

УДК 69.059.032

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АДДИТИВНОЙ СВЕРТКИ

Агафонкина Наталья Викторовна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и
управление производством».*

Гарькина Валерия Александровна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

студент.

Месселе Виктория Алексеевна

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и
управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»,*

г.Пенза,

студент.

Аннотация

Анализируется методология комплексной оценки технического состояния металлических конструкций зданий с применением метода аддитивной свертки показателей. Предложена математическая модель интегральной оценки, учитывающая различные факторы дефектности, коррозионного износа и механических повреждений. Разработана система весовых коэффициентов для критериев оценки на основе экспертного анализа. Представлены практические расчеты для типовых конструктивных элементов. Результаты исследования позволяют повысить объективность принятия решений о необходимости

ремонтно-восстановительных работ и продлении срока эксплуатации металлоконструкций.

Ключевые слова: металлические конструкции, техническое состояние, аддитивная свертка, интегральная оценка, коррозия, дефектность, весовые коэффициенты, многокритериальный анализ, диагностика зданий.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF METAL STRUCTURES OF BUILDINGS BASED ON THE ADDITIVE CONVOLUTION METHOD

Natalya Viktorovna Agafonkina,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

*PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Economics, Organization,
and Management of Production.*

Valeria Aleksandrovna Gar'kina,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Student.

Victoria Alekseevna Messele,

*K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First
Cossack University), Penza,*

Student.

Abstract

Paper analyzes a methodology for comprehensively assessing the technical condition of metal building structures using the additive convolution method. A mathematical model for integrated assessment is proposed, taking into account various factors of defects, corrosive wear, and mechanical damage. A system of weighting factors for assessment criteria is developed based on expert analysis. Practical calculations for typical structural elements are presented. The results of the study allow

for more objective decision-making regarding the need for repair and restoration work and the extension of the service life of metal structures.

Keywords: metal structures, technical condition, additive convolution, integrated assessment, corrosion, defects, weighting factors, multi-criteria analysis, building diagnostics.

Металлические конструкции составляют фундаментальную основу современных промышленных и гражданских объектов. В процессе эксплуатации они подвергаются воздействию комплекса факторов, включая статические и динамические нагрузки, агрессивные коррозионные среды, а температурные колебания, что приводит к постепенному снижению их технического состояния. Оперативная и достоверная диагностика технического состояния металлоконструкций приобретает ключевое значение для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений, рационального планирования ремонтных мероприятий и оптимизации эксплуатационных затрат [1,2].

Традиционные подходы к оценке, как правило, основываются на субъективных экспертных суждениях либо учитывают ограниченный спектр контролируемых параметров, что снижает достоверность результатов. Применение метода аддитивной свёртки способствует формализации процедуры оценки за счёт интеграции множества разнородных показателей в единый интегральный критерий технического состояния, обеспечивая более объективную и комплексную характеристику исследуемого объекта.

Ключевая проблема при оценке технического состояния металлических конструкций заключается в необходимости комплексного учета широкого спектра разнородных факторов, включающих как физические параметры, так и функциональные характеристики, и эксплуатационные условия. К числу основных физических параметров относятся степень коррозионного повреждения (общая и локальная коррозия), наличие механических повреждений (трещины,

изгибы, вмятины), утрата сечения несущих элементов, состояние сварных соединений и болтовых креплений [3,4]. Важными функциональными характеристиками являются несущая способность конструкций, величины прогибов и деформаций, соответствие современным нормативным требованиям.

Эксплуатационные факторы включают агрессивность окружающей среды, фактический срок службы конструкции и режим нагружения. Основные сложности оценки обусловлены разнородностью и несопоставимостью измеряемых параметров, которые представлены в различных шкалах (геометрические размеры, процентные показатели, качественные характеристики), различной степенью значимости каждого из факторов для итоговой оценки безопасности конструкции. Дополнительные затруднения вызывает отсутствие общепринятой методики интегральной оценки технического состояния, закрепленной в нормативной документации, и высокая степень субъективности экспертных заключений, особенно при визуальных обследованиях объектов [5].

Для решения обозначенной задачи предлагается использовать метод аддитивной свёртки критериев на базе следующего алгоритма. На первом этапе формируется система критериев оценки технического состояния, включающая основные группы показателей:

K_1 – коррозионные повреждения, для которых оцениваются степень общей коррозии, наличие локальных очагов коррозии и потеря толщины металла;

K_2 – механические повреждения, учитывающие наличие трещин, деформации элементов и повреждения соединений;

K_3 – эксплуатационная пригодность, определяемая величиной запаса несущей способности, соответствием нормативным значениям прогибов и остаточным ресурсом конструкции.

Каждый из выделенных критериев получает числовое значение в диапазоне от 0 до 1, где 1 соответствует идеальному (новому) состоянию конструкции, а 0 — аварийному состоянию. Для обеспечения сопоставимости исходные

параметры нормируются посредством специальных функций принадлежности следующего вида:

$$f(x) = \begin{cases} x \leq x_{\min} \\ \frac{x_{\max}-x}{x_{\max}-x_{\min}}, x_{\min} < x < x_{\max} \\ x \geq x_{\max} \end{cases}$$

где x — фактическое значение параметра, $x_{\min}$ — минимально допустимое (оптимальное) значение, $x_{\max}$ — критическое (аварийное) значение параметра. Такой подход позволяет привести разнородные критерии к единой безразмерной шкале, что существенно облегчает последующую интеграцию в рамках аддитивной свёртки.

На этапе определения весовых коэффициентов их значения устанавливаются методом экспертных оценок с учетом совокупного влияния каждого критерия на безопасность конструкции, вероятности развития дефектов, стоимости восстановления повреждений [6]. Для рассматриваемых групп критериев предлагается использовать следующие весовые коэффициенты: для коррозионных повреждений $w_1=0,4$ для механических повреждений $w_2=0,35$, для эксплуатационной пригодности $w_3=0,25$. При этом должно выполняться условие нормировки: $\sum w_i=1$

Интегральная оценка технического состояния конструкции осуществляется с использованием формулы аддитивной свертки:

$$Q=\sum(w_i \times K_i)$$

где Q — интегральный показатель технического состояния конструкции ($0 \leq Q \leq 1$), w_i — весовой коэффициент i -го критерия, K_i — нормализованное значение i -го критерия.

Категоризация технического состояния конструкций производится на основании значений интегрального показателя следующим образом: при $Q \geq 0,8$ конструкция характеризуется как исправная (дефекты отсутствуют либо выражены незначительно); при $0,6 \leq Q < 0,80$ — как работоспособная (требуется проведение наблюдения); при $0,4 \leq Q < 0,6$ — ограниченно работоспособная

(необходимость проведения ремонтных мероприятий); при $Q < 0,4$ — аварийная (необходимо незамедлительное усиление или замена конструкции).

Рассмотрим пример проведения интегральной оценки технического состояния металлической балки покрытия, выполненной из стального двутаврового профиля с пролетом 12 м и сроком эксплуатации 25 лет [6].

Шаг 1. Оценка критериев коррозионных повреждений (K_1).

Общая потеря толщины полки составила 1,2 мм, что соответствует 12% от исходной величины (10 мм). Допустимая потеря толщины принимается равной 15%, критическая — 30%. Нормализованная оценка рассчитывается следующим образом:

$$K_1 = \frac{30 - 12}{30 - 0} = 0,6$$

Локальные коррозионные поражения представлены тремя очагами язвенной коррозии глубиной до 2 мм (20% исходной толщины), что оценивается как $K_{1.2}=0,5$. Сохранилось 60% защитного лакокрасочного покрытия $K_{1.3}=0,6$. Весовые коэффициенты: $w_{1.1}=0,5$, $w_{1.2}=0,3$, $w_{1.3}=0,2$. Интегральная оценка по данному блоку рассчитывается по формуле:

$$K_1 = 0,5 \times 0,6 + 0,3 \times 0,5 + 0,2 \times 0,6 = 0,57$$

Шаг 2. Оценка механических повреждений (K_2).

Трещины в конструкции не зафиксированы ($K_{2.1}=1,0$). Фактический прогиб балки составляет 32 мм при нормативном значении 60 мм ($L/200$) и критическом — 80 мм ($L/150$). Нормированное значение:

$$K_{2.2} = \frac{80 - 30}{80 - 0} = 0,6$$

Состояние сварных и болтовых соединений оценивается на уровне 85% и 90% соответственно, интегральная оценка принята как $K_{2.3}=0,85$. Принятые коэффициенты весомости: $w_{2.1}=0,5$, $w_{2.2}=0,3$, $w_{2.3}=0,2$:

$$K_2 = 0,5 \times 1,0 + 0,3 \times 0,6 + 0,2 \times 0,85 = 0,85$$

Шаг 3. Оценка эксплуатационной пригодности (K_3).

Запас несущей способности составляет 85% от расчетного ($K_{3.1}=0,85$). Конструкция соответствует нормативным прогибам ($K_{3.2}=0,8$). Остаточный ресурс по сроку службы, при проектном значении 50 лет и фактическом возрасте 25 лет, оценивается как $K_{3.3}=0,6$. Весовые коэффициенты: $w_{3.1}=0,5$, $w_{3.2}=0,3$, $w_{3.3}=0,2$:

$$K_3=0,5 \times 0,85 + 0,3 \times 0,8 + 0,2 \times 0,6 = 0,785$$

Шаг 4. Расчет интегрального показателя технического состояния

Итоговая оценка производится по формуле аддитивной свертки:

$$Q=0,4 \times 0,57 + 0,35 \times 0,85 + 0,25 \times 0,785 = 0,228 + 0,298 + 0,196 = 0,722$$

Полученное значение интегрального показателя технического состояния балки ($Q=0,722$) свидетельствует о её работоспособном состоянии. На данном этапе целесообразно проводить регулярный мониторинг и предусмотреть выполнение ремонтных мероприятий в среднесрочной перспективе (3–5 лет).

Вывод

Метод аддитивной свёртки представляет собой объективный и воспроизводимый инструмент оценки технического состояния металлических конструкций за счёт интеграции множества разнородных показателей в единый интегральный критерий. Разработанная система нормализации критериев обеспечивает приведение различных по физической природе параметров — геометрических, физических, качественных — к сопоставимому масштабу измерения. Введение весовых коэффициентов позволяет учитывать неодинаковую значимость отдельных факторов, влияющих на общую оценку безопасности конструкции. Интегральный показатель Q обеспечивает однозначную классификацию технического состояния объекта и служит базисом для принятия обоснованных управленческих решений относительно необходимости и приоритетности проведения ремонтных мероприятий. Предлагаемая методика даёт возможность осуществлять сравнительный анализ состояния различных конструктивных элементов и оптимизировать

распределение ресурсов на их обслуживание. Приведённые численные примеры демонстрируют практическую применимость метода при обследовании реальных объектов, различающихся степенью износа. Высокая чувствительность предлагаемого метода к изменениям отдельных параметров способствует раннему выявлению критических дефектов и повышает эффективность мониторинга технического состояния конструкций.

Библиографический список:

1. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В., Сазонова М.А. Техническая экспертиза: механизм снятия с учета опасных производственных объектов // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2023. – № 5 (48). – С. 86-92
2. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В., Сазонова М.А. Техническая экспертиза: механизм узаконивания объектов недвижимости // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2023. – № 3 (46). – С. 124-129
3. Гарькин И.Н., Гарькина И.А., Кудишина А.Э. Совершенствование методики расчета виброэкранов с учетом многослойности основания и множественных источников вибрации // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2025. № 1 (20). С. 34-38.
4. Шеин А.И., Бакушев С.В., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Опыт обследования зданий и сооружений // Моделирование и механика конструкций. – 2017. – № 5. – С. 16.
5. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №2 – С.79-82
6. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В. Некоторые аспекты обследования строительных конструкций здания во время капитального ремонта // Моделирование и механика конструкций. – 2022. – № 16. – С. 103-108

7. Гарькин И.Н., Агафонкина Н.В. Некоторые аспекты обследования строительных конструкций здания во время капитального ремонта // Моделирование и механика конструкций. 2022. № 16. С. 103-108

8. Дымолазов М.А., Сабитов Л.С., Гарькина И.А. Выявление резервов несущей способности структурных конструкций // Региональная архитектура и строительство. 2025. № 1 (62). С. 117-127.

9. Айзатуллин М.М., Зиятдинов С.Б., Сабитов Л.С., Гарькина И.А. Узлы сопряжений порталных комбинированных опор // Региональная архитектура и строительство. 2025. № 3 (64). С. 111-120