

**ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ МЕР ПО ЗАЩИТЕ  
ОТ КОРРОЗИИ ТРЕБОВАНИЯМ НАДЕЖНОСТИ  
СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**  
**ASSESSMENT OF COMPLIANCE OF CORROSION PROTECTION  
MEASURES WITH RELIABILITY REQUIREMENTS OF  
STRUCTURAL STEEL**

*д.т.н., проф. Королёв В.П., (ГВУЗ «Приазовский государственный  
технический университет», г. Мариуполь), center\_sts@ukr.net*

*Prof. Dr.-Ing. Korolov V.P., (State Higher School  
«Priazovsky State Technical University», Mariupol)*

*ст. н.с., Магунова Н.Г. (ООО «Укринсталькон  
им. В.Н. Шимановского», г. Киев)*

*Senior Researcher, Magunova N.G., («V.N. Shimanovsky Ukrinstalkon  
LTD, Kiev)*

*ст. преп. Годун Т.Н. (ГВУЗ «Приазовский государственный  
технический университет», г. Мариуполь)*

*Senior Teacher, Godun T.N., (State Higher School  
«Priazovsky State Technical University», Mariupol)*

**Аннотация**

Выполнен анализ современных нормативных положений, устанавливающих требования надежности к проектированию системы противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК). Рассмотрены условия необходимые при расчетном определении и оценке соответствия сроков службы металлических конструкций и их защитных покрытий на основе метода предельных состояний. Представлен порядок выполнения расчетно-измерительного контроля и статистического обоснования технических характеристик коррозионной стойкости и долговечности при подтверждении соответствия проектных требований противокоррозионной защиты металлоконструкций.

Основным результатом теоретических и экспериментальных исследований является разработка расчетно-измерительного метода оценки соответствия проектных требований СПЗК при эксплуатации строительных объектов.

**Ключевые слова:** коррозионная стойкость, долговечность, первичная защита, вторичная защита, расчетно-измерительный метод, оценка соответствия, металлические конструкции, предельные состояния.

The current regulations have been analyzed which determined the reliability requirements for design of the system for corrosion protection of

structural steel (SCPSS). Conditions have been considered which are necessary for determining and estimating the conformity of metal structure service life and their protective coatings based on the limit state method. The order is provided of carrying out the computational and measurement inspection and statistical justification of corrosion resistance and durability specifications when assessing conformity of the design requirements for corrosion protection of structural steel.

The main result of the theoretical and experimental studies is the development of the computational and measurement method for assessing compliance of the design requirements for SCPSS in the course of building facility operation.

**Key words:** corrosion resistance, durability, primary protection, secondary protection, computational and measurement method, compliance assessment, structural steel, limit states.

**Постановка проблемы.** На всех этапах развития и совершенствования металлических конструкций значительное внимание уделялось дополнительным мерам, направленным на повышение коррозионной стойкости и огнезащиты сооружений [1, 2].

Как известно, основные требования EN 1990 по обеспечению качества и надежности конструкций должны быть выполнены путем расчета по методу предельных состояний с использованием частных коэффициентов безопасности, приведенных в EN 1990, и сочетаний нагрузок, установленных в EN 1991. Обеспечение несущей способности, эксплуатационной пригодности и долговечности осуществляется согласно правил EN 1993.

Противопожарные нормы EN 1993-1-2 определяют подход к проектированию конструкций с учетом предела огнестойкости. Проверку соответствия огнестойкости требованиям пассивной противопожарной защиты выполняют на основании анализа конструктивных систем, их частей и отдельных конструкций с применением опытных или табличных данных, упрощенных и общих методов расчета. Анализ проводится для установленных расчетных ситуаций моделей тепловых и механических воздействий и характеристик конструкций.

В отличие от расчетных моделей EN 1990, EN 1991 для обеспечения коррозионной стойкости по нормам EN 1993 используются характеристики систем защитных покрытий (EN ISO 12944, EN 1461) и нержавеющей стали (EN 1993-1-4). Таким образом, ограничиваются возможности анализа эксплуатационных и аварийных воздействий для расчетной оценки долговечности с учетом износа. Негативные воздействия в условиях старения материалов, коррозии или усталости пред-

лагається учитивати путем належного вибору матеріалів (EN 1993-1-4 і EN 1993-1-10),или путем конструктивного запасу і вибору відповідної системи захисту від корозії.

На основі вищеизложеного можна заключити, що принципи оцінки надійності споруджень, сформульовані в EN 1990 і EN 1991 успішно реалізовані при побудові правил визначення вогнестійкостистальних конструкцій EN 1993-1-2. Разом з цим, неосомненну актуальність представляє розрахункова оцінка надійностісистем протикорозійної захисту сталевих конструкцій по методу предельних состояний з використанням частинних коефіцієнтів безпеки по правилам EN 1990, і поєднаній навантажень, установлених в EN 1991.

**Цель и задачи исследования.**Целью статьи является формирование единого методологического подхода к оценке коррозионной защищенности по требованиям надежности стальных конструкций, определенных EN 1990, EN 1991 и EN 1993.

Реализация работ в данном направлении связана с научно-техническим сопровождением положений ДСТУ Б В.2.6-193:2013 «Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування», розробаного ТК-301 «Металлобудівництво».

ПК 4 «Протикорозійний захист у металобудівництві» утворено в складі ТК-301 на базі кафедри «Будівництво, технічна експлуатація і реконструкція» («СТЭР») ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет» («ПГТУ») в 2011 г. По результатам теоретических і експериментальних досліджень визначено порядок розрахунків на корозійну стійкість, довговічність і ремонтпридатність по предельным состояниям для забезпечення якості СПЗК в відповідності з заданим рівнем корозійної небезпеки будівельного об'єкта [3 – 5].

Представлені в даній роботі матеріали направлені на обґрунтування пропозицій по розробці нормативних документів для розвитку системи забезпечення якості, надійності і безпеки конструкцій і споруджень:

- ДСТУ Б В.2.6-XX0 «Керівний документ щодо підтвердження відповідності засобів та методів протикорозійного захисту металевих конструкцій рівню корозійно небезпечної будівельної об'єктів» відповідно до Законів України: «Про стандартизацію», «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності»;

- ДСТУ Б В.2.6-XX1 «Настаново щодо контролю, діагностики та відновлення якості заходів захисту від корозії при

эксплуатации металлических конструкций» для замены пособия [6] к СНиП 2.03.11-85.

**Требования к надежности при проектировании СПЗК.** При разработке основных положений ДСТУ Б В.2.6-193 использованы базовые требования EN 1990 к предельным состояниям строительных конструкций. Проектирование противокоррозионной защиты включает процессный подход к управлению надежностью металлических конструкций. Сущность процессного подхода при выборе СПЗК заключается в анализе признаков коррозионной опасности (KI–KV), а также возможностей повышения коррозионной защищенности (ZI–ZIV) в соответствии с условиями табл. 1.

*Таблица 1* – Обобщенная матрица выбора уровня показателей надежности СПЗК

Обозначение воздействий	Интервальные оценки коэффициента готовности противокоррозионной защиты ( $K_g$ ) и степени агрессивности воздействий, ( $K$ , мм/год)				
	$0 < K_g \leq 0,1$	$0,1 < K_g \leq 0,3$	$0,3 < K_g \leq 0,5$	$0,5 < K_g \leq 0,7$	$0,7 < K_g \leq 1,0$
СА	Слабоагрессивные, $0,01 < K \leq 0,05$				
	KI	ZIV	ZIII	ZII	ZI
НА	Низкоагрессивные, $0,05 < K \leq 0,15$				
	KII	KI	ZIV	ZIII	ZII
ВА	Высокоагрессивные, $0,15 < K \leq 0,30$				
	KIII	KII	KI	ZIV	ZIII
ОВА	Очень высокоагрессивные, $0,30 < K \leq 0,50$				
	KIV	KIII	KII	KI	ZIV
СА	Сильноагрессивные, $K > 0,50$				
	KV	KIV	KIII	KII	KI

Область применения показателей надежности СПЗК включает обоснование проектного срока службы, долговечности и управление качеством средств и методов противокоррозионной защиты конструкций (СМПЗК).

Целевым критерием надежности для СПЗК определен коэффициент готовности, который является комплексным показателем ремонтпригодности по конструктивным и технологическим мерам первичной и вторичной защиты металлоконструкций.

Положения 6 раздела ДСТУ Б В.2.6-193 обеспечивают возможность задания требований по надежности к СПЗК, что позволяет производить расчетную или расчетно-измерительную оценку показателей качества по данным сертификатов соответствия СМПЗК.

Указанное обстоятельство является принципиальным отличием от норм СНиП 2.03.11-85, в котором конструктивное исполнение защит-

ного покрытия включало требования табл. 29, а рекомендуемые материалы были ограничены справочным приложением 15.

В соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.6-193 конструкции и их защитные покрытия должны проектироваться, возводиться и эксплуатироваться таким образом, чтобы на протяжении проектного срока службы был обеспечен необходимый уровень надежности и экономической целесообразности:

- выдерживать воздействия и влияния, возникающие на протяжении сроков их возведения и предполагаемого использования;
- отвечать заданному уровню коррозионной защищенности, обладать достаточной коррозионной стойкостью, эксплуатационной пригодностью и долговечностью;
- обеспечивать конструктивную приспособленность и технологическую рациональность с учетом уровня коррозионной опасности;
- сохранять работоспособность в условиях мониторинга и диагностики коррозионного состояния по критериям живучести.

Реализация поставленных задач связана с использованием статистических методов для определения характеристических и расчетных значений коррозионной стойкости материалов и защитных покрытий, нормирования коррозионных воздействий и их сочетаний, оценки частных коэффициентов надежности СПЗК.

**Проверка коррозионной защищенности по предельным состояниям.** Коррозионно-разрушение металлических конструкций определяется внешним воздействием в режиме эксплуатации и зависит в первую очередь от степени агрессивности среды. Учет электрохимической кинетики коррозионного разрушения в прочностных расчетах производится на основе физических моделей, характеризующих изменения геометрических параметров и свойств материала во времени при действии нагрузок и агрессивных воздействий. С точки зрения аппарата строительной механики, допустимо при заданной СПЗК снижение несущей способности конструктивных элементов можно учитывать в расчетах по предельным состояниям с помощью фиктивных внешних нагрузок [7, 8]. Задача обеспечения технологической безопасности для установленного уровня коррозионной опасности заключается в обосновании расчетных ситуаций по условиям живучести при наличии коррозионных повреждений (рис.1).

Расчет на коррозионную стойкость, долговечность и ремонтную пригодность стальных конструкций связан с проверкой предельных состояний при заданном уровне коррозионной опасности. Расчеты предлагается выполнять с помощью частных коэффициентов, представленных в табл. 2.

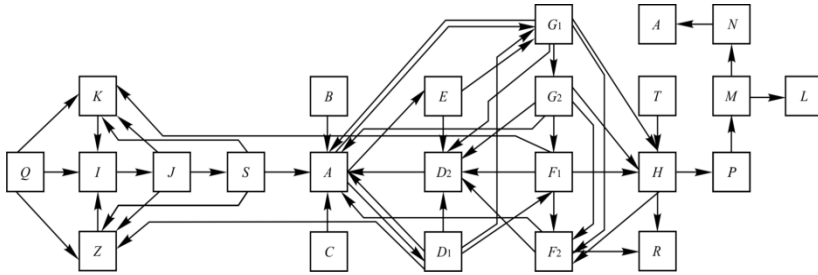


Рис.1. Обобщенная структурная модель расчетных ситуаций по вариантам признаков А–Z проявления коррозионной опасности

Обзор структуры частных коэффициентов надежности по данным табл. 2 позволяет заключить, что разработанный подход к проверке предельных состояний СПЗК соответствует условиям моделирования основных переменных, определяющих признаки коррозионной защищенности и коррозионной опасности стальных конструкций.

Таблица 2 – Частные коэффициенты при проверке предельных состояний

Основные переменные	Частные коэффициенты				
	Условия EN 1990		Условия национальных стандартов		
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Нормы
Воздействия	Коэффициент надежности по воздействиям	$\gamma_f$	Коэффициент надежности по воздействиям	$\gamma_{fk}$	ДСТУ Б В.2.6-193
Материалы, покрытия	Коэффициент надежности свойств материала	$\gamma_m$	Коэффициент надежности по коррозионной стойкости материала	$\gamma_{mk}$	ДСТУ Б В.2.6-XX0
			Коэффициент надежности первичной защиты	$\gamma_{zk}$	
			Коэффициент надежности вторичной защиты	$\gamma_{zn}$	
Эффекты воздействий	Коэффициент учета эффекта воздействий	$\gamma_{sd}$	Коэффициент коррозионных потерь	$\gamma_{cf}$	ДСТУ Б В.2.6-XXI

Статистическое оценивание возможных отклонений характеристик материалов и воздействий в неблагоприятную сторону от их нормативных значений  $A_n$ , позволяет обосновать коэффициенты надежности по воздействиям  $\gamma_{jk}$  и материалу  $\gamma_{mk}$ . Коэффициент надежности по воздействиям  $\gamma_{jk}$ , зависит от степени агрессивности и категории размещения конструкций (ДСТУ Б В.2.6-193, табл. 2).

Коэффициенты надежности против коррозионной защиты ( $\gamma_{zk}$ ,  $\gamma_{zn}$ ) учитывают допустимые отклонения эксплуатационных характеристик коррозионной защищенности конструктивных элементов в зависимости от категории ответственности СПЗК. Требования к показателям долговечности первичной и вторичной защиты устанавливаются с учетом заданного срока службы  $T_m$  стальных конструкций и степени агрессивности воздействий среды  $A_n$ .

**Расчетно-измерительный метод обеспечения качества СПЗК.** Подтверждение соответствия включает выполнение определительных испытаний образцов или фрагментов конструкций для подтверждения соответствия показателей качества СПЗК заданным расчетным значениям частных коэффициентов (рис.2).



а) ускоренные испытания материалов и покрытий; б) стендовые испытания при оценке эффектов воздействий.

Рис. 2. Основные типы испытаний первой категории по EN 1990

Оценку характеристического или расчетного значения отдельной характеристики материала или модели производится статистическим методом с учетом размера выборки и определительных признаков коррозионного состояния (ОПКС). В соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.6-193 интервальные характеристики ОПКС используются для контроля соответствия категории ответственности СПЗК уровню коррозионной защищенности или опасности строительного объекта.

Подтверждение соответствия показателей качества СМЗК требованиям конструктивной и технологической безопасности СПЗК производится расчетным или расчетно-измерительным методами на основе данных проектной спецификации:

- нормативных (базовых, характеристических) воздействий и репрезентативных значений факторов коррозионной агрессивности;
- расчетных характеристик коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности конструкций и их защитных покрытий;
- классификационных признаков уровня коррозионной опасности стальных конструкций и их защитных покрытий по категории ответственности;
- логистической структуры постоянных, временных и аварийных расчетных ситуаций менеджмента качества противокоррозионной защиты.

Установленная последовательность этапов обеспечения качества и надежности противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций отражает стратегию деятельности DMAIC (define, measure, analyze, improve, control): определение, измерение, анализ, совершенствование и контроль.

Нормирование показателей надежности СПЗК способствует систематизации ОПКС для выполнения мониторинга, диагностики и риск-анализа коррозионной защищенности конструкций зданий и сооружений [9,10].

**Выводы.** Базовые принципы строительных Еврокодов и положения ДБН В.2.6-198 и ДСТУ Б В.2.6-193 позволяют сформировать единый методологический подход к заданию надежности металлических конструкций и их защитных покрытий. На основании анализа принципов и правил EN 1990 обоснована структура частных коэффициентов надежности метода предельных состояний, позволяющая производить подтверждение соответствия мер противокоррозионной защиты с помощью расчетных ситуаций по признакам коррозионной опасности.

#### *Список литературы:*

1. Исаенко Д.В. Механизмы обеспечения безопасности зданий и сооружений в контексте положений Закона Украины «О регулировании градостроительной деятельности» / Промислове будівництво та інженерні споруди, №4, 2012, с. 2-7.
2. Шимановський О.В., Корольов В.П. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних



конструкцій / Промислове будівництво та інженерні споруди, №1, 2008, с. 4-9.

3. Королєв В.П. Реинжиниринг для обеспечения технологической безопасности конструкций зданий и сооружений / Королев В.П., Лотоцкий О.Б., Филатов Ю.В. // Промислове будівництво та інженерні споруди, №2, 2008, с. 26–33.

4. О.М. Гібаленко. Методологічні підходи до забезпечення якості та надійності протикорозійного захисту будівельних металоконструкцій/ Промислове будівництво та інженерні споруди, №2, 2016, с. 13-20.

5. Булєєв І.П. Нормативно-правове забезпечення технічного стану будівельних конструкцій за рівнем корозійної небезпеки / Булєєв І.П., Коновалов О.Ф., Корольов В.П. Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2011, № 3, с. 25 – 29.

6. Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защитных конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85) / Сост.: Голубев А.И., Горохов Е.В., Королев В.П. и др. М.: Стройиздат, 1989. – с.51.

7. V. Korolov. Management of the Quality of Corrosion Protection of Structural Steel Based on Corrosion Risk Level / V. Korolov, Yu. Filatov, N. Magunova, P. Korolov // Journal of Materials Science and Engineering A & B, Volume 3, Number 11. New York: David Publishing Company, 2013. P. 740 – 747.

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

9. В. Корольов. Моніторинг і діагностика будівельних металоконструкцій на основі ознак корозійної небезпеки/ В. Корольов, Ю. Селютін, І. Кущенко, Т. Годун // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2016. – № 11. – С. 276–283.

10. В. Корольов. Теоретичні і практичні аспекти ризик-аналізу корозійної захищеності конструкцій і устаткування промислових підприємств/ В. Корольов, Ю. Висоцький, О. Шевченко, П. Корольов/ Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2016. – № 11. – С. 284–291.