

© 2024 Сочинский государственный университет



Издается в Российской Федерации с 2007 г.
Социально-экономическое пространство регионов
Все права защищены
ISSN: 2949-3943
2024. 18(3): 173-184

www.vestnik.sutr.ru



УДК 624.014.012.45:620.19:681.518.54

Устойчивое развитие практики прибрежного строительства с использованием легких стальных тонкостенных конструкций

Игорь Владимирович Куценко ^a, Владимир Петрович Королев ^{a, *},
Елена Анатольевна Бочарова ^a

^a Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь,
Российская Федерация

Аннотация. В статье представлен процессный подход к нормированию долговечности легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК). Сформулированы принципы регулирования безопасности прибрежного строительства с использованием сбалансированных критериев ресурсосбережения и экологии техносферы.

Выполнен анализ положений «зеленого» строительства для разработки системы управления технологической и экологической безопасностью на протяжении жизненного цикла. Обобщены требования, которые определяют условия технологии быстровозводимого строительства ЛСТК, и методы инновационного развития ресурсосберегающих и экологически ответственных технологий.

Определены проектные требования к надежности, эксплуатационной пригодности и долговечности на основе принципов управления коррозионной защищенностью ЛСТК. Для реализации инноваций разработан матричный метод оценки коррозионной защищенности, позволяющий регулировать меры технико-экономической защиты от коррозии на протяжении жизненного цикла объектов. Представлены критерии параметрического управления при коррозионном инжиниринге и менеджменте объектов металлостроительства.

Обоснованы преимущества технико-экономической защиты ЛСТК по признакам коррозионной опасности и коррозионной защищенности. Приведены практические примеры нормирования и регулирования долговечности строительных объектов для Приазовья.

Ключевые слова: легкие тонкостенные стальные конструкции, долговечность, прибрежное строительство, регулирование безопасности, технико-экономическая защита, коррозионная защищенность, ресурсосбережение, устойчивое развитие.

1. Введение

Современные тенденции социально-экономических преобразований обуславливают необходимость формирования цифровых платформ управления жизненным циклом (ЖЦ) с учетом требований безопасности, ресурсосбережения и экологии техносферы прибрежного строительства (Amadi, Higham, 2017; Faroz, 2018; Xing, Mi, 2011). Приоритетные направления устойчивого развития прибрежной зоны Балтийского, Азовского, Черного, Каспийского и Японского морей (протяженность береговой полосы около 5,8 тыс. км) включают инвестиционно-привлекательные социально-экономические проекты в области

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: korolyovskif@yandex.ru (В.П. Королев),
kigorvlad@yandex.ru (И.В. Куценко), elena270915v@yandex.ru (Е.А. Бочарова)

строительства, сельского хозяйства, транспортной инфраструктуры, рекреации и туризма. Масштабный проект «Пять морей и озеро Байкал» предполагает увеличение темпов освоения природно-рекреационных ресурсов, что влечет неизбежные дополнительные риски экологической безопасности. При этом особого внимания требует комплекс мер технико-экономической защиты по обеспечению долговечности ЛСТК в условиях значительного изменения климатических факторов внешней среды, температурно-влажностного режима и неопределенности содержания коррозионно-активных компонентов в прибрежных зонах ([Официальный сайт Минстроя...](#)).

Целью статьи является формирование сбалансированной системы показателей технико-экономической защиты и обоснования коррозионной защищенности ЛСТК на протяжении ЖЦ для объектов прибрежного строительства.

Научная новизна исследования заключается в разработке системы регламентного управления коррозионной защищенностью (РУКЗ) объектов, выполненных с использованием каркасных технологий ЛСТК на основе требований к эксплуатации и безопасности стандарта ИСО/ТК 267 Фасилити менеджмент (ФМ). В совокупности приоритетов технико-экономической защиты получили развитие вопросы обеспечения долговечности металлических конструкций, связанные с минимизацией рисков негативного воздействия на экосистему прибрежного строительства.

2. Материалы и методы

Среди многочисленных аспектов «зеленого» строительства следует выделить базисную структуру мер и инструментов программно-целевого устойчивого развития городской застройки ([Травуш и др., 2022](#)). Согласно определению, принятому Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций в 2015 году, «устойчивые города и сообщества» должны соответствовать условиям инклюзивности, безопасности, жизнестойкости и устойчивости развития» ([Kufeoglu, 2022](#)). Долговечность ЛСТК каркасных технологий строительства на прибрежных территориях зависит от природных и антропогенных факторов, совокупных воздействий гидрометеорологических, геологических и инженерно-геологических процессов, приводящих к деформированию прибрежных территорий.

Устойчивое развитие производственных активов и бизнеса на современном этапе предполагает создание комплексной системы менеджмента объектов недвижимости (системы *FM*) в контексте управления деятельностью на стадиях ЖЦ. Стадии ЖЦ металлических конструкций и сооружений (далее по тексту – «конструкций») включают проектирование, строительство, эксплуатацию, реконструкцию, деградацию и капитальный ремонт, снос и утилизацию строительных объектов. Масштаб проблемы обеспечения коррозионной защищенности на прибрежных территориях определяется необходимостью реализации дополнительных мер технико-экономической защиты на всех стадиях ЖЦ конструкций. Кроме аспектов механической безопасности, обеспечение сохранности основных фондов имеет важный экологический характер. Аварии и разрушения металлоконструкций в результате низкого качества противокоррозионной защиты сопровождаются загрязнением среды и ухудшением экологической обстановки прибрежных регионов.

В настоящее время около 50 % металлофонда объектов различного назначения работает в условиях средне- и сильноагрессивных воздействий. По данным экспертных оценок, потери от коррозии составляют 10-15 % всего производимого черного металла или 4-5 % национального дохода. Важность проблемы защиты металлов от коррозии связана с необходимостью высвобождения финансовых и материальных ресурсов, которые нерационально используются на ремонты технологического оборудования, машин, строительных конструкций зданий и сооружений из-за преждевременного износа и снижения сроков службы при воздействиях агрессивной среды. Продолжительность межремонтного периода конструкций в средне- и сильноагрессивных средах составляет от одного до трех лет, поэтому каждые три года необходимо восстанавливать защитные покрытия на 50 % металлоконструкций и производить замену 10-20 % конструктивных элементов в результате коррозионного износа.

При этом выявляется объективно растущая потеря физических качеств долгосрочных объектов недвижимости в результате их коррозионного разрушения и/или утраты первоначальных характеристик работоспособности (прямые убытки). При действии природных и техногенных факторов происходит деградация материала конструкций и

сооружений. В дополнение к материальным потерям моральный износ отражает косвенные убытки, вызванные несоответствием принятых мер по защите от коррозии требованиям совершенствования и развития бизнес-процессов.

Нормативно-правовые акты положений Градостроительного кодекса Российской Федерации содержат положения технических регламентов, национальных стандартов и сводов правил для определения необходимого уровня *надежности* и *механической безопасности* строительных объектов. Среди многообразия направлений исследований в области *механической безопасности* и *запасов прочности* значительное внимание уделяется рациональному конструированию, направленному на выбор оптимальных технических решений по защите от коррозии ЛСТК быстровозводимого строительства.

В соответствии с основными положениями и требованиями Еврокода EN 1990 конструкции должны обеспечивать безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность в течение срока службы, установленного нормами или заданного заказчиком. Для регламентирования долговечности зданий и конструктивных элементов их следует либо проектировать с учетом воздействий окружающей среды, либо защищать от негативных воздействий. В качестве основных критериев при обосновании долговечности ЛСТК рассматривают: ожидаемые условия окружающей среды; эксплуатационные характеристики материалов; качество изготовления и уровень контроля; требования технико-экономической защиты; меры по техническому обслуживанию в течение проектного срока службы.

Как известно, существующий комплекс требований защиты от коррозии предполагает дополнительные затраты, которые необходимо оптимизировать с учетом назначения и ЖЦ многоцелевых объектов с использованием ЛСТК (Королев, Герман, 2020). В настоящее время действуют нормы СП 28.1330.2017 и регламенты (Пособие..., 1989; Рекомендации..., 1988), методическая основа которых формировалась в условиях государственной формы собственности и планово-предупредительной системы технического обслуживания. Рекомендательная практика нормативных положений советского периода при обосновании выбора систем противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК) в значительной степени имела ресурсозатратный характер, отличалась низкой эффективностью и неконкурентоспособностью по критериям мирового рынка. Отсутствие единых подходов к определению значимости факторов коррозионных сред, регламентации универсальных методов испытаний привело к диспропорциям при оценке долговечности СПЗК (Шляфирнер, Голубев, 1987). В новых экономических реалиях предлагается выполнять обоснование СПЗК с учетом приемлемых рисков бизнес-стратегии корпоративного развития производственных активов (Королев и др., 2022).

Понятие *долговечность* обобщает взаимосвязь количественных параметров коррозионной стойкости (K , мм/год) или степени агрессивности среды (A , г/м²·год), а также срока службы защитного покрытия (T_z , год), (Королев, Герман, 2022). Развитие рыночных отношений в стране включает обоснование методов управления объектами недвижимости с учетом изменений, вызванных расгосударствлением основных средств. При сохранении приоритетов обеспечения долговечности вопросы ресурсосбережения и природоохранных мер экосистемы обеспечивают новые мотивационные механизмы реализации требований безопасности на основе управления ЖЦ в условиях прибрежного строительства ЛСТК.

Одной из основных составляющих системы технико-экономической защиты зданий и сооружений в соответствии с действующими нормами и правилами является профилактика и предотвращение угрозы коррозионного разрушения на протяжении ЖЦ. В зависимости от стадии ЖЦ конструкций оценка коррозионной стойкости и долговечности включает: на стадии проектирования и изготовления – выбор мер первичной и вторичной защиты с учетом степени агрессивности среды строительного объекта; при эксплуатации и реконструкции – коррозионный аудит, мониторинг и риск-диагностику коррозионного состояния (Королев, Герман, 2022).

Проблема низкой долговечности конструкций прибрежных объектов вызвана тем, что в течение длительного периода нормы проектирования опирались на эмпирические рекомендации (Королев, Рыженков, Королев, 2022), не позволяющие использовать итеративный метод управления надежностью *PDCA* (*Plan-Do-Check-Act*). Данные обстоятельства формируют актуальные направления развития ЛСТК, связанные с переходом от предписывающего метода нормирования к параметрическим моделям, цифровой трансформации системы управления ЖЦ по критериям долговечности и экологическим стандартам. Таким образом, применение риск-ориентированных технологий регулирования

безопасности является важным инструментом ускорения внедрения новых средств и методов повышения долговечности объектов быстровозводимого строительства.

На основании вышеизложенного сформулированы основные задачи данного исследования:

- Обосновать многокритериальный подход к постоянному улучшению параметров долговечности объектов ЛСТК прибрежного строительства;
- Систематизировать классификационные признаки коррозионной защищенности с учетом гарантированного поддержания мер технико-экономической защиты многоцелевых быстровозводимых ЛСТК;
- Обобщить практический опыт нормирования, регулирования и управления параметрами долговечности на примере объектов Приазовья.

3. Обсуждение

Объектом исследования является долговечность ЛСТК в условиях неопределенности коррозионных воздействий прибрежных территорий. Предмет исследования включает управление технико-технологическими рисками коррозионной защищенности конструкций путем резервирования надежности (механическая безопасность) и эксплуатационной пригодности (функциональная безопасность). Формирование системы регламентного управления коррозионной защищенностью выполняется на основе требований к эксплуатации и безопасности объектов недвижимости согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 41001-2023 «Менеджмент объектов недвижимости».

Существующие практики возведения ЛСТК предусматривают использование гнутых (гнуто-сварных), холоднодеформированных тонкостенных профилей, в том числе составного сечения, для формообразования зданий и сооружений многоцелевого назначения по каркасным технологиям. Преимущества быстровозводимых объектов связаны с архитектурной выразительностью, рациональной конструктивной формой, высокой технологичностью и применением ресурсосберегающих средств долговременной защиты (стальной лист с цинковым, алюминированным или алюмоцинковым покрытием). Архитектурно-планировочные решения объектов позволяют разрабатывать индивидуальные типы ЛСТК с учетом сортамента листового проката и требований технологии сварочных процессов.

Расширение области использования металла в строительстве, увеличение объемов производства ЛСТК ставят в число приоритетных задач обеспечение ЖЦ быстровозводимых объектов средствами гарантированной защиты от коррозии. Следует отметить, что на сегодня отсутствуют действенные механизмы, которые бы удовлетворяли формированию экономического подхода к повышению эффективности противокоррозионной защиты, надежности и безопасности ЛСТК.

В настоящее время для проектирования ЛСТК применяют меры технико-экономической защиты, включающие создание допусков на коррозию или нанесение защитных покрытий. Область применения материалов и рациональность их выбора определяются требованиями к долговечности конструкций с учетом целевого назначения зданий и сооружений (Королев, Герман, 2022). Вместе с тем остаются нерешенными вопросы обоснования оптимальных мер противокоррозионной защиты ЛСТК с учетом рисков угроз коррозионного разрушения стальных тонкостенных конструкций. Снижение затрат на всех стадиях ЖЦ связано с регламентацией пяти принципов *DMAIC* (*define, measure, analyze, improve, control*), позволяющих выполнять постоянное улучшение СПЗК (Королев, 2018).

На прибрежных территориях проблема ресурсосбережения для ЛСТК приобретает особую актуальность, так как условия коррозионных воздействий в зонах с различными климатическими условиями требует значительного объема потребления ресурсов, в частности связанных с применением материалов и технологий противокоррозионной защиты (Королев, 2018а; Дрейзис и др., 2020; Мангушев, Полити, 2023).

Разработанный регламент постоянного улучшения и гарантированного поддержания целевых показателей надежности ЛСТК (Рисунок 1) объединяет возможности системного анализа проектных данных (входные параметры долговечности) и процессного подхода к управлению эксплуатационными характеристиками технического состояния (критерии живучести).

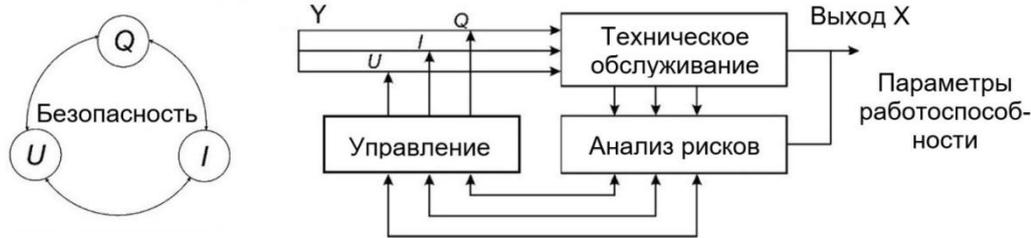


Рис. 1. Схема цикла PDCA управления долговечностью ЛСТК: техническая Q, информационная I и управленческая U составляющие

Комплексный подход к управлению коррозионной защищенностью основан на действующих стандартах Единой системы защиты от коррозии, старения и биоповреждений (ЕСЗКС) и положениях строительных норм расчета конструкций по предельным состояниям. Степень коррозионной агрессивности устанавливают в зависимости от макроклиматического района, категории размещения по ГОСТ 15150 и материала конструкций, вида и интенсивности технологических выделений на прибрежных территориях. По характеру воздействий различают атмосферные климатологические и воздействия коррозионно-активных сред. Оценка коррозионной агрессивности атмосферы в условиях прибрежного строительства выполняется согласно ГОСТ 9.039–74. Влияние внешних факторов (агрессивная среда) и внутренних параметров (конструктивная форма) на показатели технико-экономической защиты ЛСТК рассматривается с учетом критериев отказа СПЗК.

Реализация многокритериального подхода для управления долговечностью объектов ЛСТК выполнена в ПГТУ путем построения матрицы уровня надежности СПЗК (Таблица 1) и дифференциации агрессивных воздействий (Таблица 2) с учетом эксплуатационных характеристик определяющих параметров коррозионного состояния (ОПКС) объектов (Куценко, Королев, 2023).

Таблица 1. Обобщенная матрица показателей надежности СПЗК

Обозначение воздействий	Интервальные оценки коэффициента готовности противокоррозионной защиты (K_g) и степень 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

Таблица 2. Классификационные признаки коррозионных сред

Обозначение степени агрессивности по табл. 1	Показатель коррозионной стойкости: стали алюминия K, мм/год	Характеристическое значение годовых коррозионных потерь стали С 235, A_n , г/м ² год	Обозначение степени агрессивности по СП 28.1330.2017	Обозначение категории коррозии по ISO 12944-2 A_n , г/м ² год
A1 HA	до 0,01 до 0,001	до 80	B1 Неагрессивная	C1 очень низкая ≤ 10 C2 низкая

Обозначение степени агрессивности по табл. 1	Показатель коррозионной стойкости: стали алюминия K, мм/год	Характеристическое значение годовых коррозионных потерь стали С 235, A_n , г/м ² год	Обозначение степени агрессивности по СП 28.1330.2017	Обозначение категории коррозии по ISO 12944-2 A_n , г/м ² год
				10 ... 80
A2 CA	<u>0,01 ... 0,05</u> 0,001..0,005	80 ... 400	B2 Слабоагрессивная	C2 низкая 80 ... 200
				C3 низкая 200 ... 400
A3 HA	<u>0,05 ... 0,08</u> 0,005.. 0,008	400 ... 650	B3 Среднеагрессивная	C4 высокая 400 ... 650
A4 BA	<u>0,08 ... 0,20</u> 0,008...0,02	650 ... 1500,0		C5-1 промышленная 650 ... 1500 C5-M морская 650 ... 1500
A5 OBA	<u>0,20 ... 0,50</u> <u>0,02.... 0,05</u>	1500 ... 3900,0		—
A6 CA	<u>свыше 0,50</u> <u>свыше 0,05</u>	свыше 3900,0	B4 сильноагрессивная	—

Ввиду важности рассматриваемой проблемы долговечности при оценке расчетного, эксплуатационного и полезного сроков службы конструкций обоснован матричный метод комплексного анализа критериев технологической и экологической безопасности. Как инструмент постоянного улучшения и гарантированного поддержания уровня надежности СПЗК предложен коэффициент готовности ЛСТК (K_g):

$$K_g = \frac{T_{zk} + T_{zy}}{T_{zk} + nT_{zy}}; \quad (1)$$

где n – количество ремонтных циклов возобновления противокоррозионной защиты при установленном сроке службы объекта.

Коэффициент готовности (K_g) принят в качестве комплексного показателя безотказности и ремонтпригодности для сценарного анализа долговечности ЛСТК. Коэффициент K_g раскрывает вариабельность условий резервирования по уровню коррозионной опасности (KI – KV) или коррозионной защищенности (ZI – ZIV), а также возможности сценарного итеративного управления долговечностью ЛСТК.

Задание уровня надежности ЛСТК создает единую методологическую основу для коррозионного инжиниринга и менеджмента средств технико-экономической защиты. Последовательность этапов методического подхода к выбору средств и методов защиты от коррозии стальных конструкций по требованиям технико-экономической защиты ЛСТК представлена на [Рисунке 2](#). Согласование с заказчиком условий первичной и вторичной защиты производится на основании утверждения типовой модели ЖЦ конструкций, применительно к которой разрабатывается номенклатура сбалансированных показателей уровня надежности СПЗК. Конструкторская подготовка производства связана с анализом возможностей первичной защиты по требованиям коррозионной стойкости. Выбор мер

вторичной защиты включает анализ показателей технологической рациональности, учитывающих условия изготовления, монтажа и эксплуатации.

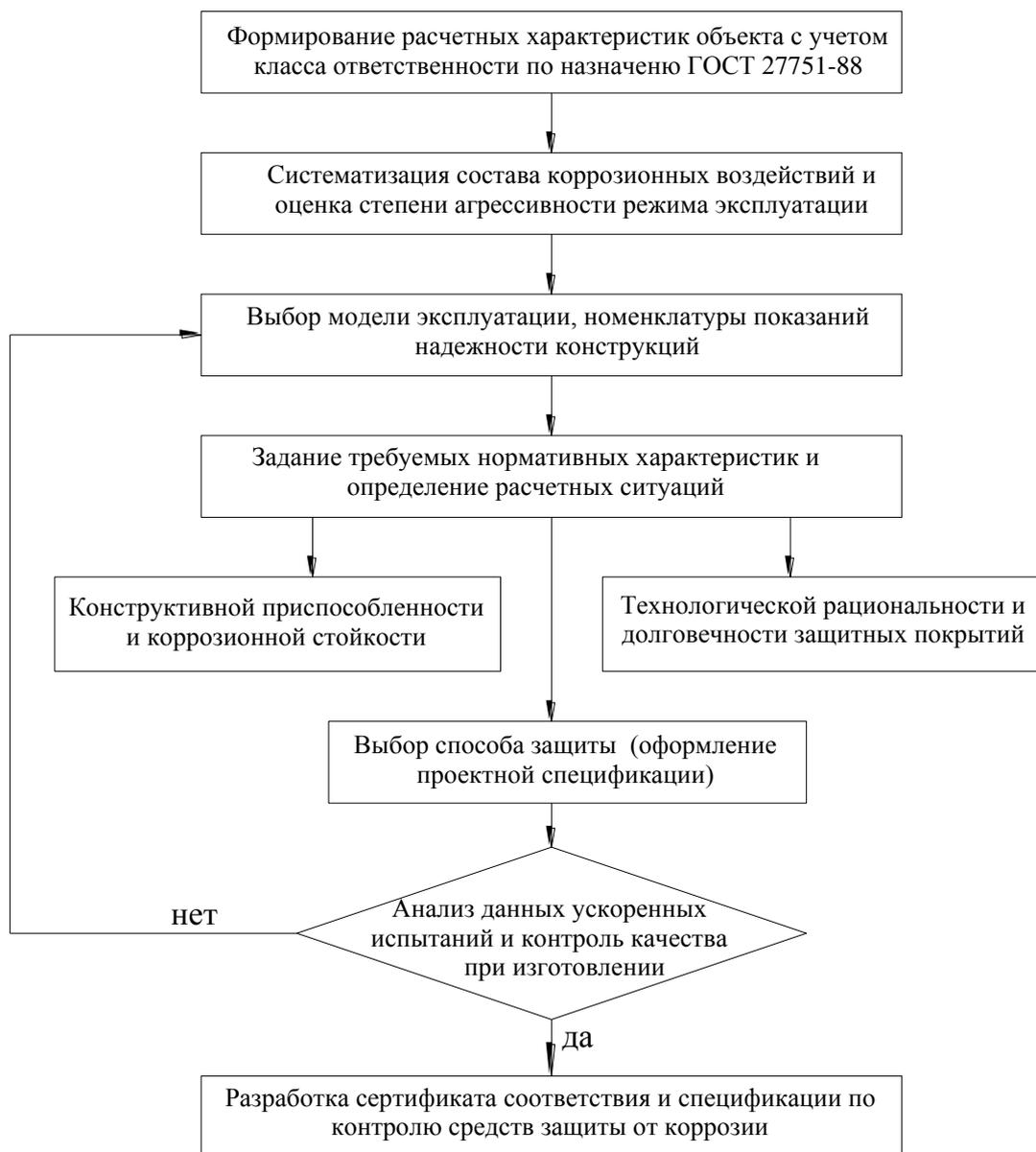


Рис. 2. Последовательность параметрического управления при коррозионном инжиниринге ЛСТК

Сравнительный анализ средств технико-экономической защиты от коррозии ЛСТК предлагается производить согласно разработанной методике с учетом коэффициента готовности стальных конструкций (K_g). При этом задача определения коэффициента K_g сформулирована как расчет стальных конструкций по предельным состояниям на коррозионную стойкость и долговечность по данным риск-диагностики вариантов первичной и вторичной защиты для заданного уровня коррозионной опасности (защищенности).

4. Результаты

Сформированный подход принят для оценки ОПКС на основе сбалансированных критериев ресурсосбережения и экологии техносферы ЛСТК:

– коррозионной опасности – состояния или ситуации (угрозы), при которых увеличивается вероятность наступления ущерба или того, что может повлиять на размер ущерба;

– коррозионной защищенности – способности СПЗК соответствовать заданным требованиям безопасности на основе организационно-технических мер, – установленных для нормального функционирования в течение жизненного цикла объектов недвижимости.

Функциональное резервирование долговечности по условиям первичной и вторичной защиты достигается заданием требуемого уровня коррозионной защищенности (ZI–ZIV) или коррозионной опасности (KI–KV) с учетом данных табл. 1, 2. Временное резервирование включает регулирование надежности и эксплуатационной пригодности с использованием результатов расчетно-измерительных методов анализа ОПКС и выявления резервов несущей способности ЛСТК (Рисунок 3).



а) опорные конструкции и пневматическая система нагружения при испытаниях;

б) контроль параметров напряженно-деформированного состояния элементов конструкций

Рис. 3. Стендовые силовые испытания ЛСТК

В период с 2009 по 2018 гг. выполнены стендовые и ускоренные коррозионные испытания эталонных образцов и фрагментов ЛСТК с защитными покрытиями для создания базы данных эксплуатационных параметров долговечности СПЗК (Королев, Герман, 2020):

– на Юго-Восточной исследовательской станции для районирования прибрежной территории и зонирования предприятий Донецкого региона по признакам коррозионной опасности (защищенности) согласно требованиям ГОСТ 9.905-82, ГОСТ 9.906-83;

– в испытательной лаборатории (ИЛ) «Антикор-Дон» Донбасского центра технологической безопасности (ДонЦТБ) ООО «Укринсталкон им. В.Н. Шимановского», аккредитованной по стандарту ISO/IEC17025.

При участии ПГТУ, заинтересованных предприятий и организаций разработаны технические регламенты риск-ориентированного управления безопасностью объектов ЛСТК прибрежного строительства с учетом повышения уровня корпоративной социальной ответственности бизнеса. Обоснованы принципы функционального и временного резервирования несущей способности ЛСТК на основе признаков коррозионного состояния для обеспечения технико-экономической защищенности быстровозводимых объектов. Система РУКЗ обеспечивает информационную поддержку внедрения рациональных материалов и технологий согласно положениям концепции *Lean Six Sigma* в течение ЖЦ ЛСТК объектов прибрежного строительства.

5. Заключение

Результатами выполненных теоретических и экспериментальных исследований являются следующие показатели.

1. Разработана система показателей РУКЗ для технико-экономической защиты и обоснования долговечности ЛСТК объектов прибрежного строительства. Особую практическую значимость представляет оценка требований безопасности,

ресурсосбережения и экологии техносферы с использованием риск-ориентированной технологии сценарного итеративного метода управления надежностью PDCA. Регламентное сопровождение способствует постоянному улучшению превентивных и защитных мер повышения долговечности в течение ЖЦ ЛСТК с использованием цифровых технологий параметрического регулирования уровня надежности и безопасности объектов прибрежного строительства.

2. Представлены преимущества функционального и временного резервирования на основе классификационных признаков коррозионной защищенности, гарантированного поддержания долговечности ЛСТК, что позволяет обеспечить эффективность применения ресурсосберегающих материалов и экологически ответственных технологий. Сбалансированные критерии уровня надежности (см. табл. 1) устраняют неопределенность воздействий коррозионных сред, создают условия для обслуживания ЛСТК по фактическому состоянию ОПКС, снижают риски и предотвращают последствия разрушений техногенного характера.

3. Формирование системы РУКЗ обеспечивает эффективность коррозионного инжиниринга и менеджмента ЛСТК согласно положениям стандарта ГОСТ Р ИСО 41001-2023. Резервирование как универсальный метод обеспечения надежности ЛСТК способствует созданию условий совершенствования нормативно-технического регулирования мер технико-экономической защиты и развития инновационных технологий средств и методов противокоррозионной защиты быстровозводимых объектов.

Литература

ГОСТ Р ИСО 41001-2023 – ГОСТ Р ИСО 41001-2023. Менеджмент объектов недвижимости. Системы менеджмента. Требования, включая руководство по использованию / ФГБУ «Институт стандартизации». М: Стандартинформ 2023. 34 с.

Дрейзис и др., 2020 – Дрейзис Ю.И., Видищева Е.В., Копьрин А.С. Современные подходы к управлению качеством окружающей среды морских рекреационных территорий (на примере Краснодарского края) // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. № 11 (часть 3). 2020. С. 468-476. [Электронный ресурс]. URL: <https://vaael.ru/article/view?id=1450>

Королев, 2018 – Королев В.П. Требования качества, надежности и безопасности для управления коррозионной защищенностью металлоконструкций и сооружений // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2018. Т. 4. № 3. С. 24–32. [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/08/2018-N3-Korolov.pdf>

Королев, Герман, 2020 – Королев В.П., Герман Г.А. Формирование проектных требований на основе управления коррозионной защищенностью стальных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. Вып. 4. С. 518–532. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.4.518-532

Королев, Герман, 2022 – Королев В.П., Герман Г.А. Метод оценки эффективности материалов и технологий для обеспечения коррозионной защищенности стальных конструкций // *Современное строительство и архитектура*. апрель, 2022. № 1 (25). [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.18454/mca.2022.25.7>

Королев, 2018а – Королев В.П. Управление безопасностью на основе инноваций технико-экономической защищенности инфраструктурных объектов / Олимпийское наследие и крупномасштабные мероприятия: влияние на экономику, экологию и социокультурную сферу принимающих дестинаций / *Материалы X Междунар. науч.-практ. конф.*, Сочи (17-18 мая 2018 г.). Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ», 2018. 306 с.

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

Королев и др., 2022 – Королев В.П., Рыженков А.А., Королев П.В. Эволюция концептуальных подходов к управлению коррозионной защищенностью стальных конструкций и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. №8. С.32-40. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.08.32-40

Куценко, Королев, 2023 – Куценко И.В., Королев В.П. Традиции и инновации в образовательном процессе и университетской науке для развития компетенций в сфере строительства // *Строительство: наука и образование*. 2023. Т. 13. Вып. 3. С. 1148-1157. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.7

Мангушев, Полити, 2023 – Мангушев И.Ф., Полити В.В. Ресурсы и регулирование ресурсосбережения на различных стадиях жизненного цикла строительного объекта // *Отходы и ресурсы*. 2023. Т. 10. № 1. DOI: 10.15862/28ECOR123

Пособие..., 1989 – 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). М.: Стройиздат, 1989. С.51.

Рекомендации..., 1988 – Рекомендации по проектированию защиты от коррозии строительных металлических конструкций. М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 1988. С. 166.

Стратегия развития..., 2024 – Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-31102022-n-3268-r/strategiia-razvitiia-stroitelnoi-otrasli-i/> (дата обращения: 15.02.2024)

Травуш и др., 2022 – Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Волков Ю.С. О стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации по 2030-2035 годы // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. №8. С. 4-10. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.08.04-10

Шляфирнер, Голубев, 1987 – Шляфирнер А.М., Голубев А.И. О классификации агрессивных сред и методах коррозионных испытаний // *Защита металлов*. 1987. Т. XXIII. 1987. С. 832-841.

Amadi, Higham, 2017 – Amadi A.I., Higham A. Life Cycle Costs Associated with Building Failure in Coastal Areas / *Conference: International Sustainable Ecological Engineering Design for Society Conference*, Leeds Sustainability Institute, Leeds, UK, 2017. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/349214454_Life_Cycle_Costs_Associated_with_Building_Failure_in_Coastal_Areas?_tp=eyJjb250ZXhoIjpb7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19#citations

Faroz, 2018 – Faroz S.A. Performance Based Durability Design of Bridges for 120 Years / *Indian Society of Structural Engineers (ISSE) Journal*. 2018. 20(3): 10-15. [Electronic resource]. URL: <https://constrofacilitator.com/durability-design-of-marine-infrastructure/>

Kufeoglu, 2022 – Kufeoglu S. SDG-11: Sustainable Cities and Communities / In book: *Emerging Technologies, Value Creation for Sustainable Development*. Pp. 385-408. DOI: 10.1007/978-3-031-07127-0_13 [Electronic resource]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/361927595>

Xing, Mi, 2011 – Xing F. Mi X.M. Life Cycle Cost Analysis and the Decision of Concrete Durability Technology in the Coastal Regions: Evidence from China // *Home Advanced Materials Research Advanced Materials Research*. 2011. Vols. 243-249L. Trans Tech Publications, Ltd. 2011. Pp. 6389-6393. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.243-249.6389>

References

Amadi, Higham, 2017 – Amadi, A.I., Higham, A. (2017). Life Cycle Costs Associated with Building Failure in Coastal Areas. *International Sustainable Ecological Engineering Design for Society Conference, Leeds Sustainability Institute, Leeds, UK*. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/349214454_Life_Cycle_Costs_Associated_with_Building_Failure_in_Coastal_Areas?_tp=eyJjb250ZXhoIjpb7ImZpcnNoUGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2FoaW9uIn19#citations

Drejzis i dr., 2020 – Drejzis, Yu.I., Vidishcheva, E.V., Kopyrin, A.S. (2020). Sovremennye podhody k upravleniyu kachestvom okruzhayushchej sredy morskikh rekreacionnyh territorij (na primere Krasnodarskogo kraja) [Modern approaches to environmental quality management of marine recreational areas (on the example of the Krasnodar Krai)]. *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava*. 11 (chast' 3): 468-476. [in Russian]

Faroz, 2018 – Faroz, S.A. (2018). Performance Based Durability Design of Bridges for 120 Years. *Indian Society of Structural Engineers (ISSE) Journal*. 20(3): 10-15. [Electronic resource]. URL: <https://constrofacilitator.com/durability-design-of-marine-infrastructure/>

GOST R ISO 41001-2023 – GOST R ISO 41001-2023. Menedzhment ob"ektov nedvizhimosti. Sistemy menedzhmenta. Trebovaniya, vklyuchaya rukovodstvo po ispol'zovaniyu [Management of real estate objects. Management systems. Requirements, including the usage guide]. М: FGBU «Institut standartizacii». 2023. 34 p. [in Russian]

Korolov, 2018 – Korolov, V.P. (2018). Trebovaniya kachestva, nadezhnosti i bezopasnosti dlya upravleniya korrozionnoj zashishennostyu metallokonstrukcij i sooruzhenij [Quality, reliability and safety requirements for management of corrosion protection of structural steel and

installations]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 4(3):24-32. [Electronic resource]. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/08/2018-N3-Korolov.pdf> [in Russian]

Korolyov i dr., 2022 – *Korolyov, V.P., Ryzhenkov, A.A., Korolyov, P.V.* (2022). Evolyuciya konceptual'nyh podhodov k upravleniyu korrozionnoj zashchishchennost'yu stal'nyh konstrukcij i sooruzhenij [Evolution of conceptual approaches of management of corrosion protection of steel structures and facilities]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 8: 32-40. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.08.32-40 [in Russian]

Korolyov, 2018a – *Korolyov, V.P.* (2018). Upravlenie bezopasnost'yu na osnove innovacij tekhniko-ekonomicheskoy zashchishchennosti infrastruktury ob"ektov [Safety management based on innovations in technical and economic security of infrastructure facilities]. *Olimpijskoe nasledie i krupnomasshtabnye meropriyatiya: vliyanie na ekonomiku, ekologiyu i sociokul'turnuyu sferu prinyimayushchih destinacij. Materialy X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Sochi, 17-18 maya 2018)*. Sochi: RIC FGBOU VO «SGU», 306 p. [in Russian]

Korolyov, German, 2020 – *Korolyov, V.P., German, G.A.* (2020). Formirovanie proektnykh trebovanij na osnove upravleniya korrozionnoj zashchishchennost'yu stal'nyh konstrukcij [Formation of design requirements based on the management of structural steel corrosion protectability]. *Vestnik MGSU*. 15(4): 518-532. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.4.518-532. [in Russian]

Korolyov, German, 2022 – *Korolyov, V.P., German, G.A.* (2022). Metod otsenki effektivnosti materialov i tehnologij dlya obespecheniya korrozionnoj zashchishchennosti stal'nyh konstrukcij [Formation of design requirements based on the management of structural steel corrosion protectability]. *Sovremennoe stroitelstvo i arhitektura*. № 1 (25). DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2022.25.7> [in Russian]

Korolyov, Kushhenko, 2016 – *Korolyov, V.P., Kushhenko, I.V.* (2016). Normativnoe regulirovanie nadezhnosti i bezopasnosti sistem protivokorrozionnoj zashchity metallokonstrukcij [Regulatory control of reliability and safety of structural steel corrosion protection system]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 1: 37-42. [in Russian]

Kufeoglu, 2022 – *Kufeoglu, S.* (2022). SDG-11: Sustainable Cities and Communities. In book: *Emerging Technologies, Value Creation for Sustainable Development*. Pp. 385-408. DOI: 10.1007/978-3-031-07127-0_13 [Electronic resource]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/361927595>

Kushchenko, Korolyov, 2023 – *Kushchenko, I.V., Korolyov, V.P.* (2023). Traditsii i innovacii v obrazovatel'nom processe i universitetskoj nauke dlya razvitiya kompetencij v sfere stroitel'stva [Traditions and innovations in the educational process and university science for development of competences in the construction sector]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 13(3): 1148-1157. . [Electronic resource]. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.7 [in Russian]

Mangushev, Politi, 2023 – *Mangushev, I.F., Politi, V.V.* (2023). Resursy i regulirovanie resursosberezheniya na razlichnyh stadiyah zhiznennogo cikla stroitel'nogo ob"ekta [Resources and regulation of resource conservation at various stages of the life cycle of a construction facility]. *Othody i resursy*. 10(1): 1-13. DOI: 10.15862/28ECOR123 [in Russian]

Posobiye..., 1989 – *Posobiye po kontrolyu sostoyaniya stroityelnykh metallicheskih konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy ot korrozii (k SNiP 2.03.11-85)* [Manual on monitoring of state of structural steel of buildings and installations in corrosive environments, surveying and design of renewal of structure corrosion protection (to SNiP 2.03.11-85)]. M.: Stroyizdat. 1989. 51 p. [in Russian]

Rekomendatsii..., 1988 – *Rekomendatsii po proektirovaniyu zashchity ot korrozii stroitel'nyh metallicheskih konstrukcij* [Recommendations for the design of corrosion protection of building metal structures]. M.: CNIIPSK im. Mel'nikova, 1988. 166 p. [in Russian]

Shlyafirner, Golubev, 1987 – *Shlyafirner, A.M., Golubev, A.I.* (1987). O klassifikacii agressivnyh sred i metodah korrozionnyh ispytaniy [On the classification of aggressive media and corrosion testing methods]. *Zashchita metallov*. XXIII(5): 832-841. [in Russian]

Strategiya razvitiya..., 2024 – *Strategiya razvitiya stroitel'noi otrasli i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva Rossijskoi Federatsii na period do 2030 goda s prognozom do 2035 goda* [Strategy for the development of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2035]. [Electronic resource]. URL: <https://sudact.ru/law/rasporiazhenie-pravitelstva-rf-ot-31102022-n-3268-r/strategiia-razvitiia-stroitelnoi-otrasli-i/> [in Russian]

Travush i dr., 2022 – Travush, V.I., Kuzevanov, D.V., Volkov, Yu.S. (2022). O Strategii razvitiya stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii po 2030-2035 gody [About the development strategy for the construction industry of the Russian Federation for 2030-2035]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 8: 4-10. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.08.04-10 [in Russian]

Xing, Mi, 2011 – Xing, F., Mi, X.M. (2011). Life Cycle Cost Analysis and the Decision of Concrete Durability Technology in the Coastal Regions: Evidence from China. *Home Advanced Materials Research Advanced Materials Research Vols. 243-249L*. Trans Tech Publications, Ltd. Pp. 6389-6393. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.243-249.6389>

UDC 624.014.012.45:620.19:681.518.54

Sustainable Development of Onshore Construction Practices Using Lightweight Thin-Walled Steel Structures

Igor V. Kushchenko ^a, Vladimir P. Korolov ^{a, *}, Elena A. Bocharova ^a

^a Priazovsky State Technical University, Mariupol, Russian Federation

Abstract

The article presents a process approach to standardizing durability of lightweight thin-walled steel structures (LTSS). Formulated are the principles of regulating safety of onshore facilities using balanced criteria of resource saving and technosphere ecology.

The analysis is carried out of provisions of "green" construction for developing a management system for technological and environmental safety during the life cycle of structures and installations. The requirements are summarized that regulate conditions of the construction technology of prefabricated LTSS as well as methods of innovative development of resource-saving and environmentally responsible technologies.

The design requirements for reliability, serviceability and durability are determined based on the principles of corrosion protectability of LTSS. To implement innovations, a matrix method for assessing corrosion protectability has been developed which allows regulating measures of technical and economic corrosion protection during the life cycle of facilities. Criteria are presented of parametric control in corrosion engineering and management of metal structures. Justified are the advantages of technical and economic protection of LTSS based on the signs of corrosion hazard and corrosion protectability. Practical examples are given of standardization and regulation of durability of construction facilities for the Azov region.

Keywords: lightweight thin-walled steel structures, durability, onshore construction, safety regulation, technical and economic protection, corrosion protectability, resource saving, sustainable development.

* Corresponding author

E-mail addresses: korolyovskif@yandex.ru (V.P. Korolov), kigorvlad@yandex.ru (I.V. Kushchenko), elena270915v@yandex.ru (E.A. Bocharova)