

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.014"401.4":620.193

А. Н. ГИБАЛЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Строительство, техническая эксплуатация и реконструкция», Государственное высшее учебное заведение «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

### СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ КОРРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ РАЦИОНАЛЬНОМ КОНСТРУИРОВАНИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

**Цель.** Научная статья посвящена разработке принципов робастного (устойчивого) проектирования при обосновании конструктивных решений первичной и вторичной защиты металлоконструкций на основе управления уровнем коррозионной опасности строительных объектов, конструктивной приспособленности, технологической рациональности при эксплуатации в условиях воздействия коррозионно-агрессивных сред. **Методика.** Авторами были использованы и развиты расчетные методы оценки надежности и конструктивной безопасности. В основе методов – построение информационно-аналитической базы данных определяющих параметров коррозионного состояния строительных металлоконструкций для совершенствования и контроля мер первичной и вторичной защиты от коррозии. **Результаты.** Предложена основа для постановки и реализации задач управления эксплуатационным сроком службы зданий и сооружений в коррозионных средах. Она достигается путем повышения качества и надежности мер первичной и вторичной защиты металлоконструкций с учетом уровня коррозионной опасности по управлению технологической безопасностью в течение установленного срока службы строительных объектов. **Научная новизна.** Разработаны принципы робастного проектирования противокоррозионной защиты с учетом установленной надежности и конструктивной безопасности комбинированных металлоконструкций в условиях коррозионно-активных сред на основе методики предельных состояний конструкций (с учетом уровня коррозионной опасности). Использован расчетно-измерительный метод подтверждения соответствия мер коррозионной защищенности для резервирования работоспособности и задания сроков службы комбинированных металлоконструкций и их защитных покрытий. **Практическая значимость.** Разработана методика обоснования проектных решений и подтверждения их соответствия по признакам коррозионной опасности строительных объектов. Реализованы технические решения, обеспечивающие снижение уровня рисков аварийных ситуаций.

*Ключевые слова:* металлические конструкции; живучесть; процессный подход; обеспечение надежности; робастное проектирование; уровень коррозионной опасности

#### Введение

В настоящее время в строительной отрасли наблюдается определенный рост применения комбинированных конструкций, в которых ограждающие элементы выполнены из конструкционных пластиков и пластмасс, с успехом заменившие материалы из полиметилметакрилата

и полистирола [1, 2]. Как показывает практика, использование сотового поликарбоната, поливинилхлоридных профилей, металлопластов в практике дизайна, проектирования, изготовления и эксплуатации конструкций создает предпосылки внедрения выразительных архитектурных решений с учетом функционального

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

назначения сооружений при одновременном снижении металлоемкости, повышении надежности и долговечности, увеличении ресурса при эксплуатации в условиях неблагоприятных воздействий внешних сред за счет снижения уровня коррозионной опасности [2, 3, 4, 5, 10, 14].

Анализ состояния проблемы обеспечения качества и надежности мер первичной и вторичной защиты металлоконструкций свидетельствует о возможности продления ресурса конструкций за счет комбинированного использования элементов из стали и полимеров, что обуславливается повышенной коррозионной стойкостью соответствующих материалов с одновременным рациональным конструированием, разработкой и использованием выразительных архитектурных форм и объемно-планировочных решений [6, 7, 21].

Изучение коррозионной стойкости материалов и элементов структурных блоков, защитного противокоррозионного покрытия с учетом наиболее неблагоприятного сочетания воздействий рассмотрены в работах [6, 8], где выполнен расчет срока службы конструкций по результатам контроля коррозионного состояния в период обследования и на основании экспериментальных данных моделирования физико-химических воздействий среды эксплуатации.

### Цель

Исследования направлены на обеспечение качества и надежности мер первичной и вторичной защиты металлоконструкций, совершенствование конструктивных решений, расширение области применения стальных перекрестно-стрелочных систем из трубчатых элементов на основании расчетно-экспериментальной оценке показателей коррозионной стойкости и долговечности [7, 8].

### Методика

Определение проектных показателей долговечности комбинированных конструкций основано на разработанной методике учета коэффициентов надежности и готовности противокоррозионной защиты установленных по результатам экспериментальных исследований определяющих показателей коррозионной стойкости первичной и вторичной защиты при определительных (ускоренных или стендовых) испыта-

ниях фрагментов-образцов с защитными покрытиями согласно классификационным признакам коррозионных сред [9, 10, 11].

Целью выполняемых определительных испытаний является определение коэффициента готовности металлоконструкций и их защитных покрытий. Коэффициент готовности стальных конструкций ( $K_g$ ) является комплексным показателем ремонтпригодности, характеризующим параметры конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты:

$$K_g = \frac{T_{k\gamma} T_{z\gamma}}{T_{k\gamma} + n T_{z\gamma}},$$

где  $T_{k\gamma}$  – срок службы (лет) стальных комбинированных конструкций по показателю коррозионной стойкости (первичная защита);  $T_{z\gamma}$  – расчетный срок службы (лет) защитных покрытий с доверительной вероятностью  $\gamma = 0,95$  по результатам ускоренных испытаний;  $n$  – количество ремонтных циклов восстановления противокоррозионной защиты при установленном сроке службы объекта.

Основной материал и результаты. С целью решения задачи оценки коэффициента готовности металлоконструкций и их защитных покрытий на основе определительных (ускоренных, стендовых и натуральных) испытаний выполнены исследования [12, 13, 16]. Изучение режима эксплуатации и факторов, определяющих защитные свойства противокоррозионных покрытий в агрессивных средах, позволило установить основные причины, нарушающие работоспособность покрытий конструкций:

- процессы сорбции и переноса агрессивной среды и продуктов коррозии через покрытие;
- растрескивание покрытия под действием механических напряжений и агрессивной среды;
- химическая деструкция материала покрытия в агрессивных средах;
- процессы адсорбции и смачивания на границе металл-покрытие, нарушающие адгезию покрытия к металлу;
- процессы коррозии металла под покрытием.

Учитывая закономерности разрушения покрытий в агрессивных средах, срок службы за-

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

щитних покриттів для установлених критеріїв отказа виражається наступними залежностями:

– для первинної системи захисту ( $T_3$ )

$$T_3 = t_n + t_3 + t_{om} \triangleright, \quad (2)$$

– при відновленні захисних властивостей покриттів ( $T_n$ )

$$T_n = t_n + t_3,$$

де  $t_n$  – час проникнення агресивної середовища до поверхні металу, рік;  $t_3$  – час від моменту проникнення агресивної середовища до початку корозії, років.

Термін служби протикорозійної захисту при ремонтно-відновлювальних роботах визначається як проміжок часу, необхідний для досягнення отказа відновленої системи захисту:

$$T_n = b \cdot T_3,$$

де  $b$  – коефіцієнт зміни терміну служби відновленого покриття при ремонті.

Діагностика корозійного стану металізаційних покриттів і визначення терміну служби виконується з допомогою залежності:

$$T_m = \frac{a_m \cdot h_0 \cdot t_m}{K} 10^{-3},$$

де  $a_m$  – ступінь руйнування існуючого металічного покриття;  $h_0$  – проектна тов-

щина покриття, мкм;  $t_m$  – середня відносна довговічність 1 мм металізаційного покриття, г/м<sup>2</sup>·мм.

Розрахунково-експериментальна оцінка показників довговічності захисних покриттів виконана на основі моделювання фізико-хімічних впливів в процесі прискорених випробувань зразків із закритих трубчастих профілів з захисними покриттями, призначеними для довготривалої захисту від корозії (рис. 1).

Вибір систем захисних покриттів включав аналіз показників технологічної раціональності протикорозійної захисту  $B_{oz}$  при виготовленні збірно-розбірних трубчастих конструкцій.

Розглянуті об'ємно-планувальні рішення конструкцій покриттів просторово-стержневої системи (ПСС) з розрешеною схемою розташування трикутних, плоских ферм і доборних елементів на прикладі конструктивного рішення системи «Кристалл» багатозначного призначення (рис. 2).

Сравнительна оцінка захисних властивостей і обґрунтування коефіцієнтів надійності  $\gamma_{zn}$  зроблені для покриттів, отриманих при електрохімічному цинкуванні, дифузійному нанесенні в розплаві цинка, цинкполімерних і комбінованих покриттів.

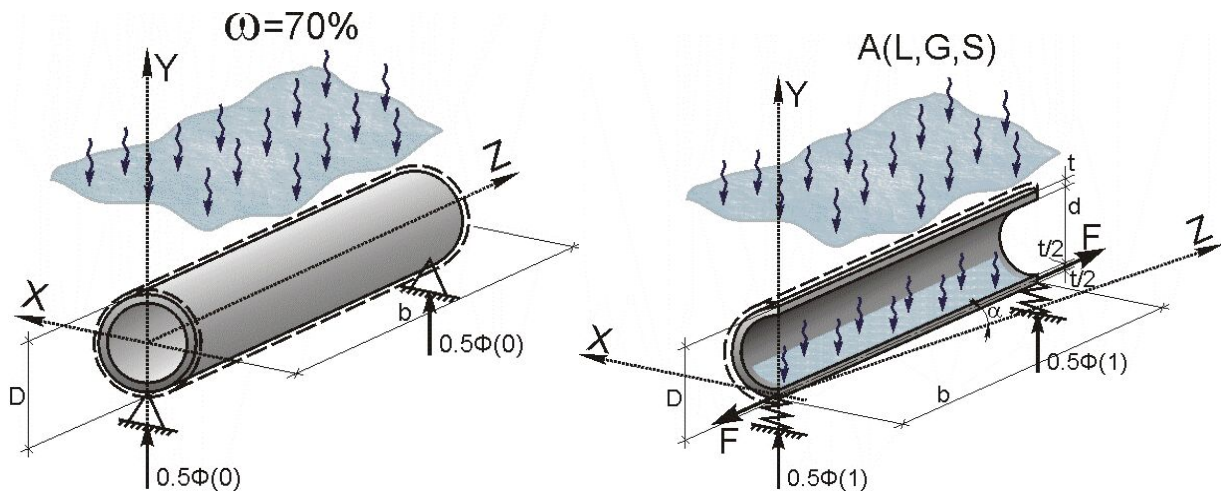


Рис. 1. Обобщенные модели коррозионных воздействий

Fig. 1. Generalized model of corrosion effects

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

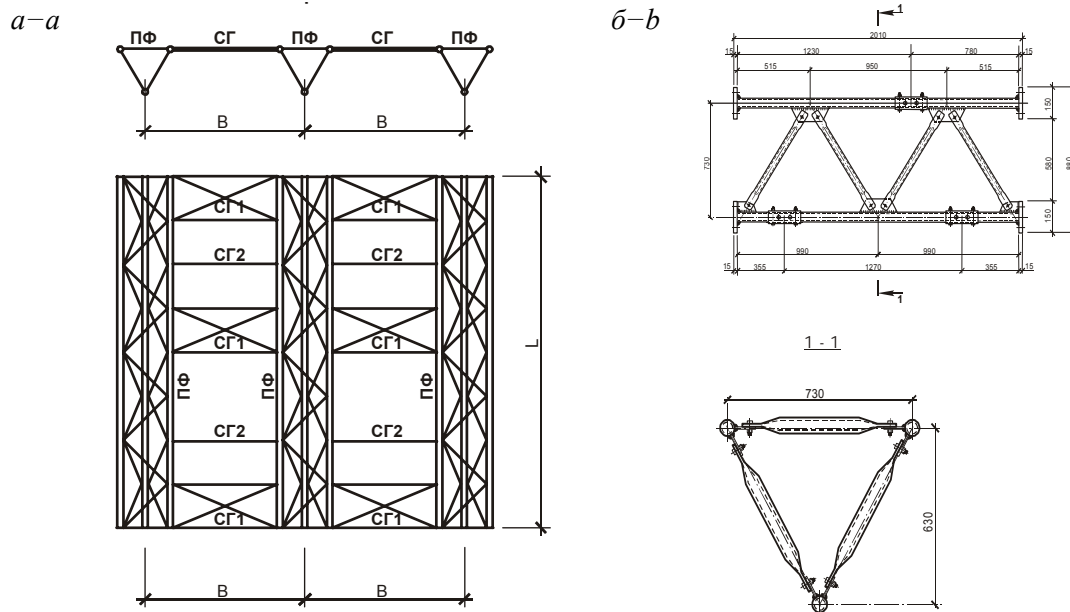


Рис. 2. Конструктивное решение системы «Кристалл»: *a* – компоновочные решения конструкций покрытий перекрестно-стержневых систем; *b* – блок трехгранной секции формообразующего элемента

Fig. 2. The design of the system «Crystal»:

*a* – layout designs of coatings cross-rod systems; *b* – block triangular sections forming element

### Результаты

Результаты испытаний систем противокоррозионных покрытий, обеспечивающих долговременную защиту конструктивных элементов сборно-разборных трубчатых конструкций, представлены в табл. 1. Реализация алгоритма

определения показателей гарантированной долговечности с учетом коэффициентов надежности первичной  $\gamma_{zk}$  и вторичной  $\gamma_{zn}$  защиты связана с расчетно-экспериментальным обоснованием отношения резерва надежности для систем пространственных трубчатых конструкций.

Таблица 1

### Результаты испытаний систем противокоррозионных покрытий

Table 1

#### Test results of anticorrosive coating systems

№ п/п	Схема конструктивного элемента (образца)	Группа средств и методов защиты	Показатель $B_{oz}$	Срок службы покрытия $T$ , лет	Контрольный норматив $K_p$ , г/м <sup>2</sup>	$\gamma_{zn}$
1	Горячее цинкование	СКС3	3,7	50	45,3	0,90
2	Электрохимические покрытия	СКС3	3,1	50	46,8	0,95
3	Электрохимические покрытия + ЛКП	СКС4	2,5	50	132,6	0,99
4	Цинкополимерные покрытия	СКС4	4,3	50	156,0	0,99
5	Порошковые покрытия	СКС5	5,0	50	241,8	0,95

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

**Научная новизна и практическая значимость**

Основной целью проведения определительных испытаний является определение методом экспериментального исследования фактической несущей способности и деформативности конструкции пространственной фермы с муфтовыми сборно-разборными соединениями с последующим использованием полученных результатов для ее совершенствования.

Силовые испытания для проверки эффективности принципов формообразования при мелкосерийном производстве сборно-разборных трубчатых конструкций с гарантированной долговечностью проведены с целью: экспериментального изучения эксплуатационных свойств конструкции при предельных значениях нагружения; выявления элементов, в которых при максимальной контрольной нагрузке проявляются признаки предельных состояний; определение фактической несущей способности конструкции и характера разрушения (рис. 3). Комплексная оценка показателей технологической рациональности выбранного вида конструкционного полимера на стадии проектирования связана с разработкой научно обоснованных методов оценки долговечности конструкционного сотопласта, а также нормативных документов, регламентирующих правила технической эксплуатации [10, 18].

Решающее значение при учете требований технологической рациональности оказывают

результаты стендовых (натурных) испытаний, где учитываются условия атмосферного старения, для которых преобладающее влияние оказывает аperiодический характер технологических выделений среды, формирующих показатели агрессивности условий эксплуатации.

Строительные материалы, применяемые в комбинированных ограждающих панелях, оборудование и оснастка для их изготовления на автоматизированных поточных линиях в широком ассортименте предлагаются зарубежными компаниями и отечественными производителями [17]. Основные показатели технологичности конструкционных полимеров комбинированных ограждающих конструкций приведены в табл. 2.

Оценка показателей долговечности и технологичности элементов ограждающих конструкций выполнена на основе комплексного подхода, разработанного в научно-испытательной лаборатории «Антикор-Дон» ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского», который обеспечивает реализацию следующих этапов: зонирование и систематизацию состава и конструкций агрессивных воздействий на элементы конструкций; анализ вариантов конструктивных схем комбинированных ограждающих конструкций; количественную оценку показателей долговечности конструкционных пластиков; сравнительный анализ долговечности конструктивных форм [6].

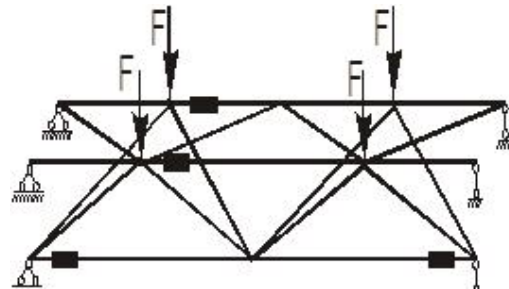
*a–a**б–б*

Рис. 3. Пространственный блок:  
*a* – общий вид при проведении испытаний; *б* – схема приложения узловой нагрузки

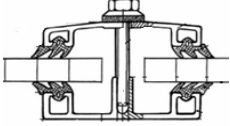

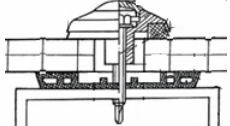

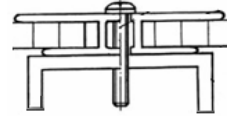

Fig. 3. Dimensional block:  
*a* – General view during testing; *b* – scheme of application of the nodal load

Таблица 2

Технологичность конструкционных полимеров  
комбинированных ограждающих конструкций

Table 2

## Technological of engineering polymers for combined walling

Фрагмент конструктивного решения		Показатель технологичности (лет)		Общая характеристика долговечности, лет.
Сопряжения профиля и несущей конструкции	Элемент соединения пластин	I-е предельное состояние	II-е предельное состояние	
		12–15	7–10	19–25
		10–11	5–7	15–18
		6–9	3–5	9–14

## Выводы

Практическое применение разработок осуществлено при реализации конструкций пространственного блока в качестве светопрозрачного покрытия [19]. Пространственный блок покрытия состоит из ферм треугольного очертания, соединенных в коньковом и опорных узлах прогонами, на которые укладываются полимерные пластины.

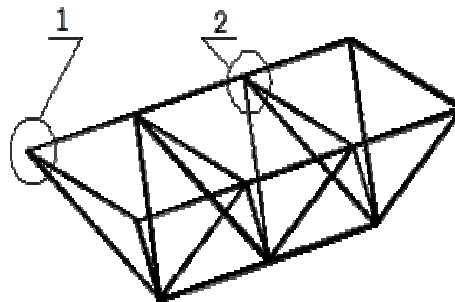
Основные несущие конструкции (фермы, прогоны, шпренгель и раскосы) выполнены из стержней замкнутого круглого профиля, что в свою очередь повышает коррозионную стойкость конструктива; предполагает повышения

уровня долговечности, уменьшение металлоемкости конструкции и образования новых форм конструкций (рис. 4).

Указанные принципы формообразования связаны с использованием металлопластиковых профилей, полимерных панелей в качестве ограждающих конструкций [20].

Предложенные решения обеспечивают снижение показателей концентрации металла, что при развитой поверхности конструктивных элементов определяет необходимость разработки эффективных мер по обеспечению гарантированной долговечности конструкционных пластиков.

a-a



## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

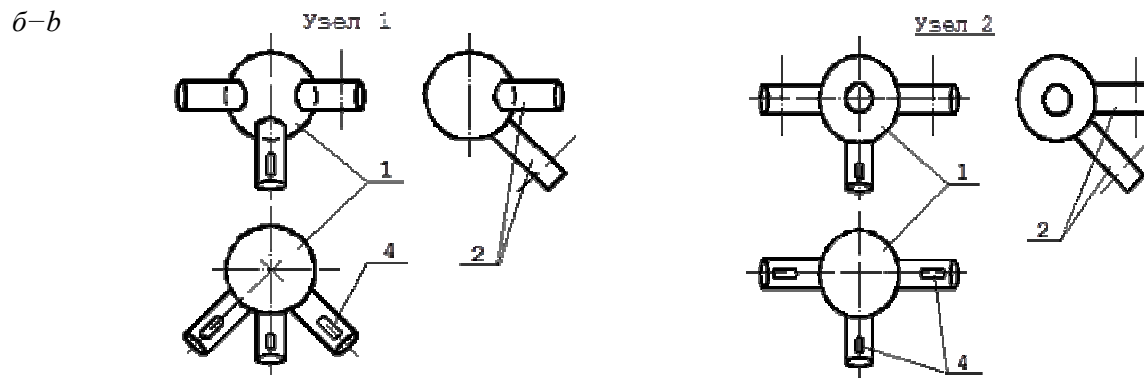


Рис. 4. Конструктивное решение пространственно-стержневого блока:  
*a* – монтажный укрупненный блок, *б* – узлы сопряжения элементов: 1 – пустотелая полусфера;  
 2 – стержни-коротыш; 3 – стержни основные; 4 – овальное отверстие

Fig. 4. A constructive solution of space frame block:  
*a* – enlarged mounting block, *b* – junctions: 1 – hollow semi-sphere; 2 – rods-short stacks; 3 – the main rods; 4 – oval hole

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Гибаленко, А. Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах / А. Н. Гибаленко // Зб. наук. пр. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво / Полтав. нац. техн. ун-т. – Полтава, 2015. – Вип. 3 (45). – С. 110–116.
- Гибаленко, А. Н. Рациональное проектирование комбинированных ограждающих конструкций / А. Н. Гибаленко // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури / Київ, 2015. – Вип. 58. – С. 81–89.
- Гибаленко, А. Н. Оценка живучести металлоконструкций при моделировании факторов эксплуатации / А. Н. Гибаленко, Т. С. Трофимчук // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 2 (62). – С. 119–128. doi: 10.15802/stp-2016/67327.
- Гибаленко, А. Н. Расчетно-экспериментальная оценка характеристики живучести металлоконструкций путепровода / А. Н. Гибаленко, Т. С. Трофимчук, А. С. Коваленко // Зб. наук. пр. / Укр. держ. ун-т залізн. трансп. – Харків, 2016. – Вип. 160. – С. 65–75.
- ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
- ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 74 с.
- Експлуатаційні властивості і захист від корозії будівельних металоконструкцій: Розробки і практичний досвід забезпечення довговічності : прес-дос'є НВВЛ «Антикор-Дон» / Донб. нац. акад. буд-ва і архітектури / уклад. О. М. Гибаленко [та ін.] ; ред. В. П. Корольов. – Донецьк : Норд-Прес, 2005. – 45 с.
- Королёв, В. П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность / В. П. Королёв // Сб. науч. тр. – Донецк, 1995. – Вып. 1–95. – С. 24–25.
- Павлов, Н. Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях / Н. Н. Павлов. – Москва : Химия, 1982. – 224 с.
- Пат. 36144А Україна, МПК (2006) Е 04 В 7/00. Просторовий блок покриття / В. П. Корольов, О. М. Гибаленко [та ін.] ; заявник та патентовласник Донб. держ. акад. буд-ва і архітектури. – № 99116090 ; заявл. 05.11.1999 ; опубл. 16.04.2001 ; Бюл. № 3. – 4 с.
- 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) / сост. Голубев А. И., Горохов Е. В., Королев В. П. [и др.]. – Москва : Стройиздат, 1989. – 51 с.
- Сайт фирмы CAMPUS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.campus-plastics.com/campushome/coc>. – Загл. с экрана. – Проверено : 02.07.2016.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

13. Трущев, А. Г. Пространственные металлические конструкции / А. Г. Трущев. – Москва : Стройиздат, 1983. – 215 с.
14. Arner, M. Taguchi and his Ideas on Robust Design / M. Arner // Statistical Robust Design: An Industrial Perspective. – 2014. – P. 195–208. doi: 10.1002/9781118842003.ch11.
15. Ellobody, E. Finite Element Modeling / E. Ellobody, R. Feng, B. Young // Finite Element Analysis and Design of Metal Structures. – 2014. – P. 31–55. doi: 10.1016/b978-0-12-416561-8.00-003-2.
16. Hollaway, L. The Evolution of and the way Forward for Advance Polymer Composites in the Civil Infrastructure / L. Hollaway // Construction and Building Materials. – 2003. – Vol. 17. – Iss. 6–7. – P. 365–378. doi:10.1016/S0950-0618(03)00038-2.
17. Korolov, V. Design criteria of reliability and safety in the design of corrosion protection of structural steel / V. Korolov, Y. Vysotsky, Y. Filatov // Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications : The European Corrosion Congress (8.09-12.09.2014). – Pisa, Italy, 2014. – P. 88.
18. Mozaffari, A. The Great Salmon Run Metaheuristic for Robust Shape and Size Design of Truss Structures with Dynamic Constraints / A. Mozaffari, M. Ebrahimnejad // Intern. J. of Applied Metaheuristic Computing. – 2014. – Vol. 5. – Iss. 2. – P. 54–79. doi: 10.4018/ijamc.2014040104.
19. Nutt-Powell, Thomas E. The House That Machines Built: Making Sense of a Housing Opportunity / E. Thomas Nutt-Powell. – Boston : Auburn House Publishing Company, 1982. – 40 p.
20. Ronald, L. Progress in Naval Composites / L. Ronald, P. Reyes, H. Reyes // Advanced Materials and Processes. – 1987. – 35 p.
21. Singh, R. Corrosion Control and Monitoring / R. Singh // Corrosion Control for Offshore Structures. – 2014. – P. 41–44. doi:10.1016/B978-0-12-404615-3.00003-6.
22. Smallowitz, H. Reshaping the Future of Plastic Buildings / H. Smallowitz // Civil Engineering (ACSE). – 1985. – Vol. 55. – Iss. 5. – P. 38–41.

О. М. ГИБАЛЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Будівництво, технічна експлуатація і реконструкція», Державний вищий навчальний заклад «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

## ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ КОРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ РАЦІОНАЛЬНОМУ КОНСТРУЮВАННІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

**Мета.** Наукова стаття присвячена розробці принципів робастного (сталого) проектування при обґрунтуванні конструктивних рішень первинного та вторинного захисту металоконструкцій на основі управління рівнем корозійної небезпеки будівельних об'єктів, конструктивної пристосованості, технологічної раціональності при експлуатації в умовах впливу корозійно-агресивних середовищ. **Методика.** Авторами були використані та розвинені розрахункові методи оцінки надійності та конструктивної безпеки. В основі методів – побудова інформаційно-аналітичної бази даних визначальних параметрів корозійного стану будівельних металоконструкцій для вдосконалення та контролю заходів первинного та вторинного захисту від корозії. **Результати.** Запропонована основа для постановки та реалізації завдань управління експлуатаційним терміном служби будівель і споруд у корозійних середовищах. Вона досягається шляхом підвищення якості й надійності заходів первинного та вторинного захисту металоконструкцій із урахуванням рівня корозійної небезпеки з управління технологічною безпекою протягом встановленого терміну служби будівельних об'єктів. **Наукова новизна.** Розроблені принципи робастного проектування протикорозійного захисту з урахуванням встановленої надійності та конструктивної безпеки комбінованих металоконструкцій в умовах корозійно-активних середовищ на основі методики граничних станів конструкцій (із урахуванням рівня корозійної небезпеки). Використано розрахунково-вимірювальний метод підтвердження відповідності заходів корозійної захищеності для резервування працездатності та завдання строків служби комбінованих конструкцій та їх захисних покриттів. **Практична значимість.** Розроблена методика обґрунтування проектних рішень та підтвердження їх відповідності за ознаками корозійної небезпеки будівельних об'єктів. Реалізовані технічні рішення, що забезпечують зниження рівня ризиків аварійних ситуацій.

**Ключові слова:** металеві конструкції; живучість; процесний підхід; забезпечення надійності; робастне проектування; рівень корозійної небезпеки



О. М. GIBALENKO<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>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

## THE DECREASE IN THE LEVEL OF CORROSION HAZARD IN THE RATIONAL DESIGN OF METAL STRUCTURES

**Purpose.** The paper highlights development the principles of robust (sustainable) design in the constructive decisions substantiation of the primary and secondary protection for steel structures based on the control of corrosion risk level of construction projects, structural adaptation, and technological rationality when operating in conditions of corrosive environments impact. **Methodology.** The computational methods for assessing the reliability and structural safety were used and developed by authors. In the base of methods there is a construction of information-analytical databases attributive parameters on the corrosion state of metal construction for the improvement and control measures the primary and secondary corrosion protection. **Findings.** The basis was proposed for setting and implementing management tasks exploitation service life of buildings and structures in corrosive environments. It achieved by improving the quality and reliability of primary and secondary protection steel structures considering corrosion level hazards management of process safety within a specified period of Builder-structures service. **Originality.** The principles of robust design of corrosion protection, taking into account the established reliability and constructive security with combined metal structures under corrosive environments based on the methodology of limit states of structures (taking into account the level of danger of corrosion) were developed. The metering method confirmation of conformity corrosion protection measures for reserving a workable and tasks of the service life composite structures and their protective coatings was used. **Practical value.** The substantiation methodology of the design solutions and assessment of their conformity upon corrosion risks indicators of construction projects was developed. Technical solutions providing the level reduction of risk emergency situations were realized.

**Keywords:** metal construction; the durability; the process approach; ensuring reliability; robust design; corrosion risk level

### REFERENCES

- Gibalenko A.N. Monitoring ostatochnogo resursa metallokonstruktsiy v korrozionnykh sredakh [Monitoring of residual resource in metal corrosion environments]. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo* [Proc. Series: Industrial engineering, construction], 2015, issue 3 (45), pp. 110–116.
- Gibalenko A.N. Ratsionalnoye proektirovaniye kombinirovannykh ogradhdayushchikh konstruktsiy [Rational design of combined walling]. *Naukovo tekhnichniy zbirnyk «Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia»* [Science and research collection «Town planning and territorial planning»], 2015, issue 58, pp. 81–89.
- Gibalenko A.N., Trofimchuk T.S. Otsenka zhivuchesti metallokonstruktsiy pri modelirovanii faktorov ekspluatatsii [Metal structures survivability assessment when simulating service conditions]. *Nauka ta progres transportu – Science and Transport Progress*, 2016, no. 2 (62), pp. 119–128. doi: 10.15802/stp2016/67327.
- Gibalenko A.N., Trofimchuk T.S., Kovalenko A.S. *Raschetno-eksperimentalnaya otsenka kharakteristiki zhivuchesti metallokonstruktsiy puteprovoda* [Settlement and experimental evaluation of characteristics for metalwork overpass survivability], 2016, issue 160, pp. 65–75.
- DBN V.1.2-14-2009. *Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnykh konstruktsii ta osnov* [State Building Norms V.1.2-14-2009. General principles of reliability and structural safety of buildings, structures and foundations]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2009. 37 p.
- DSTU B V.2.6-193:2013. Zakhyst metalevykh konstruktsii vid korozii. Vymohy do proektuvannia* [State Standard B V.2.6-193:2013. Protection of metal structures from corrosion. Requirements for the design]. Kyiv, Minrehion Ukrainy Publ., 2013. 74 p.
- Hibalenko O.M., Korolov V. P. *Ekspluatatsiini vlastyosti i zakhyst vid korozii budivelnykh metallokonstruktsii: Rozrobky i praktychnyi dosvid zabezpechennia dovhovichnosti: pres-dosie NVVL «Antykor-Don»* [Operating properties and corrosion protection of metal constructions: development and experience to ensure durability]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2005. 45 p.
- Korolev V.P. *Teoreticheskiye osnovy inzhenernykh raschetov stalnykh konstruktsiy na korrozionnyuyu stoykost i dolgovechnost* [Theoretical foundations of engineering calculations of steel structures on the corrosion resistance and durability]. Donetsk, 1995, issue 1-95, pp. 24–25.

## ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

9. Pavlov N.N. *Stareniye plastmass v estestvennykh i iskusstvennykh usloviyakh* [Aging of plastics in natural and artificial conditions]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 224 p.
10. Korolov V.P., Hibalenko O.M., Voitova Zh.M., Horokhov O.Ye. *Pat. 36144A Ukraina, MPK (2006) E 04 V 7/00. Prostorovyi blok pokryttia* [Spatial unit of cover]. Donetsk, 1999, No. 991160901. 4 p.
11. Golubev A.I., Gorokhov Ye.V., Korolev V.P. *Posobiye po kontrolyu sostoyaniya stroitelnykh metallicheskih konstruksiy zdaniy i sooruzheniy v agressivnykh sredakh, provedeniyu obsledovaniy i proyektirovaniyu vosstanovleniya zashchity konstruksiy ot korrozii (k SNiP 2.03.11-85)* [Manual for condition monitoring of metal structures of buildings and structures in aggressive environments, surveying and the design of the restoration to protect structures against corrosion]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1989. 51 p.
12. *Sayt firmy CAMPUS* (CAMPUS firm site). Available at: <http://www.campusplastics.com/campushome/coc> (Accessed 02 July 2016).
13. Trushchev A.G. *Prostranstvennyye metallicheskiye konstruksii* [Spatial metal structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 215 p.
14. Arner M. Taguchi and his Ideas on Robust Design. *Statistical Robust Design: An Industrial Perspective*, 2014, pp. 195-208. doi: 10.1002/9781118842003.ch11.
15. Ellobody E., Feng R., Young B. Finite Element Modeling. *Finite Element Analysis and Design of Metal Structures*, 2014, pp. 31-55. doi: 10.1016/b978-0-12-416561-8.00003-2.
16. Hollaway L. The Evolution of and the way Forward for Advance Polymer Composites in the Civil Infrastructure. *Construction and Building Materials*, 2003, vol. 17, issue 6–7, pp. 365-378. doi:10.1016/S0950-0618(03)00038-2.
17. Korolov V., Vysotskiy Y., Filatov Y. Design criteria of reliability and safety in the design of corrosion protection of structural steel. Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications : The European Corrosion Congress (8–12 September 2014). Pisa, Italy, 2014. P. 88.
18. Mozaffari A., Ebrahimnejad M. The Great Salmon Run Metaheuristic for Robust Shape and Size Design of Truss Structures with Dynamic Constraints. *Intern. Journal of Applied Metaheuristic Computing*, 2014, vol. 5, issue 2, pp. 54-79. doi: 10.4018/ijamc.2014040104.
19. Nutt-Powell Thomas E. *The House That Machines Built: Making Sense of a Housing Opportunity*. Boston. Boston, Auburn House Publishing Company Publ., 1982. 40 p.
20. Ronald L., Reyes P., Reyes H. Progress in Naval Composites. *Advanced Materials and Processes*. 1987. 35 p.
21. Singh R. Corrosion Control and Monitoring. *Corrosion Control for Offshore Structures*, 2014, pp. 41-44. doi:10.1016/B978-0-12-404615-3.00003-6.
22. Smallowitz H. Reshaping the Future of Plastic Buildings. *Civil Engineering (ACSE)*, 1985, vol. 55, issue 5, pp. 38-41.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. П. Королёвым (Украина); д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина)*

Поступила в редколлегию: 24.03.2016

Принята к печати: 04.07.2016