

УДК 624.076.2

## МОНИТОРИНГ КОРРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТЕРИ КАЧЕСТВА

Канд. техн. наук А. Н. Гибаленко (ГВУЗ ПГТУ)

## МОНИТОРИНГ КОРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТРАТИ ЯКОСТІ

Канд. техн. наук О. М. Гібаленко (ДВНЗ ПДТУ)

## MONITORING CORROSION RISK OF STEEL CONSTRUCTIONS BASED ON CHARACTERISTICS OF QUALITY LOSS

Cand. Sc. O. M. Gibalenko

*Обоснована методика диагностики и мониторинга производственных объектов за расчетным сроком службы, включающая статистический контроль дефектов и повреждений металлоконструкций, определение уровня уязвимости и угроз, ремонтпригодности при обслуживании по фактическому состоянию. Реализация процессного подхода к управлению технологической безопасностью на объектном уровне позволила разработать и внедрить процедуры принятия решений о возможности дальнейшей эксплуатации объектов за расчетным сроком службы.*

**Ключевые слова:** металлоконструкции, мониторинг, коррозионная опасность, повреждения, технологическая безопасность.

*Обґрунтовано методику діагностики і моніторингу виробничих об'єктів за розрахунковим терміном служби, що включає статистичний контроль дефектів і пошкоджень металлоконструкцій, визначення рівня вразливості та загроз, ремонтпридатності при обслуговуванні за фактичним станом. Реалізація процесного підходу до управління технологічною безпекою на об'єктному рівні дала змогу розробити і впровадити процедури прийняття рішень про можливість подальшої експлуатації об'єктів за розрахунковим терміном служби.*

**Ключові слова:** металлоконструкції, моніторинг, корозійна небезпека, пошкодження, технологічна безпека.

*The measurable period of use in close conditions cyclically loaded metal designs of the processing equipment providing production the enterprises of the mining and metallurgical industry requires the solution a problem extension terms operation (exceeding standard) with allowance for the level of corrosion danger. Salvaging of process approach for statement and realization problems of management operational service life in corrosion environments. The principles of ensuring reliability on the level corrosion danger include justification sequence stages for an assessment in survivability a structural metalwork based on the strategy of DMAIC (define, measure, analyze, improve, control). Providing control measures from corrosion after corrosion danger allows to provide requirements reliability of structural metalwork based on calculated provisions in a method of the limiting conditions and to solve problems management in technological safety during the expected service life structural objects. Developed by organizational measures that include assessment of integral characteristics structural suitability, technological*

rationality and risk analysis of corrosion risk. The approach provides the solution of the fundamental problems assessing the level of risk on process safety: mode selection the control parameters of the structures, assessment level of vulnerability.

**Keywords:** metal construction, monitoring, corrosion danger, damage, process safety.

**Введение.** Развитие методов расчета стальных конструкций осуществляется в направлении объективной оценки значений действующих нагрузок и воздействий, а также выявления действительной работы с учетом физико-механических характеристик материала в особенности в условиях значительных коррозионно-агрессивных воздействий эксплуатационных сред. Целью работы является формирование мероприятий по обеспечению коррозионной защищенности основных фондов, как фактора обеспечения устойчивого функционирования промышленных предприятий на основании приведенной характеристики потери качества эксплуатации металлоконструкции в условиях коррозионного износа.

Анализ результатов выполненных исследований подтверждает предположение о том, что не может быть абсолютной надежности строительных конструкций и, следовательно, надежность определяется как вероятность того, что при определённых технико-эксплуатационных условиях и в определенный промежуток времени не произойдет авария [1]. Аналитическое описание этого условия представлено в виде

$$R(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n} \quad (1)$$

где  $R(t)$  – надежность конструкций в интервале времени от 0 до  $t$ ;  $m$  – число конструкций (элементов), эксплуатируемых в этом интервале времени без аварии;  $n$  – число всех рассматриваемых конструкций (элементов).

Строительные металлические конструкции, запроектированные на основе одних и тех же норм, могут отличаться одна от другой степенью вероятности

появления и развития аварийных ситуаций в случае отказа какого-либо конструктивного элемента. Такие случаи возможны по различным причинам, в том числе и из-за ошибок, возникающих при создании или эксплуатации конструкций, что приводит к возникновению аварийных ситуаций [2, 3].

Сложную строительную конструкцию (сооружение) можно представить системой с параллельными элементами, которая подвержена достижению аварийного состояния при разрушении одновременно всех элементов (рис. 1).

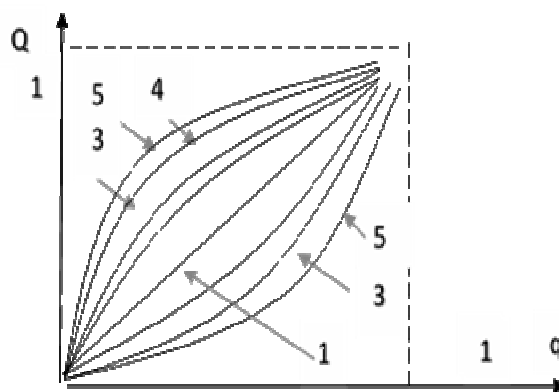


Рис. 1. Зависимость аварийности конструкций от числа элементов  $n$  (1...5)

В системе с последовательными элементами авария достигается при разрушении одного элемента.

Аварийность системы  $Q$ , состоящей из  $n$  элементов с аварийностью  $q_i$ , определится

$$Q = \prod_{i=1}^n q_{i1} \quad (2)$$

при  $q_{i1} = const$ ,  $Q = (1-q)n$ .

Из этого следует, что вероятность аварии такой системы равна единице в том случае, если аварийность каждого элемента приближается к единице. Система с последовательными элементами более подвержена аварийности, чем система с параллельными элементами, что справедливо и для вероятности появления развития аварии.

Анализ различных отказов конструкций указывает на основные причины их возникновения: несоответствие применяемых материалов; ошибки проектирования, изготовления и монтажа; нарушение условий и режима эксплуатации; влияние человеческого фактора. В большинстве случаев аварийная ситуация возникает при совокупном воздействии нескольких факторов. Зависимость между качеством работы обслуживающего персонала и действующими нагрузками отображает графическая зависимость – частота появления ошибок от значений действующих нагрузок, а ее нелинейность означает, что низкий уровень нагрузок снижает внимание (рис. 2).



Рис. 2. Гипотетическая закономерность эффективности работы человека от действующей нагрузки

**Анализ исследований и публикаций.** При экспертном диагностировании коррозионного состояния конструкций не всегда возможно выявить значащие факторы, оказывающие влияние на протекание деградиационных процессов, оценить характер их влияния на качество эксплуатации объекта, что и вызывает необходимость создания единой методики аудита и менеджмента качества эксплуатаций металлоконструкций [6]. При этом влияние человеческого фактора распределяется по трем уровням возможного предупреждения аварийных ситуаций [4, 5].

Методической основой при разработке процедуры аудита технического состояния являются международные стандарты ИСО 9001 и МЭК 300-1, регламентирующие вопросы управления качеством на всех стадиях жизненного цикла объекта. Для выявления причин снижения эксплуатационной несущей способности конструкций используется метод оценки потери качества на основе построения диаграммы Парето (рис. 3) [7]. В соответствии с разработанным подходом контроль коррозионного состояния производится по приведенной характеристике потери качества  $F\bar{e}$  в агрессивных средах, установленного по методу Г. Тагути [8]. Показатель качества  $F\bar{e}$  (зависимость 3) является относительной характеристикой эффективности мер первичной и вторичной защиты для определения уровня риска по технологической безопасности  $Ri$  с учетом фактического воздействия факторов коррозионной агрессивности режима эксплуатации объекта [6].

Показатель качества  $F\bar{e}$  пропорционален квадрату отклонений значений контролируемого показателя  $\gamma_{zk}(\gamma_{zn})$  от его номинального значения:

$$\bar{F}_e = \left[ \frac{2}{\gamma_{zk}^{max} - \gamma_{zk}^{min}} \left( \gamma_{zf} - \frac{\gamma_{zk}^{max} + \gamma_{zk}^{min}}{2} \right) \right]^2, \quad (3)$$

где  $\gamma_k$  – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, устанавливаемый при обосновании методов первичной защиты;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, по данным контроля коррозионного состояния в период эксплуатации.

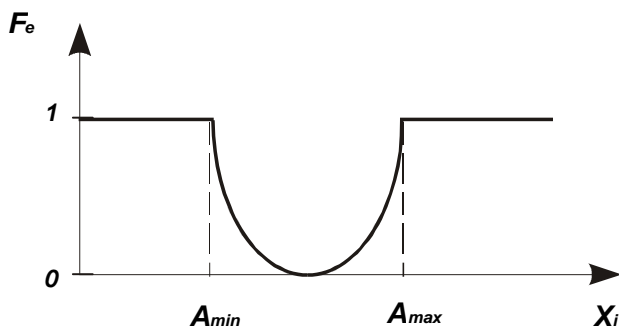


Рис. 3. Графическая зависимость экспертной оценки показателя качества эксплуатации

**Определение целей и задач исследования.** Целью работы является формирование мероприятий по обеспечению коррозионной защищенности основных фондов, как фактора обеспечения устойчивого функционирования промышленных предприятий на основании приведенной характеристики потери качества эксплуатации металлоконструкции в условиях коррозионного износа.

**Основная часть исследования.** При выполнении комплекса мероприятий по выявлению причин аварийного обрушения рудно-грейферного крана, которое произошло на предприятии металлургического производства, изучены характеристики условий эксплуатации металлоконструкций, исследовано техническое состояние основных элементов главных и поперечных ферм моста, ездовых балок и элементов их крепления в соответствии с нормативными требованиями [9].

Условия эксплуатации металлоконструкций РГК характеризуются значительными динамическими воздействиями рабочих операций технологического процесса при влиянии коррозионно-агрессивных атмосферно-технологических воздействий среды эксплуатации (наличием пылевых отложений на металлоконструкциях; периодического увлажнения атмосферными осадками; воздействия коррозионно-агрессивных выделений).

В результате аварии произошло обрушение моста, консольных участков пролетного строения крана на конструкции бункерной эстакады, железнодорожные пути, вагоны подвижного железнодорожного состава, находившиеся под разгрузкой (рис. 4, 5).

По данным экспертного обследования, диагностики технического состояния установлено, что наиболее вероятной причиной обрушения конструкции является потеря несущей способности (с развитием усталостных явлений) при достижении предельного состояния (первой и второй групп) элементов гибкой опоры, пролетного строения.

Также причинами выявленного неудовлетворительного эксплуатационного состояния конструкций явились низкая технологическая дисциплина при эксплуатации и обслуживании конструкций, нарушение требований проектной документации и технологических регламентов.

Результаты численных исследований НДС несущих конструкций РГК основывались на методике расчета, с учетом специфики конструкций мостовых перегружателей, заключающейся в характере их работы [10]. Усилия в элементах определялись методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса «ЛИРА-САПР». Результаты численных исследований приведены на рис. 6.

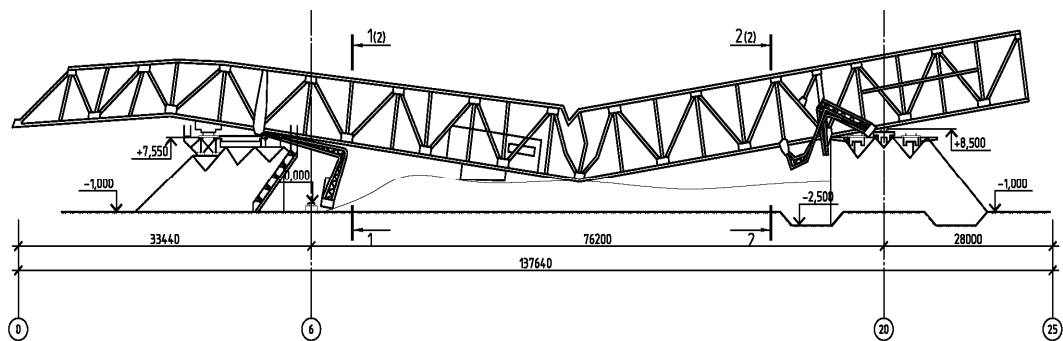
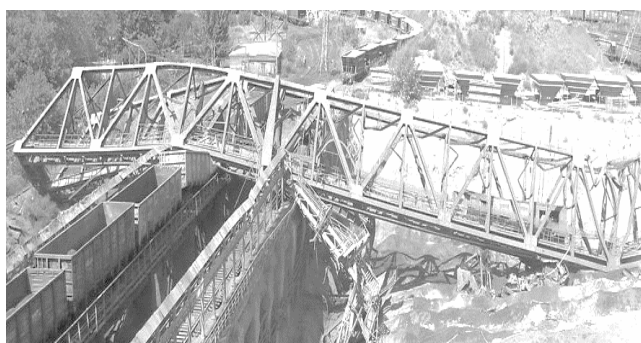


Рис. 4. Схема разрушения конструкций РГК

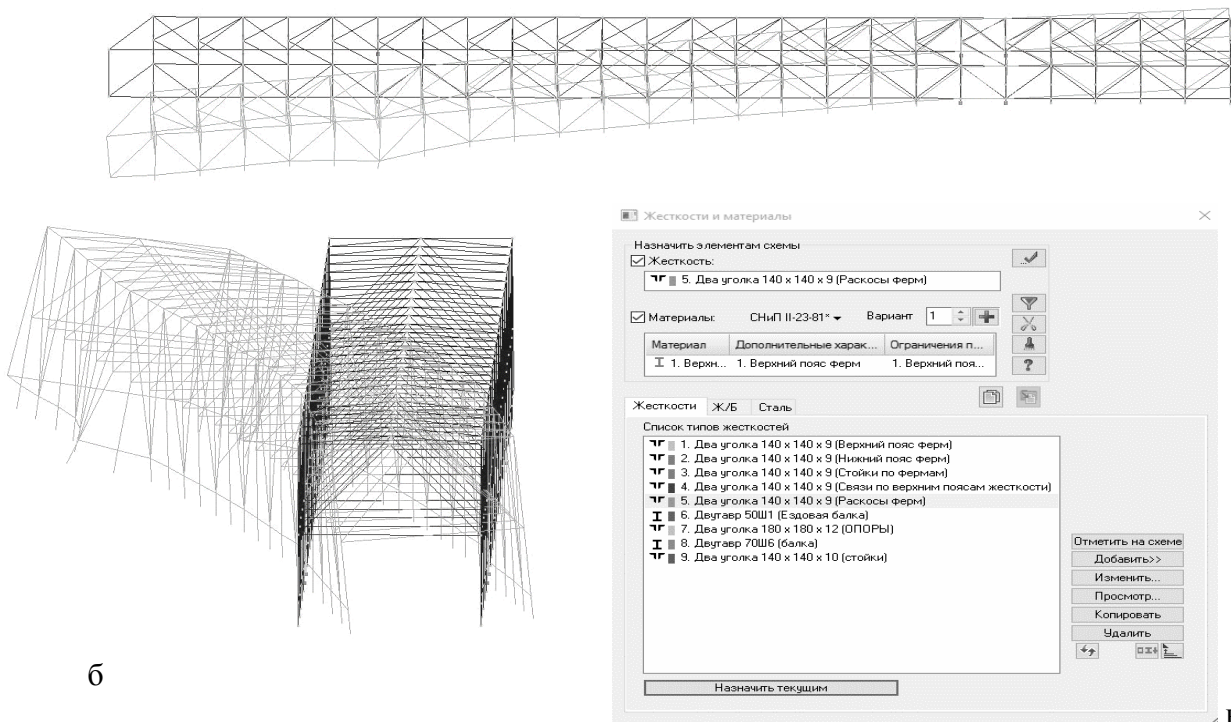


а



б

Рис. 5. Расположение конструкций крана после аварии: а – конструкции консольного участка моста и гибкой опоры; б – мост крана со стороны жесткой опоры



а

б

в

Рис. 6. Результаты исследования НДС: а – исходная и деформированная схема; б – проекция на плоскость XOZ; в – жесткостные характеристики конструктивных элементов



**Выводы**

1. Практическая реализация предложенного методического подхода позволила сделать ряд выводов: работоспособное состояние рудно-грейферного крана в целом характеризуется обобщающими показателями действительного состояния конструкций; устанавливается функциональная зависимость между работоспособностью перегружателя и значениями обобщающих показателей; контроль состояния выполняется проверкой нахождения в допустимых пределах значений этих показателей (таблица).

2. По данным мониторинга технического состояния установлено, что при III категории технического состояния, высоком уровне уязвимости для группы ответственности R2 уровень риска стальных конструкций перегружателя по технологической безопасности составляет 8 баллов в соответствии с требованиями таблицы.

3. Разработанный методический подход обеспечивает формализацию основных

задач оценки уровня риска по показателям технологической безопасности:

- выбора режима контроля параметров конструкций по результатам оценки повреждаемости и допустимым интервальным значениям ремонтпригодности; количественной оценки показателей ремонтпригодности на основании расчета стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность;

- анализа уровня уязвимости стальных конструкций в зависимости от степени критичности (категории) дефектов и повреждений; оценивание угроз (категории технического состояния) при эксплуатации по фактическому состоянию для установленных значений ремонтпригодности стальных конструкций;

- восстановление эксплуатационных свойств, продление ресурса стальных конструкций и понижение уровня риска при реализации мер программы обеспечения надежности производственных зданий и сооружений.

Таблица

Уровни рисков по технологической безопасности  $R_i$

Группы ответственности по технологической безопасности. Объекты с функциями	Уровень угрозы (категория технического состояния)														
	Низкий (I)			Ограниченный (II)			Средний (III)			Высокий (IV)			Предельный (V)		
	Оценка уязвимости (категория ответственности)														
	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А
обслуживания непроизводственного назначения R5	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	6	5	6	6
обслуживания производственного назначения R4	2	3	3	3	4	5	4	5	6	5	6	7	6	7	7
вспомогательных объектов R3	3	3	4	4	5	6	5	6	7	6	7	8	7	8	8
основных, допускающие ремонт и техническое обслуживание без регламентной остановки R2	4	4	5	5	5	7	6	7	8	7	8	9	8	9	9
основных, для которых ремонт и техническое обслуживание выполняется при регламентной остановке R1	5	5	6	5	6	7	7	8	8	8	9	10	9	10	10

*Список использованных источников*

1. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
2. Bingen, Yang Stress, strain, and structural dynamics / Bingen Yang // USA: Elsevier Academic Press. – 2005. – 961 p.
3. Dhillon, B. S. Engineering and Technology Management Tools and Applications/ B.S. Dhillon // Artech House TM@Professional Development Library: - 2002. - 401 p.
4. Dhillon B.S. Engineering reliability - new techniques and applications B S Dhillon and C Singh, John Wiley & Sons, USA (1981) ISBN 0 471 05014 8, 339 p.
5. Dhillon, B.S. Reliability, quality and safety for engineers / Dhillon B.S //By Technometrics Reads Impact Factor:48(1): 2006. - P. 151-152.
6. 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.
7. Гибаленко, А. Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах [Текст] / А. Н. Гибаленко // Зб. наук. праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 3 (45). – С.110 – 116.
8. Taguchi, G. Taguchi's Quality Engineering Handbook / Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yui Wu. – U.S.A.: John Wiley & Sons. – 2004. – 1696 p.
9. Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85) [Текст] / сост.: А. И. Голубев, Е. В. Горохов, В. П. Королев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 51 с.
10. 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.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.П. Корольов

---

Гібаленко Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Будівництво, технічна експлуатація і реконструкція», ГВУЗ, «Приазовський державний технічний університет». Тел. +38 (050) 473-14-52. E-mail: alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225.

Gibalenko Oleksandr, PhD. Sc. Associate Professor, Department of Construction, Technical Operating and Reconstruction, Pryazovskyi State Technical University. Tel.: +38 (050) 473-14-52. E-mail: alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225.

Стаття прийнята 10.05.2016 р.