

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ РИСКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В. П. Королёв, И. В. Куценко

Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет»
ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87555, Украина. E-mail: kigorvlad@gmail.com

Изложен методический подход к управлению технологической безопасностью конструкций и сооружений по уровню коррозионной опасности промышленных объектов. Высокий уровень износа основных фондов и предельные сроки службы конструкций зданий и сооружений являются существенными угрозами технологической безопасности. Технологическая безопасность достигается временным резервированием несущей способности стальных конструкций с учётом функциональной живучести систем коррозионной защищённости при приемлемом риске последствий коррозионно-механического разрушения промышленных объектов. Резервирование как универсальный метод обеспечения надежности применяется при установленной процедуре коррозионного мониторинга и диагностики систем противокоррозионной защиты конструкций. Сформирована логистическая система резервирования живучести конструкций на основе признаков коррозионной опасности промышленных объектов. Развитие положений работы позволило предложить классификацию признаков технико-технологических рисков для возобновления защиты от коррозии конструкций при техническом обслуживании по фактическому состоянию.

Ключевые слова: мониторинг коррозионной защищенности, риск-диагностика коррозионной опасности, защита от коррозии, управление технологической безопасностью, технического обслуживание по фактическому состоянию.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

В. П. Корольов, І. В. Куценко

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»
вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна. E-mail: kigorvlad@gmail.com

Викладено методичний підхід щодо керування технологічною безпекою конструкцій та споруд за рівнем корозійної небезпеки. Високий рівень зносу основних фондів і граничні терміни служби конструкцій будівель і споруд є суттєвими загрозами технологічній безпеці. Технологічна безпека досягається тимчасовим резервуванням несучої здатності сталевих конструкцій з урахуванням функціональної живучості систем корозійної захищеності при прийнятному ризику наслідків корозійно-механічного руйнування промислових об'єктів. Резервування як універсальний метод забезпечення надійності застосовується при встановленій процедурі корозійного моніторингу і діагностики систем протикорозійного захисту конструкцій. Сформована логістична система резервування живучості за ознаками корозійної небезпеки промислових об'єктів. Розвиток положень роботи дозволило запропонувати класифікацію ознак техніко-технологічних ризиків для відновлення захисту від корозії конструкцій при технічному обслуговуванні за фактичним станом.

Ключові слова: моніторинг корозійної захищеності, ризик-діагностика корозійної небезпеки, захист від корозії, управління технологічною безпекою, технічне обслуговування за фактичним станом.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Реформа системы технического регулирования в строительном комплексе Украины по правилам Европейского Союза направлена на обеспечение качества, надежности и безопасности по требованиям международных стандартов, создание благоприятных условий для адаптации национальных технических регламентов и гармонизации строительных норм и правил. Защищенность промышленных объектов связана с совокупностью организационно-технических мероприятий, включающих комплексное воздействие на потенциальные и реальные угрозы, результатом которого является нормальное функционирование зданий и сооружений в нестабильных условиях внешней и внутренней среды. Применительно к объектам строительства проектная надежность и конструктивная безопасность определяются характеристиками прочности, ресурса и живучести, которые устанавливаются по условиям технического задания [1, 2]. Способность противостоять угрозам аварий и разрушений, сохранять пригодность к нормальной эксплуатации регламентированы порядком проведе-

ния обследования действующих объектов строительства. Таким образом, обеспечение надежности и безопасности конструкций зданий и сооружений включает выявление угроз стабильного развития, разработку программ обеспечения надежности (ПОН) и реализацию мер защиты промышленных объектов при техническом обслуживании, ремонте, усилении и реконструкции.

В современных условиях, когда хозяйствующие субъекты нацелены на извлечение максимальной прибыли, затраты на поддержание качества и надежности конструкций зданий и сооружений не отвечают требованиям безопасной эксплуатации промышленных объектов. Поэтому актуальным является использование новых подходов к оценке технологической безопасности, как состояния защищенности объектов при техническом обслуживании по фактическому состоянию [3–5]. Технологическая безопасность представляет важную структурную составляющую безопасности предприятия, характеризующую систему мер для поддержания работоспособности, повышения эксплуатационных свойств конструкций зданий, сооружений и

инженерных сетей, которые полностью или в значительной степени исчерпали свой нормативный ресурс. Такие объекты рассматриваются как источники потенциальной опасности при модернизации (техническом переоснащении), реконструкции и продлении срока их эксплуатации. Реализация требований технологической безопасности позволяет использовать показатели пассивной надежности для принятия решений на основе анализа рисков [6, 7]. Указанное обстоятельство имеет первостепенное значение для построения корпоративной вертикально интегрированной структуры технического регулирования безопасности при переходе от отраслевого к сетевому управлению. Преимуществом оценки технологической безопасности является построение системы учета и функционального контроллинга, анализа и регулирования коррозионной защищенности для восстановления работоспособности корродирующих конструкций. Процессный подход к определению приемлемого риска позволяет обосновать рациональное распределение инвестиционных ресурсов во избежание перерасхода или их нецелевого использования.

Целью статьи является обоснование методики управления коррозионной защищенностью корродирующих конструкций по критериям технологической безопасности промышленных объектов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Риск-диагностика промышленных объектов на-

правлена на развитие производственно-хозяйственной деятельности предприятия, выявление отклонений от нормального режима функционирования, а также предупреждение возможных угроз и потерь. Последовательность операций риск-диагностики включает анализ факторов риска (потенциальных угроз), оценку уязвимости конструкций зданий и сооружений, выявление соответствия превентивных мер обеспечения работоспособности объектов требованиям антикризисного управления.

Стратегия внедрения требований технологической безопасности направлена на достижение максимальных результатов для формирования программ обеспечения надежности (ПОН) на основе критериев приемлемого (остаточного) риска. При этом, остаточный риск характеризует вероятность и последствия наступления неблагоприятных для производственной деятельности событий после реализации мер риск-диагностики и ПОН. Применительно к контролю коррозионного состояния и восстановления противокоррозионной защиты в настоящее время действуют рекомендации Пособия к СНиП 2.03.11-85. Для управления коррозионной защищенностью корродирующих конструкций на основе требований ДСТУ Б В.2.6-193 предлагается использовать классификационные признаки технико-технологических рисков систем противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК), представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Классификация признаков технико-технологических рисков восстановления работоспособности корродирующих конструкций

Состояние СПЗК	Класс риска	Наименование риска	Характеристика потерь	Показатель технологической безопасности (R_r , балл)	Размер потенциального ущерба, м.р.з.п.*
Коррозионная опасность	1	Катастрофичный	Частичное или полное разрушение конструкций и сооружений	9 – 10	> 72500
	2	Критичный	Потери превышают расчетные суммы валового дохода восстановления объектов	7 – 8	25000–72500
Коррозионная защищенность	3	Допустимый	Потери не превышают расчетные суммы прибыли при продлении ресурса и технологическом обновлении	5 – 6	2500 – 25000
	4	Приемлемый	Потери не превышают затрат на поддержание качества в период срока эксплуатации объекта	1 – 4	< 2500

* м.р.з.п. – минимальный размер заработной платы

Разработанная методика риск-диагностики надежности основана на резервировании коррозионной защищенности по конструктивным и технологическим решениям первичной и вторичной защиты для установленных категорий ответственности СПЗК [8]. Категории ответственности конструкций по коррозионной защищенности устанавливаются с учетом частичного (в пределах допустимого) снижения параметров работоспособности первичной защиты (коэффициент надежности γ_{zk}) и вторичной защиты (коэффициент надежности γ_{zn} , обобщенный показатель защитных свойств A_z) в зависимости от класса риска (табл. 2).

Последовательность этапов обеспечения качества и надежности СПЗК отражает стратегию деятельности DMAIC (define, measure, analyze, improve, control): определения, измерения, анализа, совершенствования и контроля уровня технологической безопасности промышленных объектов [9]. Методика риск-диагностики включает унифицированные определяющие параметры коррозионного состояния (ОПКС), которые используются при мониторинге защищенности (определение, надзор и контроль) и диагностике (анализ и усовершенствование). Алгоритм принятия решений для риск-диагностики корродирующих конструкций представлен на рис. 1.

Таблиця 2 – Параметри работоспособности корродирующих конструкций по классам риска СПЗК

Обозначение категории ответственности	Условие резервирования / требование соответствия категории ответственности	Класс риска	Интервальная оценка отказа по техническим критерием:		Коэффициент надежности	
			A_z	h_k , мкм	γ_{zn}	γ_{zk}
П1	ВР / Не допускается снижение декоративных свойств вторичной защиты	3	0,85	-	0,99	0,95
		4	0,90		1,00	0,99
П2	ВР / Не допускается снижение защитных свойств вторичной защиты	3	0,55		0,95	0,9
		4	0,60		0,99	0,95
П3	ПР / Допускается снижение защитных свойств вторичной защиты	3	0,40	50	0,90	0,85
		4	0,45	30	0,95	0,9
П4	ПР / Допускается снижение характеристик вторичной защиты	3	0,30	100	0,85	0,8
		4	0,35	70	0,90	0,85

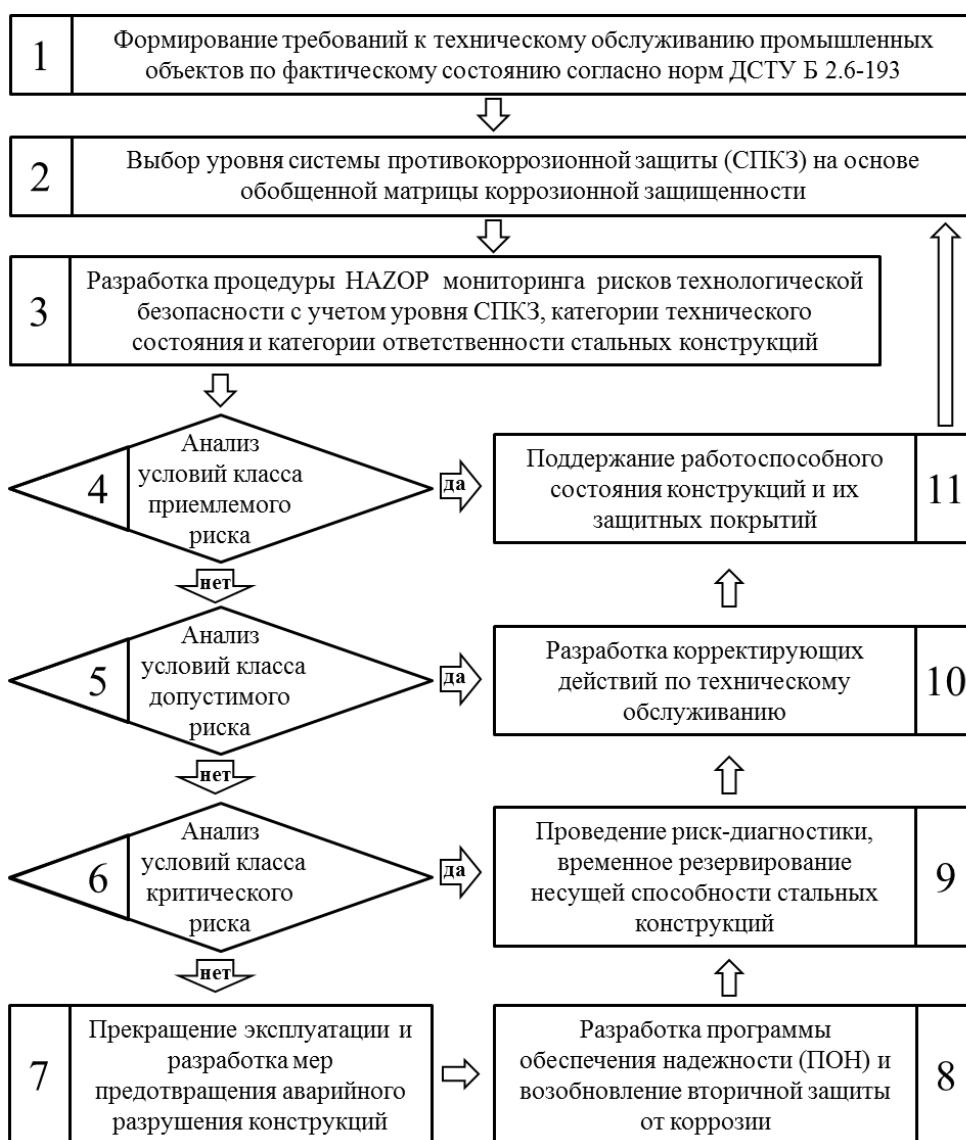


Рисунок 1 – Логическая схема управления коррозионной защищенностью на основе данных риск-диагностики

Принятие решений производится на основе мониторинга коррозионной защищенности, включающего оценку степени критичности дефектов и повреждений конструкций согласно процедуры HAZOP по нормам менеджмента рисков

IEC/ISO 31010 [10–12]. Ранжирование технологической безопасности (R_i , балл) предлагается производить в зависимости от класса рисков СПЗК, уровня угроз и уязвимости корродирующих конструкций (табл. 3).

Таблица 3 – Технологическая безопасность (R_i , балл) в зависимости от класса риска СПЗК, уровня угроз и уязвимости конструкций зданий и сооружений

Уровень СПЗК	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
ZI	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6
ZII	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7
ZIII	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7
ZIV	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8
KI	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8
KII	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9
KIII	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9
KIV	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10
KV	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10

Количественная оценка уровня технологической безопасности конструкций и класса риска позволяет объединить данные мониторинга (служба технической эксплуатации) и диагностики коррозионной

защищенности (специализированные организации) для обеспечения приемлемого риска при восстановлении работоспособности корродирующих конструкций (табл. 4).

Таблица 4 – Категории ответственности промышленных объектов по технологической безопасности

Уровень угрозы	Низкий (0)	Средний (I)	Приемлемый (II)	Высокий (III)	Критический (IV)	Недопустимый (X)
Уровень безопасности, R_i	1 — 2	3 — 4	5 — 6	7 — 8	9 — 10	—
Категория технического состояния	I Исправное	II Неисправное	III Работоспособное	IV Ограниченно работоспособное	V Предельное (предаварийное)	X аварийное
Сигнальный цвет опасности	Желтый	Зеленый	Синий	Оранжевый	Красный	Черный
Категория ответственности	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_X
Коэффициент технологической безопасности γ_{sr}	Более 1,2	От 1,15 до 1,2	»1,1 »1,15	»1,05 » 1,1	»1,00 »1,05	Менее 1,0

Управление рисками при эксплуатации конструкций по фактическому состоянию. Условия определения количественных параметров живучести при угрозах 2 класса рассмотрено на примере результатов обследования коррозионного состояния пролетных строений транспортных галерей, выполненных ДонЦТБ ООО «Укринсталкон им. В.М. Шимановского» (табл. 5).

Применена оценка уровня технологической безопасности (R_i , балл) с использованием принципа единичного отказа для соответствующего класса риска по данным мониторинга коррозионной защищенности объектов. Дальнейшее развитие получила методика регистрации дефектов и повреждений, по определению







расчетных параметров живучести на основе формул (1, 2).

Определен интегральный показатель живучести (η), как характеристика снижения пропускной способности регулирования ресурса при деградации конструкций в процессе эксплуатации объекта:

$$\eta = 1 - 1/(\Gamma - \psi), \quad (1)$$

где $\Gamma = \Phi/N$ – отношение резерва надежности; N – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе, кН; Φ – предельное усилие, кН, которое может воспринять элемент с характеристикой повреждаемости Θ_f .

Таблица 5 – Результаты риск-диагностики пролетных строений транспортерных галерей

Класс риска/ R_i , бал	Общий вид объекта	Техническое состояние при обследовании	Параметры риск-диагностики			
			Работоспособность		Живучесть	
			A_z	$\gamma_{zk}(\gamma_{zf})$	ψ_m	η_m
2/7	Конвейерная галерея центральной обогатительной фабрики Торезская		0,35 – 0,50	0,50 – 0,65	0,50 – 0,35	2,15 – 2,25
						
3/6	Мост конвейера углеподготовительного цеха Авдеевского коксохимзавода		0,45 – 0,70	0,80 – 0,85	0,20 – 0,15	1,90 – 2,05
						
4/2	Конвейерные галереи обогатительной фабрики г. Покровск		0,50 – 0,80	0,95 – 1,00	0,05 – 0,00	1,45 – 1,65
						

По данным мониторинга коррозионной защищенности установлен коэффициент обратной связи (ψ_m):

$$\psi_m = 1 - \gamma_{zf}; \quad (2)$$

где γ_{zf} – коэффициент коррозионных потерь.

Численные расчеты параметров НДС при определении несущей способности стальных конструкций пролетных строений выполнены с использованием вычислительного комплекса «SCADOffice».

ВЫВОДЫ. Установлено, что технологическая безопасность корродирующих стальных конструкций может быть достигнута путем разработки и внедрения программ обеспечения надежности, ко-

торые включают риск-диагностику и резервирование мер первичной и вторичной защиты на условиях приемлемого риска. Определены качественные и количественные критерии оценивания коррозионной защищенности при резервировании работоспособности элементов первичной и вторичной защиты с учетом технического обслуживания стальных конструкций и их защитных покрытий по фактическому состоянию.

Разработан алгоритм идентификации угроз и принятия решений при восстановлении работоспособности корродирующих конструкций согласно процедуре HAZOP, для управления уровнем технологической безопасности промышленных объектов с учетом приемлемого риска СПЗК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений / А.В. Шимановский, В.Н. Гордеев, В.П. Королёв, А.И. Оглобля, И.Р. Рухович, Ю.В. Филатов. – К.: Сталь, 2008. – 463 с.

2. Шимановський О.В., Корольов В.П. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 1. – С. 4–9.

3. Королёв В.П., Филатов Ю.В. Учет требований технологической безопасности при оценивании рисков эксплуатации промышленных объектов в коррозионных средах // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – 2007. – № 1. – С. 98–103.

4. Филатов Ю.В. Методика оценки уровня повреждаемости по данным мониторинга технического состояния конструкций // Науковий вісник будівництва. – 2008. – № 46. – С. 88–91.

5. Реинженеринг для обеспечения технологической безопасности конструкций зданий и сооружений / В.П. Королёв, О.Б. Лотоцкий, Ю.В. Филатов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 2. – С. 26–33.

6. Филатов Ю.В., Королёв В.П. Обеспечение технологической безопасности и защита от коррозии основных фондов и объектов инфраструктуры горно-металлургического комплекса компании «Донецксталь» // Инновационный дайджест: спец. выпуск. – 2012. – С. 34–36.

7. Развитие корпоративной системы менеджмента: технологическая безопасность производственных объектов / Ю.В. Филатов, В.П. Королёв, Ю.В. Селютин // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського. – 2014. – № 14. – С. 136–149.

8. Королёв В.П., Куценко И.В. Нормативное регулирование надежности и безопасности систем противокоррозионной защиты металлоконструкций // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 1. – С. 37–42.

9. Гибаленко А.Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах // Збірник наукових праць. Серія «Галузеве машинобудування, будівництво ПолтНТУ». – 2015. – № 35. – Т. 2. – С. 108–113.

10. Куценко И.В. Методика мониторинга живучести металлоконструкций с учетом уровня коррозионной опасности // Сталезализобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – 2016. – № 12. – С. 161–168.

11. Управление рисками коррозионной защищенности при решении прямой и обратной задач живучести стальных конструкций / П.В. Королёв, В.П. Королёв, И.В. Куценко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2016. – № 63. – С. 67–75.

12. Gorochov E.V., Korolev V.P. Durability of Steel Structures Under Reconstruction. – Rotterdam: Brookfield, 1999. – 305 p.

ASSURANCE OF CONSTRUCTION STRUCTURAL STEEL CORROSION PROOFNESS TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL SAFETY RISKS

V. Korolov, I. Kuschenko

Pryazovskyi State Technical University (PSTU)

vul. Universytets'ka 7, Mariupol 87555, Ukraine. E-mail: kigorvlad@gmail.com.

Purpose. Methodological approach has been developed to managing technological safety of structures and installations based on a level of an industrial facility corrosion proofness. **Methodology.** As used here, the concept of corrosion hazard includes indicators determining corrosion state or situation (threat) at which the probability of damage increases. Process-approach to ensuring process safety of structures reflects *DMAIC* action strategy (define, measure, analyze, improve, control). At the stage of corrosion monitoring, the basis for decision making is the level of process safety risk with the use of a 10-point scale. Reservation as a universal method of reliability assurance is used upon an established procedure of corrosion monitoring (define, measure) and diagnostics (analyze, improve, control) system of corrosion protection of structural steel. **Results.** Process safety is achieved with the time reservation of the load capacity of structural steel with account for functional survivability of corrosion protection system under an acceptable risk of consequences of industrial facilities stress-corrosion fracture. Thus, conditions are being created for logistical management and analysis of risks of structural solutions of reliability assurance programs when extending industrial facility life. **Originality.** A high level of the fixed assets depreciation and limited life span of structures pose a significant threat to technological safety. Technological safety is an important structural component of the enterprise safety, which characterizes the system of measures for maintaining serviceability and improving performance of structures that have completely or largely exhausted their design life. Such facilities are viewed as a source of potential hazard in the course of their modernization (refurbishment), revamp, and service life extension. **Practical value.** Logistical system has been generated for structural survivability reserve planning on the basis of signs of corrosion hazard. Development of the provisions of work has allowed proposing a classification of technical and process risks signs under restoration of structure corrosion protection while maintaining and repairing facilities in their actual state.

Key words: monitoring of corrosion proofness, diagnostics of risk of corrosion hazard, corrosion protection, management of technological safety, actual condition-based maintenance (CBM).

REFERENCES

1. Shimanovsky, A.V., Gordeev, V.N., Korolyov, V.P., Ogloblya, A.I., Rukhovich, I.R., Filatov, Yu.V. (2008), *Technicheskaya diagnostika I preduprezhdenie avariynich situatsiy konstruktivnykh zdaniy I sooruzheniy* [Technical diagnostics and the prevention of emergency situations of constructions of buildings and constructions], Steel, Kiev, Ukraine.

2. Shimanovsky, A.V., Korolyov, V.P. (2008) "Conceptual bases of the system of technical regulation of reliability and safety of building structures", *Prromislove budivnitsvo ta inzhenerni sporudi*, no. 1, pp. 4-9.

3. Korolyov, V.P., Filatov, Yu.V. (2007) "Accounting for the requirements of technological safety in assessing the risks of exploitation of industrial facilities in

corrosive environments”, *Sovremennye stroitelnie konstruktsii iz metalla i drevesini*, part 1, pp. 98-103.

4. Filatov, Yu.V. (2008) “Method for assessing the level of damageability by datas of monitoring the technical condition of structures”, *Naukoviy visnik budivnitstva*, no. 46, pp. 88-91.

5. Korolyov, V.P., Lototsky, O.B., Filatov, Yu.V. (2008) “Reengineering for maintenance of technological safety of constructions of buildings and constructions”, *Promislove budivnitstvo ta inzhenerni sporudi*, no. 2, pp. 26-33.

6. Filatov, Yu.V., Korolyov, V.P. (2012) “Provision of technological safety and protection against corrosion of fixed assets and infrastructure facilities of the mining and metallurgical complex of the company "Donetsktal", *Innovatsionniy daidzhest : spets. Vipusk (mart 2012)*, pp. 34-36.

7. Filatov, Yu.V., Korolyov, V.P., Selyutin, Yu.V. (2014) “The development of corporate system of management : technological safety of production facilities”, *Zbirnik naukovich prats Ukrainського institutu stslevich konstruktsiy im. V.M. Shimanovskogo*, no. 14, pp. 136-149.

8. Korolyov, V.P., Kuschenko, I.V. (2016) “Normative regulation of reliability and safety of systems of anticorrosive protection of metal structures”, *Promishlenoe I grazhdanskoє stroitelstvo*, no. 1, pp. 37-42.

9. Gibalenko, A.N. (2015) “Monitoring of residual life of metal structures in corrosive environments”, *Zbirnik naukovikh prats. Seria: Galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo PNTU*, no. 15, Vol. 2, pp. 108-113.

10. Kuschenko, I.V. (2016) “Method for monitoring the survivability of metal structures taking into account the level of corrosion hazard”, *Stalezalizobetonni konstruktsiyi: doslidzhenna, projektuvanna, budivnitstvo, ekspluatatsia*, no. 12, pp. 161-168.

11. Korolyov, P.V., Korolyov, V.P., Kuschenko, I.V. (2016) “Risk management of corrosion protection in solving the direct and inverse problems of the survivability of steel structures”, *Visnyk Odes'koi derzhavnoi akademii budivnitstva ta architekturi*, no. 63, pp. 67-75.

12. Gorochoy, E.V., Korolyov, V.P. (1999) *Durability of Steel Structures Under Reconstruction*, Brookfield, Rotterdam, Netherlands.

Стаття надійшла 12.06.2017.