

УДК 69.059.032

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ: РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Гарькина Ирина Александровна,

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

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математика и
математическое моделирование»*

Гарькин Игорь Николаевич,

ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов, г.Москва,

*кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Архитектура и
реставрация»*

Арискин Кирилл Максимович,

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

студент.

Аннотация

Анализируется возможность применения риск-ориентированного подхода для оценки технического состояния объектов культурного наследия. Предлагается метод комплексной оценки рисков, учитывающий вероятность разрушения конструктивных элементов и величину потенциального ущерба историко-культурной ценности объекта. Приводится математическая модель интегрального показателя риска, позволяющая ранжировать объекты по приоритетности проведения реставрационных работ. Дается иллюстрация метода при оптимизации распределения ресурсов планирования мероприятий по сохранению объектов культурного наследия.

Ключевые слова: объекты культурного наследия, техническое состояние, оценка рисков, реставрация, риск-ориентированный подход, математическое моделирование, интегральный показатель риска.

ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF CULTURAL HERITAGE SITES: A RISK-BASED APPROACH

Garkina Irina Aleksandrovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza

*doctor of Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematics and
Mathematical Modeling.*

Garkin Igor Nikolaevich,

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow,

PhD in Engineering, Head of the Department of Architecture and Restoration

Ariskin Kirill Maksimovich,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
student.*

Abstract

This article analyzes the feasibility of using a risk-based approach to assessing the technical condition of cultural heritage sites. A comprehensive risk assessment method is proposed that takes into account the likelihood of structural failure and the magnitude of potential damage to the historical and cultural value of the site. A mathematical model of an integrated risk indicator is presented, allowing for ranking sites by priority for restoration work. An illustration of the method for optimizing resource allocation for planning conservation activities for cultural heritage sites is provided.

Keywords: cultural heritage sites, technical condition, risk assessment, restoration, risk-based approach, mathematical modeling, integrated risk indicator.

Сохранение объектов культурного наследия является одной из ключевых задач современного общества, обусловленной необходимостью обеспечения преемственности исторического и культурного опыта для будущих поколений. По сведениям Министерства культуры Российской Федерации, на территории страны зарегистрировано более 140 тысяч объектов культурного наследия, причём значительная их часть характеризуется неудовлетворительным техническим состоянием, что создает дополнительные риски утраты уникальных памятников архитектуры, истории и культуры.

Анализ практик сохранения свидетельствует о преобладании традиционных методов обследования технического состояния памятников, которые опираются преимущественно на визуальные осмотры, а также отдельно проводимые инструментальные измерения структурных параметров [1,2]. Хотя указанные подходы позволяют выявить очевидные дефекты и фиксировать динамику их развития, они оказываются недостаточными для построения полной и объективной картины угроз, связанных с дальнейшей эксплуатацией объектов, не обеспечивают необходимого уровня комплексности при планировании реставрационных и консервационных мероприятий. Особенно остро ограниченность классических методов проявляется в условиях дефицита финансовых, материальных и кадровых ресурсов, что усложняет процедуру выбора приоритетных направлений деятельности в сфере охраны культурного наследия [3,4].

В современных реалиях всё большую актуальность приобретает внедрение риск-ориентированного подхода, который открывает возможность для построения системной и количественно обоснованной оценки факторов риска, влияющих на сохранность памятников, с учётом множества внутренних и внешних воздействий. Он предусматривает определение вероятности наступления событий, способных привести к утрате или повреждению объекта, а также оценку потенциальных последствий подобного развития ситуации.

Риск-ориентированный подход (risk-based) позволяет дифференцировать объекты по уровню угрозы сохранности, что, в свою очередь, обеспечивает более рациональное распределение ограниченных ресурсов между объектами, требующими первоочередного вмешательства. Это способствует формированию прозрачных и научно обоснованных процедур принятия решений в области охраны и реставрации культурного наследия, а также может стать основой для разработки долгосрочных программ и стратегий сохранения, адаптированных к специфике каждого отдельного памятника. Внедрение risk-based методологий способно повысить общий уровень эффективности охранных мероприятий и обеспечить устойчивость культурного наследия в условиях современных вызовов и угроз.

Существующая система мониторинга и оценки технического состояния объектов культурного наследия характеризуется рядом существенных научно-методологических и практико-организационных недостатков, существенно снижающих её эффективность и результативность.

Во-первых, отмечается недостаточная объективность оценочных процедур: традиционные методики преимущественно базируются на субъективных экспертных суждениях, в то время как количественная оценка степени угроз, уязвимости и вероятных последствий разрушения объекта зачастую отсутствует [5,6]. Это приводит к высокой вариабельности результатов, ограничивает возможность сопоставления данных в динамике и затрудняет выработку оптимальных управленческих решений.

Во-вторых, прослеживается отсутствие единой системы приоритизации вмешательств при ограниченных финансовых ресурсах. На сегодняшний день в большинстве случаев отсутствуют научно обоснованные, прозрачные и воспроизводимые критерии, позволяющие ранжировать объекты по степени необходимости и срочности проведения реставрационных или противоаварийных мероприятий [7]. Решения, принимаемые в подобных условиях, носят

фрагментарный и ситуативный характер, что может приводить к неоптимальному распределению доступных ресурсов.

В-третьих, существующие подходы к оценке состояния объектов культурного наследия страдают фрагментарностью в учёте разнообразных факторов риска. Как правило, во внимание принимаются лишь отдельные виды угроз, без комплексного анализа совокупного воздействия конструктивных особенностей, природно-климатических условий, антропогенной нагрузки, а также уровня историко-культурной ценности объекта.

В-четвёртых, наблюдается отсутствие эффективных инструментов прогнозирования: дефицит математических моделей, способных описывать и предсказывать характер развития негативных процессов, существенно ограничивает возможности раннего выявления потенциальных угроз и принятия превентивных мер.

Наконец, значимой проблемой выступает недостаточная экономическая обоснованность принимаемых решений (проведение реставрационных и иных мероприятий зачастую принимается без строгого анализа соотношения затрат и потенциального социально-экономического или культурного эффекта от сохранения объекта) [8].

Учитывая указанные ограничения, актуальной задачей становится разработка риск-ориентированного подхода к оценке технического состояния объектов культурного наследия. Он нацелен на количественную идентификацию и ранжирование рисков, учитывать полноту спектра воздействующих факторов, обеспечивать научную обоснованность и прозрачность при определении приоритетов распределения ресурсов, включать в себя инструменты прогнозирования и анализ эффективности принимаемых решений. Решение данной задачи позволит сформировать эффективный механизм управления сохранением культурного наследия, способствующий обеспечению его долговременной сохранности и рациональному использованию ограниченных средств.

Предлагаемый метод риск-ориентированной оценки основывается на классическом определении риска как произведения вероятности наступления неблагоприятного события на величину возможного ущерба [9]:

$$R = P \cdot C,$$

R – интегральный показатель риска; P – вероятность разрушения или повреждения объекта; C – величина потенциального ущерба (последствия).

Приведем алгоритм риск-ориентированной оценки.

1. Оценка вероятности разрушения (P)

Вероятность разрушения определяется на основе комплексного анализа технического состояния объекта и воздействующих факторов (каждый компонент (условная ситуационная вероятность) оценивается по шкале от 0 до 1 на основании инструментальных обследований и экспертных оценок):

$$P = \sum_{i=1}^5 \alpha_i P_i,$$

P_1 – вероятность, обусловленная состоянием конструктивных элементов;

P_2 – вероятность, связанная с природно-климатическими факторами;

P_3 – вероятность, обусловленная антропогенным воздействием;

P_4 – вероятность, связанная с эксплуатационными нагрузками;

P_5 – вероятность, обусловленная качеством предыдущих реставраций;

α_i – весовые коэффициенты для компонентов вероятности ($\sum \alpha = 1$).

2. Оценка величины потенциального ущерба (C)

Величина ущерба определяется совокупностью факторов, характеризующих культурную, историческую и экономическую ценность объекта:

$$C = \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \beta_3 C_3 + \beta_4 C_4,$$

C_1 – историко-культурная значимость (федеральная, региональная, местная);

C_2 – архитектурно-художественная ценность;

C_3 – уникальность объекта;

C_4 – социально-экономическая значимость;

β_j – весовые коэффициенты ($\sum \beta_j = 1$).

3. Интегральный показатель риска находится по формуле:

$$R = \left(\sum_{i=1}^5 \alpha_i P_i \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^4 \beta_j C_j \right)$$

4. Классификация объектов по уровням риска:

$R < 0,2$ – низкий риск (профилактический мониторинг);

$0,2 \leq R < 0,4$ – умеренный риск (плановые ремонтные работы);

$0,4 \leq R < 0,6$ – значительный риск (первоочередные консервационные мероприятия);

$0,6 \leq R < 0,8$ – высокий риск (срочная реставрация);

$R \geq 0,8$ – критический риск (экстренные аварийно-спасательные работы).

5. Приоритизация мероприятий

Для ранжирования объектов по планированию реставрационных работ применяется коэффициент экономической эффективности

$$E = \frac{R}{K},$$

K – прогнозируемая стоимость реставрационных мероприятий.

Приведем иллюстрацию практического применения риск-ориентированного подхода на реальном примере определения оценки риска для особняка начала XX века (общий вид здания рис.1).



Рисунок 1 – Общий вид здания

По результатам технического обследования определены следующие компоненты вероятностей (условные ситуационные вероятности) разрушений:

-значительные трещины в несущих стенах, деформация перекрытий, коррозия металлических элементов (состояние конструкций): $P_1 = 0,7$;

- высокий уровень грунтовых вод, промерзание стен (природно-климатические факторы): $P_2 = 0,6$;

- объект заброшен, случаи вандализма(антропогенное воздействие): $P_3 = 0,5$;

-отсутствие эксплуатации, но критическая снеговая нагрузка(эксплуатационные нагрузки): $P_4 = 0,4$;

-последняя реставрация 40 лет назад, использованы несовместимые материалы (качество реставраций): P_5 .

Весовые коэффициенты для *компонентов вероятности* (определены экспертным методом): $\alpha_1 = 0,35$ (наибольший вес для состояния конструкций); $\alpha_2 = 0,25$; $\alpha_3 = 0,15$; $\alpha_4 = 0,15$; $\alpha_5 = 0,1$.

Тогда

$$P = \sum_{i=1}^5 \alpha_i P_i = 0,59$$

Оценка величины ущерба для данного здания принималась:

- $C_1 = 0,8$ (объект регионального значения, связан с важными историческими событиями);

- $C_2 = 0,7$ (образец провинциального модерна, аутентичные декоративные элементы);

- $C_3 = 0,75$ (один из немногих сохранившихся особняков данного типа в регионе уникальность объекта);

- $C_4 = 0,6$ (расположен в историческом центре, потенциал туристического использования).

Весовые коэффициенты: $\beta_1 = 0,4; \beta_2 = 0,3; \beta_3 = 0,2; \beta_4 = 0,1$.

Величины ущерба:

$$C = \sum_{j=1}^4 \beta_j C_j = 0,74$$

Риск:

$$R = \left(\sum_{i=1}^5 \alpha_i P_i \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^4 \beta_j C_j \right) = 0,59 \cdot 0,74 = 0,437$$

Значение $R = 0,437$ по приведенной классификации ($0,4 \leq R < 0,6$) соответствует значительному уровню риска; объект требует проведения первоочередных консервационных мероприятий в течение ближайших одного-двух лет.

Прогнозируемая стоимость реставрационных работ $K = 45$ млн рублей, коэффициент экономической эффективности:

$$E = R / K = 0,437 / 45 = 0,0097$$

(используется для сравнения с другими объектами при формировании программы реставрационных работ).

Для анализа чувствительности модели рассмотрим изменение интегрального показателя риска при вариации ключевых параметров.

Сценарий 1 (ухудшение состояния конструкций, $P_1 = 0,9$):

$$P = 0,35 \times 0,9 + 0,25 \times 0,6 + 0,15 \times 0,5 + 0,15 \times 0,4 + 0,10 \times 0,6 = 0,66;$$

$$R = 0,66 \times 0,74 = 0,488 \text{ (приближение к высокому риску).}$$

Сценарий 2 (проведение консервационных мероприятий, $P_1 = 0,4; P_2 = 0,3$):

$$P = 0,35 \times 0,4 + 0,25 \times 0,3 + 0,15 \times 0,5 + 0,15 \times 0,4 + 0,10 \times 0,6 = 0,37;$$

$$R = 0,37 \times 0,74 = 0,274 \text{ (снижение до умеренного риска).}$$

На основании проведённого исследования сформулированы следующие выводы, отражающие значимость и перспективность предложенного риск-ориентированного подхода к управлению сохранением объектов культурного наследия [10,11].

1. Приведенный риск-ориентированный подход позволяет осуществлять количественную оценку степени угроз, воздействующих на объекты культурного наследия, что наделяет процессы принятия управленческих решений необходимой объективностью. Использование строгих количественных критериев способствует сокращению влияния субъективных факторов при определении приоритетов реставрационных и консервационных мероприятий.

2. Математическая модель оценки риска характеризуется комплексностью охвата факторов: учитываются как параметры, определяющие вероятность разрушения объекта (износ конструкций, влияние окружающей среды, динамика антропогенного воздействия и пр.), так и параметры, определяющие потенциальные социально-экономические и культурные потери в случае утраты памятника. Такой интегральный подход способствует всестороннему анализу состояния объектов и возможных последствий их деградации.

3. Предложенный метод обладает высокой степенью практической применимости. Определение исходных параметров оценки возможно на основе результатов стандартных инженерно-технических обследований, что исключает необходимость проведения дополнительных дорогостоящих исследований. Это существенно расширяет возможности внедрения методологии в рамках действующей нормативной базы и ограниченного бюджета.

4. Важным аспектом является гибкость системы оценки. Платформа допускает корректировку весовых коэффициентов, используемых в расчётах, с

учётом региональных особенностей, категории объекта культурного наследия, а также приоритетных направлений деятельности в сфере охраны наследия. Данная адаптивность обеспечивает возможность настройки системы для решения широкого спектра задач в различных административно-территориальных условиях.

5. Наличие в модели коэффициента экономической эффективности содействует оптимизации распределения ограниченных финансовых ресурсов; обеспечивается рациональное инвестирование средств в наиболее значимые и уязвимые объекты, что позволяет повысить уровень защищённости культурного наследия в целом.

6. Положительным эффектом применения предложенного метода является увеличение степени прозрачности принимаемых решений. Математическое обоснование приоритетов реставрационных и консервационных работ способствует повышению доверия общественности к деятельности уполномоченных органов и реализации принципов открытости бюджетного процесса.

7. Принципиальным преимуществом риск-ориентированной модели выступает возможность осуществления динамического мониторинга. Регулярный пересчёт интегрального показателя риска на основе обновляемых данных позволяет отслеживать эффективность проведённых мероприятий, оперативно выявлять изменения в состоянии объектов и своевременно корректировать программы работ.

В целом, предложенный системный подход соответствует актуальным тенденциям развития теории и практики охраны культурного наследия, а также задачам повышения эффективности государственного управления в данной сфере. С его внедрением появляется возможность не только совершенствовать процедуры принятия решений, но и выстраивать научно обоснованные стратегии долгосрочного развития системы сохранения памятников истории и культуры.

Библиографический список:

1. Гарькин И.Н. Математическая модель применения риск ориентированного подхода при ремонте сложной кровли объектов культурного наследия // Системные технологии. 2025. № 2 (55). С. 92-97
2. Попов А.О., Маилян Л.Р., Сабитов Л.С., Данилов А.М., Гарькин И.Н. Системный подход к анализу технического состояния объектов культурного наследия на примере корпуса «Орешек» Шлиссельбургской крепости // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4 (57). С. 199-205.
3. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Системный анализ как методология решения проблем // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 2 (55). С. 14-20.
4. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство.– 2012.– №2– С.79-82
5. Ерёмин К.И., Шишкина Н.А. Обзор аварий и сооружений, произошедших в 2010 году // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сборник научных трудов. Магнитогорск: ООО «Велд» –2011. –С. 1-20.
6. Петрова И.Ю., Мостовой О.О. Обзор процесса проведения обследований зданий и сооружений. Проблемы и пути их решения. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2013. № 1 (36). С. 12-20.
7. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Идентификация и экспертиза сложных систем // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4 (57). С. 21-29.
8. Гарькин И.Н., Сабитов Л.С., Киямова Л.И., Гарькина И.А., Чиркина М.А. Вероятностные методы оценки риска разрушения объектов культурного наследия // Научно-технический вестник Поволжья. 2025. № 5. С. 27-29.
9. Златарев В.А., Гарькина И.А. Вероятностные модели тяжелых аварий // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2023. № 5 (48). С. 114-120.

10. Гарькина И.А., Ахтямова Л.Ш., Киямова Л.И., Фазыльзянов Ф.Ф. Математическое моделирование процессов деградации // Научно-технический вестник Поволжья. 2025. № 7. С. 31-35.

11. Гарькин И.Н., Гарькина И.А., Кудишина А.Э. Оценка эффективности мониторинга состояния объектов культурного наследия // Моделирование и механика конструкций. 2025. № 21. С. 167-172.