

УДК 624.014:620.193

Оценка соответствия качества противокоррозионной защиты требованиям надежности стальных конструкций

¹Королёв В.П., д.т.н., ²Амелина А.Ю., ²Греков Н.С.

¹ООО «Укринсталькон им.В.Н.Шимановского», ДонЦТБ, Украина

²ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Украина

Анотація. Показана необхідність оцінки показників надійності за граничними станами з урахуванням вимог корозійної стійкості, довговічності і ремонтно-придатності. Встановлені розрахункові характеристики сталевих конструкцій і їх захисних покриттів при заданих моделях експлуатації будівель і споруд. Розроблені регламентні процедури розрахунково-експериментального підтвердження відповідності якості захисних покриттів встановленому рівню корозійної небезпеки. Розрахункові характеристики сталевих конструкцій і їх захисних покриттів встановлюються за наслідками прискорених корозійних випробувань. Вимоги до категорії відповідальності протикорозійного захисту задаються з урахуванням типової моделі експлуатації. Вибір типової моделі експлуатації залежить від ступеня агресивності дій, конструктивної пристосованості і технологічної раціональності засобів захисту, прийнятої системи технічного обслуговування і ремонту.

Аннотация. Показана необходимость оценки показателей надежности по педельным состояниям с учетом требований коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности. Установлены расчетные характеристики стальных конструкций и их защитных покрытий при заданных моделях эксплуатации зданий и сооружений. Разработаны регламентные процедуры расчетно-экспериментального подтверждения соответствия качества защитных покрытий установленному уровню коррозионной опасности. Расчетные характеристики стальных конструкций и их защитных покрытий устанавливаются по результатам ускоренных коррозионных испытаний. Требования к категории ответственности противокоррозионной защиты задаются с учетом типовой модели эксплуатации. Выбор типовой модели эксплуатации зависит от степени агрессивности воздействий, конструктивной приспособленности и технологической рациональности средств защиты, принятой системы технического обслуживания и ремонта.

Abstract. Necessity of the reliability indices estimation according to the limiting states taking into account the requirements of corrosion resistance, durability and maintainability is shown. Design characteristics of the steel structures and their protective coatings are specified at the specified models of building and construction use. Regulation procedures of the design-experimental demonstration of protective coating quality compliance with the specified level of corrosion risk are developed. Design characteristics of the steel structures and their protective coatings are specified by the results of the accelerated corrosion tests. Requirements to the category of the corrosion protection responsibility are set taking into account the standard model of use. The choice of the standard model of use depends on environment corrosiveness degree, structural fitness and technological rationality of the protective means, and the adopted system of maintenance and repair.

Ключевые слова: показатели надежности, стальные конструкции, техническое обслуживание.

Введение. Промышленные предприятия, инженерные коммуникации, объекты жилищно-коммунального хозяйства и транспортной инфраструктуры включают сооружения, конструкции, машины и оборудование, которые при ухудшении эксплуатационных свойств могут переходить в категорию объектов повышенной опасности. Как правило, это становится реальностью при значительном уровне износа, отсутствии регламентных сроков обновления основных фондов, сложном экономическом и финансовом состоянии большинства субъектов хозяйственной деятельности. В последнее время к перечисленным причинам добавились проблемы низкого качества подготовки специалистов, устаревшая нормативно-техническая база, которые привели к снижению исполнительской дисциплины и эффективности технического обслуживания объектов, эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Вопрос «О состоянии защиты металлофонда Украины от коррозии» рассматривался на заседании Межведомственной комиссии по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины 13 октября 2009 г. В Решении комиссии указано на критическое состояние основных производственных фондов по уровню коррозионной защищенности, которое повышает риск возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера и представляет в соответствии со статьей 7 Закона Украины «Про основи національної безпеки України» угрозу национальной безопасности в экономической и экологической сферах. На основе анализа действующих нормативно-технических и организационно-экономических механизмов регулирования в сфере защиты металлов от коррозии установлено, что существующие подходы не соответствуют требованиям обеспечения безопасности продукции, изложенным в Директиве Европейского парламента и Совета 2001/95/ЕС от 3 декабря 2001 г. В качестве первоочередных мер Решением комиссии предлагается разработать законопроект «Об основных принципах государственной политики в сфере защиты металлофонда от коррозии» и государственную целевую экономическую программу ресурсосбережения и защиты от коррозии в базовых отраслях промышленности Украины.

Комплексный и многофакторный процесс коррозии и защиты материалов определен нормативной базой, которая включает свыше 125 стандартов «Единой системы защиты от коррозии и старения». Техническое определение коррозии является достаточно широким и классифицирует ее как взаимодействие материала с окружающей средой. На фундаментальном уровне проблема коррозии связана с изучением закономерностей механоэлектрохимической кинетики коррозионных процессов и механизмов противокоррозионной защиты. Материаловедческие аспекты основ-

ных тенденций разработки коррозионностойких материалов, средств и методов противокоррозионной защиты составляют общеинженерный уровень для преодоления огромного спектра явлений, сопровождающих деградационные процессы изделий и конструкций во всех отраслях экономики. Следовательно, коррозионные повреждения ухудшают эксплуатационные свойства, снижают несущую способность конструктивных элементов, что ведет к дополнительным затратам на восстановление работоспособности строительных объектов в процессе эксплуатации.

Учитывая тяжелые последствия бездействия последних двух десятилетий в области технического регулирования проблемы коррозии, разработка основ государственной политики и новой концепции государственной программы защиты от коррозии должны опираться на принципы стратегического антикризисного управления. При таком подходе понятие коррозионной опасности включает определенное состояние или ситуацию (угрозу), при которых увеличивается вероятность наступления ущерба в связи с тем, что данное коррозионное состояние или отклонение от нормальной эксплуатации являются потенциальной причиной (угрозой) наступления опасности или того, что может повлиять на размер ущерба.

Целью статьи является обоснование методики процессного подхода к обеспечению качества противокоррозионной защиты строительных металлоконструкций по критериям коррозионной опасности строительных объектов.

Требования к качеству противокоррозионной защиты. Для обеспечения надежности и долговечности строительных объектов в условиях агрессивных сред необходимо привлечение дополнительных материально-технических ресурсов. Выбор стратегии предупреждения и контроля коррозии на основе современных технологий противокоррозионной защиты определяется эффективностью управления и снижения затрат на всех стадиях жизненного цикла конструкций. При отсутствии целенаправленного подхода к выбору средств и методов защиты необоснованные конструктивные и технологические решения вызывают преждевременное разрушение и рост эксплуатационных затрат на восстановление работоспособности или полную замену проблемных конструктивных элементов. Среди причин, обостряющих проблему защиты от коррозии, следует выделить недостаточные меры по снижению степени агрессивности воздействий, низкую коррозионную стойкость строительных сталей, недостаточную оснащенность современными средствами и методами противокоррозионной защиты.

В соответствии с установленной номенклатурой показателей качества стальных конструкций [1] установлены следующие характеристики долговечности:

- коррозийная стойкость (K , мм/год или балл) или степень агрессивности среды (A , г/м²год);
- срок службы защитного покрытия (T_z , год).

Действующие нормативы [2, 3] не содержат требований по оценке качества и надежности противокоррозионной защиты. Следует отметить, что в СНиПе 2.03.11-85 отсутствуют количественные характеристики степени агрессивности воздействий, а рекомендуемые группы защитных покрытий [2, табл. 29] представлены без требований к срокам службы системы противокоррозионной защиты конструкций. На основе анализа положений [2, 3] можно заключить, что действующие нормы не позволяют установить требования к эксплуатационным параметрам при разработке технических решений или рабочих чертежей противокоррозионной защиты. Таким образом, не выполняются условия технического регулирования надежности и конструктивной безопасности в соответствии с нормами ДСТУ Б В.2.6-75:2008 [4] и ДБН В.1.2-14-2009 [5].

Для разработки технических решений и рабочих чертежей на противокоррозионную защиту [6] предлагается использовать обоснованный в работах [7–9] критерий коррозионной опасности. При введении основного требования к проектированию – задания уровня коррозионной опасности – устанавливаются характеристики первичной и вторичной защиты от коррозии, которые позволяют подтверждать соответствие показателей качества и надежности конструкций и их защитных покрытий в течение всего жизненного цикла объекта.

Требования по надежности конструкций в коррозионных средах, включаемые в техническое задание (ТЗ), определяют на стадии технико-экономического обоснования проекта путем выполнения следующих работ:

- анализа требований заказчика, назначения, условий эксплуатации конструкций (проектных аналогов), ограничений по конструктивным решениям, материалам и технологиям защиты, эксплуатационным затратам;
- отработки и согласования с заказчиком степени агрессивности влияния среды, показателей качества мер защиты от коррозии;
- выбора метода контроля качества, системы технического обслуживания и ремонтов с учетом уровня коррозионной опасности конструкций.

Преимуществом выбора системы противокоррозионной защиты конструкций по критерию коррозионной опасности является регламентация мер конструктивной приспособленности и технологической рациональности на стадии проектирования для выбора оптимального решения (рис. 1).

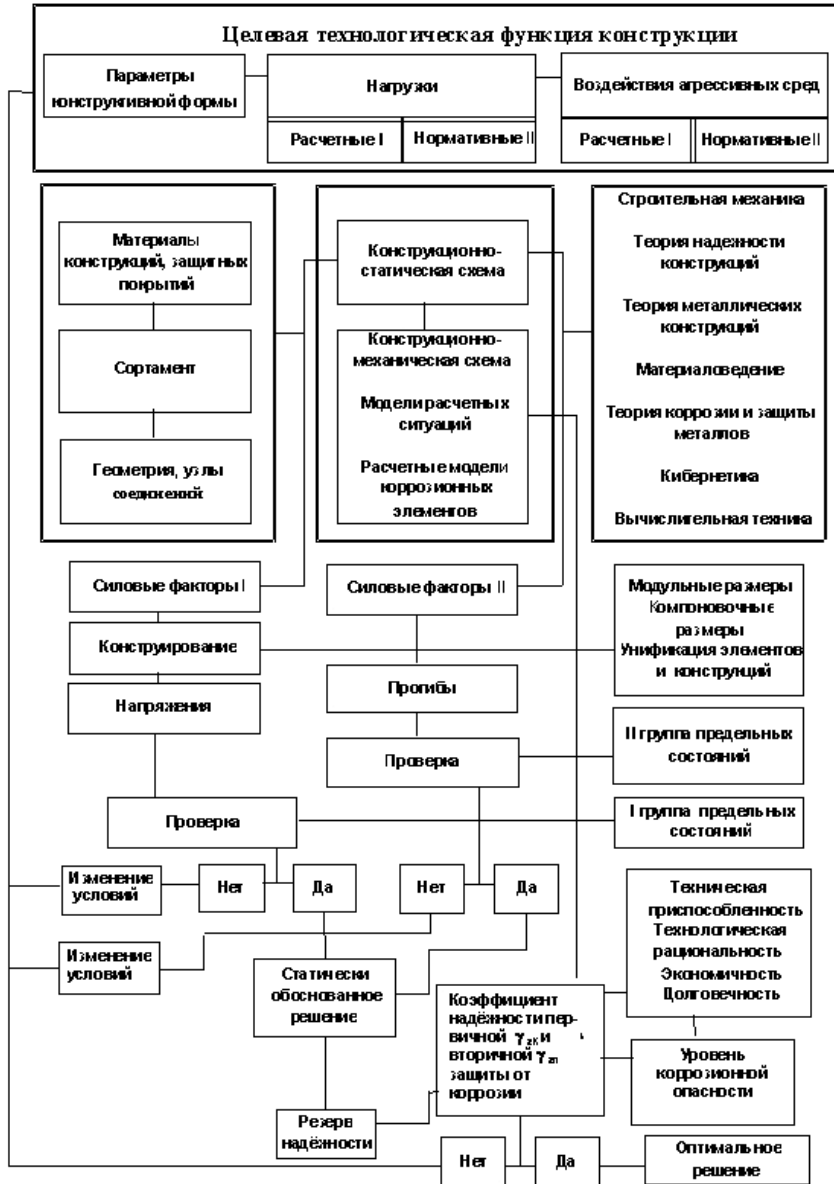


Рис. 1. Схема обоснования оптимальной системы противокоррозионной защиты конструкций

Коррозионная опасность определяет состояние или ситуацию (угрозу), при которых увеличивается вероятность убытков, вызванных коррозией или отклонениями от нормальной эксплуатации конструкций строительных объектов. Уровень коррозионной опасности устанавливается по квалификационным признакам групп конструкций в зависимости от степени агрессивности воздействий и коэффициента готовности средств первичной и вторичной защиты от коррозии.

Качество мер защиты от коррозии представляет совокупность свойств первичной и вторичной защиты, обеспечивающих функциональное назначение и надежность конструкций.

Конструктивные решения первичной защиты повышают коррозионную стойкость и сопротивление внутренним факторам коррозии (местной, питтинговой, контактной, щелевой коррозии, коррозионному растрескиванию, коррозионной усталости и т.п.) за счет рационального выбора стали, концентрации материала в сечениях, выбора геометрической формы конструкции.

Вторичная защита устанавливает проектные решения, обеспечивающие долговечность конструкций за счет обоснования материалов, средств и методов противокоррозионной защиты, технологий технического обслуживания и ремонта.

Конструктивная приспособленность определяет способность противокоррозионной защиты обеспечить прочностные и функциональные требования с учетом срока службы конструкций. Технологическая рациональность включает совокупность свойств, характеризующих соответствие проектных решений и технологичность при изготовлении, возведении и эксплуатации.

Коэффициент готовности противокоррозионной защиты является комплексным показателем ремонтпригодности, характеризующим параметры конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты.

Коэффициенты надежности противокоррозионной защиты (γ_{zk} , γ_{zn}) устанавливают возможные отклонения прочностных, деформационных, эксплуатационных характеристик конструктивных элементов, определенные для типовой модели эксплуатации конструкций и заданного срока службы строительного объекта.

Подтверждение соответствия качества мер защиты выполняется регистрационным или расчетно-измерительными методами согласно указаниям в рабочих чертежах (спецификации) на противокоррозионную защиту.

Оценка агрессивности коррозионных воздействий. Рассмотрим требования действующих норм и обоснования критерия коррозионной опасности по результатам количественной оценки степени агрессивности воздействий.

Для снижения коррозионной опасности вопросы защиты должны решаться путем определения эффективных мер на стадии проектирования и поставок металлоконструкций полной заводской готовности для обеспечения контролируемого качества защитных покрытий.

Показатели коррозионной стойкости и долговечности конструкций должны соответствовать степени агрессивности воздействий режима эксплуатации зданий и сооружений. Для подтверждения соответствия защитных покрытий установленным срокам технического обслуживания и ремонтов используются данные независимой комплексной экологической экспертизы промышленных предприятий.

Для Донецкого региона проблема коррозии связана с ежегодными прямыми затратами порядка 6,6–7,2 млрд. грн, из которых 1,3–1,4 млрд. грн составляют потери, вызванные отсутствием регламентных требований к оценке коррозионной опасности и правильному использованию средств и методов защиты от коррозии. Значимость проблемы для условий Донбасса связана с особым вниманием, которое на протяжении длительного периода уделяется решению вопросов повышения долговечности основных фондов в регионе [10–14].

В качестве примера выполним оценку степени агрессивности воздействий для конструкций в условиях промышленной атмосферы г. Донецка под навесом (категория 2). По требованиям СНиП 2.03.11-85* [7] технические решения защитных покрытий задаются табл. 29 в зависимости от условий эксплуатации (категории размещения) конструкций. В соответствии с ГОСТ 9.039 коррозионная агрессивность атмосферы характеризуется увлажнением поверхности материалов (далее – увлажнение поверхности) и загрязнением воздуха коррозионно-активными агентами.

Продолжительность общего увлажнения поверхности конструкций ($\tau_{\text{общ}} = 3175$ ч/г) установлена по данным продолжительности увлажнения поверхности фазовой пленкой влаги ($\tau_{\text{фаз}} = 2520$ ч/г) и продолжительности увлажнения поверхности адсорбционной пленкой влаги ($\tau_{\text{адс}} = 1080$ ч/г), принятым по климатической зоне г. Донецка.

Выпадение коррозионно-активных агентов для промышленной атмосферы по требованиям ГОСТ 15150 (см. табл.3.8) составляет:

- двуокись серы SO_2 : от 20 до 250 мг м⁻² сут⁻¹;
- хлориды: менее 0,3 мг м⁻² сут⁻¹.

Согласно ГОСТ 9.039 (табл. 1б) дифференцированный тип атмосферы имеет обозначение «2б». В таблице 1а установлены значения факторов коррозионной агрессивности для промышленной атмосферы типа «2б»:

- двуокись серы SO_2 : от 60 до 110 $\text{мг м}^{-2} \text{сут}^{-1}$ (обозначение П_3);
- хлориды: менее 0,3 $\text{мг м}^{-2} \text{сут}^{-1}$ (обозначение С_1).

В соответствии с данными таблицы 1 приложения 1б (ГОСТ 9.039) степень коррозионной агрессивности имеет обозначение «4» для конструкций категории размещения «2» при типе атмосферы «2б» умеренного климата (ГОСТ 15150-69).

Степень коррозионной агрессивности «4» характеризует интервальные значения коррозионных потерь (A_n) от 500 до 700 $\text{г м}^{-2}\text{год}^{-1}$ (приложение 1б, табл. 2 ГОСТ 9.039), что соответствует среднеагрессивным воздействиям на углеродистые и низколегированные стали по требованиям СНиП 2.03.11-85* (табл. 29) или категории коррозии С5-1 (очень высокая промышленная) по стандарту EN ISO 12944.

Классификационные признаки степени агрессивности воздействий для определения уровня коррозионной опасности представлены в таблицах 1, 2.

По требованиям табл. 29 СНиП 2.03.11-85* под навесом при наличии малорастворимых солей и пыли для среднеагрессивной среды (потеря массы A_n для низкоуглеродистой стали от 400 до 1200 $\text{г м}^{-2}\text{год}^{-1}$) необходимо использовать системы покрытия Па, Ша-3 (80)^{5,7}. Рекомендуемые СНиП 2.03.11-85* системы защитных покрытий представлены в приложении 15 для групп материалов покрытия II, III (тип связующего – полиуретановые, эпоксидные и др.). СНиП 2.03.11-85* не содержит сведений по срокам службы защитных покрытий. В рекомендациях [15] долговечность (T_z , год) систем покрытия Па, Ша-3 (80)^{5,7} определена значениями 3 – 4 года.

Таблица 1

Степени агрессивности воздействий среды при оценке коррозионной опасности строительного объекта

Обозначение степени агрессивности при оценке коррозионной опасности	Показатель коррозионной стойкости, К, мм/год	Характеристическое значение коррозионных потерь стали С 235, А _п , г/м ²	Обозначение степени агрессивности по СНиП 2.03.11-85*	Обозначение категорий коррозии по ISO 12944-2 А _п , г/м ²
А1 неагрессивная	до 0,01	до 80	В1 неагрессивная	С1 очень низкая ≤10
				С2 низкая 10 ... 80
А2 слабоагрессивная	0,01 ... 0,05	80 ... 400	В2 слабоагрессивная	С2 низкая 80 ... 200
				С3 низкая 200 ... 400
А3 низкоагрессивная	0,05 ... 0,08	400 ... 650	В3 среднеагрессивная	С4 высокая 400 ... 650
А4 высокоагрессивная	0,08 ... 0,20	650 ... 1500,0		С5-1 очень высокая (промышленная) 650 ... 1500 С5-М очень высокая (морская) 650 ... 1500
А5 очень высокоагрессивная	0,20 ... 0,50	1500 ... 3900,0		–
А6 сильноагрессивная	свыше 0,50	свыше 3900,0	В4 сильноагрессивная	–

Таблиця 2

Классификационные признаки уровня коррозионной опасности конструкций, зданий и сооружений¹⁾

Степень агрессивности воздействий, K , мм/год	Интервальные оценки коэффициента готовности противокоррозионной защиты, K_g				
	$0 < K_g \leq 0,1$	$0,1 < K_g \leq 0,3$	$0,3 < K_g \leq 0,5$	$0,5 < K_g \leq 0,7$	$0,7 < K_g \leq 1,0$
Слабоагрессивная, $0,01 < K \leq 0,05$	KI	*	*	*	*
Низкоагрессивная, $0,05 < K \leq 0,08$	KII	KI	*	*	*
Высокоагрессивная, $0,08 < K \leq 0,20$	KIII	KII	KI	*	*
Очень высокоагрессивная, $0,20 < K \leq 0,50$	KIV	KIII	KII	KI	*
Сильноагрессивная, $K > 0,50$	KV	KIV	KIII	KII	KI

¹⁾Примечание. Знак * обозначает, что для установленных интервальных значений признаков (K , K_g) уровень коррозионной опасности не нормируется.

Выводы

Анализ нормативных требований по обеспечению качества и надежности стальных конструкций и их защитных покрытий позволил предложить процессный подход, связанный с оценкой уровня коррозионной опасности строительных объектов. Для оценки степени агрессивности воздействий установлены классификационные признаки коррозионных воздействий, с учетом требований к категориям коррозии по ISO 12944-2. Обоснованы параметры первичной и вторичной защиты стальных конструкций, позволяющие регламентировать требования конструктивной приспособленности и технологической рациональности для выбора оптимальных решений противокоррозионной защиты. Оценку качества мер защиты от коррозии предлагается выполнять регистрационным и расчетно-измерительным методами, обеспечивающими контроль показателей надежности на всех стадиях жизненного цикла конструкций.

Литература

- [1] ГОСТ 4.253-80 Стальные конструкции. Номенклатура показателей. – Введ. с 01.01.81. – 4 с.
- [2] СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
- [3] СНиП 3.04.03-85. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 32 с.

- [4] ДСТУ Б В.2.6-75:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції металеві будівельні. Загальні технічні умови. – Уведено вперше. Чинний від 2010.01.01. – 14 с.
- [5] ДБН В.1.2-9-2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель та споруд. Безпека експлуатації. – Мінрегіон України. – 21 с.
- [6] ДСТУ Б А.2.4-15:2008 Система проектної документації для будівництва. Антикоровий захист конструкцій будівель та споруд. Робочі креслення. Національний стандарт України. Київ Мінрегіонбуд України 2009 р. Чинний від 2008-06-27. – 13 с.
- [7] V.Korolov. Monitoring of steel structure corrosion state/ V.Korolov, Y.Vysotskyu, A.Ryzhenkov // EUROCORR-2007: The European Corrosion congress. Book Of Abstracts. – Freiburg im Breisgau, Germany, 2007. – P. 276.
- [8] Корольов В.П., Гібаленко О.М., Шевченко О.М. Оцінка надійності та вибір засобів захисту від корозії сталевих конструкцій на стадії виготовлення / Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій / Зб. наук. праць. Вип. 8 // За заг. ред. Лучка Й.Й. – Львів: Каменяр, 2009. – С. 23–34.
- [9] Булеєв І.П. Нормативне-правове забезпечення технічного стану будівельних об'єктів за рівнем корозійної небезпеки / Булеєв І.П., Коновалов О.Ф., Корольов В.П. // Промислове будівництво та інженерні споруди, № 3. – 2011. – С. 25–29.
- [10] Защита металлических и железобетонных строительных конструкций от коррозии / VI Всесоюзн. научн.-техн. конф. // Тез. докл., 4–6 сентября 1978, г. Донецк. – 95 с.
- [11] Коррозия и защита строительных конструкций производственных зданий и сооружений./ VIII Всесоюзн. научн.-практ. конф. // Тез. докл., 15-17 мая 1990, г. г. Донецк-Макеевка. – Донецк, 1990. – 124 с.
- [12] Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж / Матеріали наук.-практ. конф. (м. Донецьк, 9–12 червня 2003 р.). – Донецьк: УАМК, 2003. – 247 с.
- [13] Донбас-Ресурс 2011. Якість і безпека у будівництві / Тези доповідей конференції. – К.: Вид-во «Сталь». – 116 с.
- [14] Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции / Е.В. Горохов, В.П. Королёв, Я. Брудка и др. – М.: Стройиздат, 1994. – 488 с.
- [15] Рекомендации по проектированию защиты от коррозии строительных металлических конструкций / ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова. – М., 1988. – С. 166.

Надійшла до редколегії 22.08.2012 р.