, A. Inelastic Behavior of Materials and Structures Under Monotonic and Cyclic Loading : Advanced Structured Materials / A. Holm, M. Brünig. – Switzerland : Springer, 2015. – 261 p. doi: 10.1007/978-3-319-14660-7.
13. Korb, L. J. Metals Handbook / L. J. Korb. – USA : ASM International, 1997. – Vol. 13. – 3455 p.
14. Nosov, V. V. Acoustic Emission Testing of the Strength of Metal Structures under Complex Loading / V. V. Nosov, A. I. Potapov // Russian J. of Nondestructive Testing. – 2015. – Vol. 51. – Iss. 1. – P. 50–58. doi: 10.1134/S1061830915010064.
15. Talbot, D. Corrosion science and technology / D. Talbot, J. Talbot. – Boca Raton : CRC Press, 2007. – 390 p.
16. Zienkiewicz, O. C. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, Sixth Edition / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. – Oxford : Elsevier, 2005. – 648 p.

О. М. ГИБАЛЕНКО^{1*}, Т. С. ТРОФИМЧУК^{2*}

^{1*}Каф. «Будівництво, технічна експлуатація і реконструкція», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (050) 473 14 52, ел. пошта alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225

^{2*}Каф. «Будівництво, технічна експлуатація і реконструкція», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, Маріуполь, Україна, 87500, тел. +38 (097) 716 34 33, ел. пошта taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1051-4561

ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ФАКТОРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. Дослідження спрямовані на підвищення якості і надійності заходів первинного та вторинного захисту металоконструкцій виробничих підприємств, для продовження термінів експлуатації циклічно навантажених конструкцій виробничого обладнання з урахуванням рівня корозійної небезпеки. **Методика.** Запропоновано використання принципів процесного підходу для постановки та реалізації завдань управління експлуатаційним терміном служби в корозійних середовищах. Принципи забезпечення надійності рівня корозійної небезпеки включають обґрунтування послідовності етапів оцінки живучості будівельних металоконструкцій на основі стратегії *DMAIC* (*define, measure, analyze, improve, control*): визначення, вимірювання, аналізу, вдосконалення та контролю заходів первинного та вторинного захисту від корозії. **Результати.** Доведено, що забезпечення заходів захисту від корозії за критерієм корозійної небезпеки дозволяє забезпечувати вимоги надійності будівельних металоконструкцій на основі розрахункових положень методу граничних станів. А також вирішувати завдання з управління технологічною безпекою протягом встановленого терміну служби будівельних об'єктів. **Наукова новизна.** Розроблена стратегія обслуговування промислових об'єктів по фактичному стану включає процесний підхід до управління ресурсами шляхом побудови системи обліку і функціонального контролінгу, аналізу ризиків та регулювання

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

технологічної безпеки виробничих фондів підприємств. Реалізація принципів процесного підходу до управління технологічною безпекою на об'єктному рівні спрямована на вдосконалення засобів і методів протикорозійного захисту, продовження ресурсу з урахуванням показників живучості (ψ, η) та обґрунтування заходів програми забезпечення надійності (ПЗН). **Практична значимість.** На основі процесного підходу до управління якістю та надійністю, узагальнень натурних і чисельних досліджень, спрямованих на обґрунтування конструктивних рішень первинного та вторинного захисту металоконструкцій при заданому рівні корозійної небезпеки металоконструкцій, розроблені організаційні заходи ПЗН. Вони включають оцінку інтегральних характеристик конструктивної пристосованості, технологічної раціональності та ризик-аналіз ознак корозійної небезпеки об'єктів.

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

О. М. GIBALENKO^{1*}, Т. С. TROFYMCHUK^{2*}

^{1*}Dep. «Construction, Technical Operating and Reconstruction», Pryazovskyi State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (050) 473 14 52, e-mail alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225

^{2*}Dep. «Construction, Technical Operating and Reconstruction», Pryazovskyi State Technical University, Universytetska St., 7, Mariupol, Ukraine, 87500, tel. +38 (097) 716 34 33, e-mail taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-1051-4561

METAL STRUCTURES SURVIVABILITY ASSESSMENT WHEN SIMULATING SERVICE CONDITIONS

Purpose. The research is aimed at improving the quality and reliability of measures of primary and secondary protection of metal structures at manufacturing companies, to prolong the service life of cyclically loaded structures of production facilities taking into account the corrosion level of danger. **Methodology.** Authors proposed to use the principles of process approach for statement and realization of management problems of operational service life in corrosion environments. The principles of ensuring reliability on the level of corrosion danger include justification of stages sequence for survivability assessment of a structural metalwork based on the strategy of *DMAIC* (define, measure, analyze, improve, control): definitions, measurements, analysis, improvement and monitoring of measures of primary and secondary corrosion protection. **Findings.** Providing control measures from corrosion according to the criterion of corrosion danger allows providing requirements of reliability of structural metalwork based on calculated provisions of the limiting conditions method and solving the problems of management in technological safety during the expected service life of structural objects. **Originality.** The developed strategy of maintenance of the industrial facilities on an actual state includes the process approach to resource management by creation of system for the account and the functional controlling, risk analysis and regulation of technological safety in production facilities of the enterprises. Realization of the principles of process approach to management of technological safety at the object level is directed to perfecting of tools and methods of anticorrosive protection, extension of a resource taking into account indexes of survivability (ψ, η) and justification of program measures to ensure the reliability of enterprises (PER). **Practical value.** On the basis of process approach to quality and reliability management, generalizations of the natural and numerical researches directed to justification of design solutions of primary and secondary protection of a metalwork at the given level of corrosion danger of a metalwork the organizational measures of PER including assessment of integral characteristics of constructional suitability, technological rationality and risk analysis of signs corrosion danger of objects are developed.

Keywords: metal structures; survivability; process approach; ensuring reliability; ore gantry; level of corrosion danger

REFERENCES

1. Barabash B.M., Kozlov S.V., Medvedenko D.V. *Kompyuternyye tekhnologii proyektirovaniya metallicheskih konstruksiy* [Computer technologies of metal structures projecting]. Kyiv, NAU Publ., 2012. 572 p.
2. Barbas I.G., Boyko P.P. Napryazhenno – deformatsionnoye sostoyaniye osnovnykh konstruksiy mostovogo peregruzhatelya [Stress-strain state of the main structures of the bridge conveyors]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropet-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

- rovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 33, pp. 19-22.
3. Gibalenko A.N. Monitoring ostatochnogo resursa metallokonstruktsiy v korrozionnykh sredakh [Monitoring of residual life of metal structures in corrosive environment]. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Yurii Kondratiuka. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnitstvo* [Bulletin of Poltava National Technical Yuri Kondratiuk University], 2015, issue 3 (45), pp. 110-116.
 4. Gorodetskiy A.S., Yevzerov I.D. *Kompyuternyye modeli konstruktsiy* [Computer models of structures]. Kyiv, Fakt Publ., 2007. 394 p.
 5. Husiev Yu.B., Tanchenko A.Yu. Obgruntuvannia parametriv vysokonavantazhenykh mashyn na osnovi modeliuвання napruzhenno-deformovanoho stanu z urakhuvanniam dehradatsii vlastyvoitei osnovnykh elementiv [Parameters justification of heavy loaded machines based on modeling of stressed-strained state taking into account the degradation of the basic elements properties]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Mashynoznavstvo ta SAPR* [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnical Institute». Machine Science and CAD], 2010, no. 19, pp. 62-79.
 6. *DBN 362-92. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya stalnykh konstruktsiy ekspluatiruyemykh proizvodstvennykh sooruzheniy* [State Building Norm 362-92. Assessment of technical state of the steel works of production facilities under operation]. Kyiv, 2014. 199 p.
 7. Gudoshnik V.A., Gubskiy S.A., Popov V.A., Chmyr Yu.V. Issledovaniya i praktika primeneniya magnitnoy strukturoskopii pri tekhnicheskoy diagnostirovani kranov-peregruzhateley zavoda «Sibtyazhmash» [Research and practice of magnetic structuroscopy with technical diagnosis of crane-loaders of «Sibtyazhmash» plant]. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy control – Technical Diagnostics and Non-destructive Testing*, 2011, no. 2, pp. 46-50.
 8. Gokhberg M.M., Braude V.I., Zvyagin I.Ye. Spravochnik po kranam v 2-kh tomakh. Kharakteristiki materialov i nagruzok. Osnovy rascheta kranov, ikh privodov i metallicheskiykh konstruktsiy. Tom 1. [Manual on cranes in 2 volumes. Characteristics of materials and loads. Bases for calculation of cranes, their drives and metal constructions. Vol. 1.]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1988. 536 p.
 9. Bingen Y. Stress, strain, and structural dynamics. USA, Elsevier Academic Press Publ., 2005. 961 p.
 10. Korolov V.P., Vysotsky Y., Gibalenko O.M., Korolov P.V. Estimation of steel structure corrosion risk level. Eurocorr-2010: From the Earth's Depths to Space Heights. The European Corrosion Congress (13.09–17.09.2010). Moscow, 2010. 534 p.
 11. Gibalenko A.N., Korolov V., Filatov J. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard. Aktualnie problemy konstruktsii metalowych: Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11–28.11.2014). University of Technology. Gdansk, 2014, pp. 98-102.
 12. Holm A., Brüning M. Inelastic Behavior of Materials and Structures Under Monotonic and Cyclic Loading: Advanced Structured Materials. Switzerland, Springer, 2015. 261 p. doi: 10.1007/978-3-319-14660-7.
 13. Korb L.J. Metals Handbook, Ninth Edition, volume 13. Corrosion. U.S.A, ASM International Publ., 1997. 3455 p.
 14. Nosov V.V., Potapov A.I. Acoustic Emission Testing of the Strength of Metal Structures under Complex Loading. *Russian J. of Nondestructive Testing*, 2015, vol. 51, issue 1, pp. 50-58. doi: 10.1134/S1061830915010064.
 15. Talbot D., Talbot J. Corrosion science and technology. Boca Raton, CRC Press Publ., 2007. 390 p.
 16. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, Sixth Edition. Oxford, Elsevier Publ., 2005. 648 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. П. Королёвым (Украина); д.т.н., проф. С. В. Ракишой (Украина)

Поступила в редколлегию: 12.12.2015

Принята к печати: 25.03.2016