

Строитель Донбасса. 2025. Выпуск 2–2025 С. 11–15. ISSN 2617–1848 (print)
The Builder of Donbass. 2025. Issue 2–2025. P. 11–15. ISSN 2617–1848 (print)

Научная статья

УДК 72.059.25

doi: 10.71536/sd.2025.2c31.2

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ: МЕТОД БЕЙЕСА

Игорь Николаевич Гарькин¹, Линар Салихзанович Сабитов²,

Тимур Валерьевич Радионов³, Зарема Садыковна Нагаева⁴

^{1,2}Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

^{3,4}Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия

¹igor_garkin@mail.ru, ²sabitov-kgasu@mail.ru, ³t.v.radionov@donna.su, ⁴zarema.nagaeva@gmail.com

Аннотация. Анализируется применение метода Бейеса для оценки состояния объектов культурного наследия. Описываются основные принципы байесовского подхода, позволяющего объединять априорные знания (экспертные оценки, исторические данные) и результаты современных инструментальных обследований (например, данные влагометров, термографических исследований, химических анализов). Приведены математические расчёты вероятностей возникновения повреждений по результатам независимых обследований и рассмотрена возможность поэтапного уточнения вероятности наличия дефектов. Особое внимание уделяется потенциалу байесовских сетей для комплексной диагностики памятников и прогнозирования их состояния на основе обновляемых данных. Подчёркиваются преимущества метода в условиях неопределённости и нехватки информации, перспективы его применения для долгосрочного мониторинга и принятия решений по сохранению культурного наследия.

Ключевые слова: метод Бейеса, объекты культурного наследия, вероятностная оценка, апостериорная вероятность, мониторинг состояния, экспертные системы, байесовские сети, реставрация, повреждения памятников, диагностика зданий

Original article

ASSESSMENT OF THE STATE OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS: BAYESIAN METHOD

Igor N. Garkin¹, Linar S. Sabitov²,

Timur V. Radionov³, Zarema S. Nagaeva⁴

^{1,2}Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

^{3,4}Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeyevka, Russia

¹igor_garkin@mail.ru, ²sabitov-kgasu@mail.ru, ³t.v.radionov@donna.su, ⁴zarema.nagaeva@gmail.com

Abstract. Our article is devoted for the application of the Bayesian method in assessing the condition of cultural heritage sites. The main principles of the Bayesian approach are described. It allows combining a priori knowledge (expert assessments, historical data) and the results of modern instrumental surveys (as an example, moisture meter data, thermographic studying, chemical analyzes). Mathematical calculations of the probabilities of damage occurrence based on the results of independent surveys are given. The possibility of a step-by-step clarification in the probability of the presence of defects are considered. Particular attention is concentrated on the potential of Bayesian networks for comprehensive diagnostics of monuments, as well as forecasting its condition based on updated data. The advantages of the method in conditions of uncertainty and lack of information, as well as the prospects for its application for long-term monitoring and decision-making on the preservation of cultural heritage are emphasized.

© Гарькин И. Н., Сабитов Л. С., Радионов Т. В., Нагаева З. С., 2025



Гарыгин
Игорь Николаевич



Сабитов
Линар Салихзанович



Радионов
Тимур Валерьевич



Нагаева
Зарема Садыковна

Keywords: Bayesian method, cultural heritage sites, probabilistic assessment, a posteriori probability, condition monitoring, expert systems, Bayesian networks, restoration, damage to monuments, diagnostics of buildings

ВВЕДЕНИЕ

Объекты культурного наследия (ОКН) представляют собой уникальные произведения архитектуры, истории, искусства и археологии, сохраняющие культурную память народов и поколений. Поддержание их физического состояния – одна из главных задач современного общества. Эффективная оценка состояния ОКН необходима для своевременного планирования реставрационных и консервационных мероприятий, предотвращения катастрофических разрушений и необратимой потери культурных ценностей. Однако из-за сложности конструкции, возраста, ограниченности данных наблюдений оценка технического состояния памятников неизбежно сопровождается неопределенностью. В связи с этим всё большую актуальность приобретает применение вероятностных методов, в частности – байесовских подходов, позволяющих интегрировать априорные знания с результатами современных обследований.

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Обоснование и демонстрация эффективности применения метода Байеса для оценки состояния объектов культурного наследия с учётом специфики их устройства и неопределенности получаемых данных.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- анализируются источники неопределенности при оценке технического состояния ОКН [1];
- формализуется применение метода Байеса для интеграции экспертных, статистических и измерительных данных;
- приводится пример практического применения байесовского подхода при диагностике повреждений;
- исследуется потенциал обновления прогнозных оценок при поступлении новых данных обследований;
- формулируются рекомендации и ограничения применения байесовских методов в области сохранения культурного наследия.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В рамках настоящей работы задача заключается в построении последовательного вероятностного алгоритма оценки состояния ОКН. Пусть в результате первичного экспертного осмотра, анализа исторической/технической документации и инструментальных обследований получено множество разнородных данных, характеризующих состояние отдельных конструктивных элементов (например, фундаментов, стен, перекрытий) памятника. Необходимо на их основании определить степень вероятности наличия или отсутствия критических дефектов, выработать рекомендации по проведению ремонтно-реставрационных работ и обосновать приоритеты вмешательства [2, 3]. Особое внимание уделяется корректному учёту априорной информации (экспертной оценки, статистики для аналогичных объектов), поэтапному обновлению оценки риска при поступлении новых результатов обследования, в том числе с использованием современных неразрушающих методов контроля.

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Допустим, перед специалистами стоит задача определить вероятность наличия скрытых повреждений стен исторического здания. Исходя из опыта эксплуатации зданий такого же типа и возраста, и результатов аналогичных обследований, формируется априорная оценка вероятности этих повреждений. Далее проводится обследование с помощью современного оборудования: результаты, полученные с тепловизора и влагомера, уточняют картину. С помощью формулы Байеса предварительная вероятность корректируется с учетом новых данных, что позволяет более обоснованно принять решение – например, требуется ли срочный ремонт или возможно отложить вмешательство.

Преимущества метода

Главным достоинством байесовского подхода при оценке состояния ОКН является возможность формального учета неполных, разнoplанных и противоречивых данных. Технология хорошо адаптируется к иерархическим структурам (от отдельных элементов к целому объекту), позволяет обновлять оценки состоя-

ятия по мере поступления новых сведений и работать с неопределенностями. Кроме того, на базе байесовских алгоритмов возможно строить автоматизированные экспертные системы, помогающие сопровождать памятники в долгосрочной перспективе (мониторинг, прогнозирование изменений) [4, 5].

Пример математического применения байесовского подхода

Рассмотрим типовую задачу: требуется определить вероятность наличия скрытых повреждений (например, повышенной влажности внутри стены исторического здания) на основании инспекции с помощью влагометра.

Пусть:

H – гипотеза: в стене есть скрытые повреждения;

\bar{H} – альтернативная гипотеза: скрытых повреждений нет;

E – событие: показания влагометра превышают порог.

Этап 1. Формирование априорных вероятностей

Пусть из наблюдений и статистики подобных зданий априорно известно:

$$P(H)=0,3, P(\bar{H})=0,7$$

То есть, до измерений считаем, что вероятность наличия дефекта – 30 %.

Этап 2. Вероятности появления признака при разных состояниях

Из опыта известно, что:

если повреждения есть: вероятность превышения влагометром порога

$$P(E|H) = 0,8$$

если повреждений нет: вероятность ложного сигнала

$$P(E|\bar{H}) = 0,1$$

Этап 3. Применение формулы Байеса

Наблюдаем превышение порога (E). Требуется найти апостериорную вероятность наличия скрытых повреждений при этом условии – $P(H|E)$:

$$P(H|E) = \frac{P(H|E) * P(H)}{P(E)}$$

Где $P(E)$ – полная вероятность события E :

$$P(E) = P(E|H) * P(H) + P(E|\bar{H}) * P(\bar{H}) = 0,8 * 0,3 + 0,1 * 0,7 = 0,24 + 0,07 = 0,31$$

Тогда:

$$P(H|E) = \frac{0,8 * 0,3}{0,31} = \frac{0,24}{0,31} \approx 0,774$$

Интерпретация результата.

До проведения измерения вероятность наличия скрытых повреждений составляла 30 %. После получения тревожного показания влагометра вероятность этой гипотезы для конкретной стены увеличилась до 77,4 %. Это – весомый аргумент в пользу углубленного обследования или немедленного принятия мер.

Обновление оценки при новых данных

Если затем проводится, например, термографическое обследование (F), по результатам которого вероятность обнаружить проблему при ее наличии $P(F|H,E) = 0,7$, а при отсутствии проблемы, и если оно показало возможное наличие дефекта, можно повторить расчет по формуле Байеса, используя $P(H|E)$ как новую априорную вероятность, и учит данные обоих измерений. Все расчеты ведутся аналогичным образом с учетом независимости факторов или с использованием полной схемы формулы Байеса.

Продолжая рассмотрение применения метода Байеса для оценки состояния объекта культурного наследия, остановимся на более сложных ситуациях и дополнительных примерах того, как байесовский подход работает в реальности [6].

Интеграция нескольких независимых данных

Оценка состояния памятника редко ограничивается одним измерением. Допустим, после первого этапа обследования по влагометру мы получили

$$P(H|E) = 0,774$$

Затем проводится термографическое обследование, результат которого мы обозначим как событие F (например, термограмма указывает на аномальную зону). Пусть:

- вероятность положительной термограммы при наличии повреждения $P(F|H) = 0,7$,

- вероятность ложного срабатывания термограммы $P(F|\bar{H}) = 0,2$

Используем обновленную априорную оценку ($P(H|E)$) как новую априорную вероятность для следующего шага:

$$P(H|F,E) = \frac{P(F|H) * P(H|E)}{P(F|E)}$$

Где

$$P(F|E) = P(F|H) * P(H|E) + P(F|\bar{H}) * P(\bar{H}|E)$$

$$P(\bar{H}|E) = 1 - P(H|E) \approx 1 - 0,774 = 0,226$$

Подставляем значения:

$$P(F|E) = 0,7 * 0,774 + 0,2 * 0,226 = 0,5418 + 0,0452 = 0,587$$

Теперь вычисляем окончательную апостериорную вероятность:

$$P(H|F,E) = \frac{0,7 * 0,774}{0,587} = \frac{0,5418}{0,587} \approx 0,923$$

Вывод: после двух независимых обследований вероятность наличия скрытых повреждений достигает 92,3 %. Этот результат подсказывает, что необходимо принять срочные меры.

В реставрационной практике зачастую возникает ситуация, когда априорные вероятности формируются не только из статистики, но и по экспертным оценкам. Например, заведующий объектом может указать, что исходя из истории эксплуатации, вероятность повреждения чуть выше среднего – скажем, 40 %. Такую информацию можно использовать в качестве начальной априорной вероятности.

Если к этой экспертной оценке добавляются дополнительные данные (например, химический анализ штукатурки), то схема расчетов полностью сохраняется: новая апостериорная вероятность после каждого этапа становится априорной для следующего [7, 8].

При оценке обширных архитектурных комплексов или многоэтажных зданий удобно использовать так называемые байесовские сети. Каждая вершина такой сети соответствует одному из элементов (стена, перекрытие, фундамент и др.) или признаку (наличие трещин, влажности и т.д.), а ребра отражают вероятностные связи между ними.

Например, обнаружение повреждений в фундаменте повышает условную вероятность проблем в стенах выше. Сеть позволяет автоматически пересчитывать вероятности при поступлении новых данных – это оптимизирует принятие решений на уровне всего памятника или комплекса.

Базирующийся на байесовском подходе мониторинг состояния ОКН можно использовать не только для фиксации текущего состояния, но и для прогнозирования деградации. Например, если известно, что при определенных условиях влажности и температуры вероятность развития повреждений увеличивается с каждым годом, то можно рассчитать вероятность появления дефекта через заданное время [9, 10].

Допустим, после первичных обследований вероятность повреждения составляет P_0 . Если исследование показывает ежегодное увеличение риска на ΔP условно, по правилу полной вероятности и при соответствующей корректировке априорных оценок мы можем спрогнозировать состояние памятника на планируемый срок ремонта или реставрации, учитывая поступающие данные мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение метода Бейеса в практику оценки состояния объектов культурного наследия представляет собой качественный шаг вперёд в обеспечении их сохранности. Применение этого вероятностного подхода позволяет не только формально учесть всю имеющуюся информацию, но и последовательно интегрировать новые данные по мере их поступления. Байесовская схема обеспечивает адаптивность: исходные оценки и стратегии реставрации могут оперативно корректироваться в зависимости от динамики состояния памятника и накопления дополнительных сведений. Особенно важным становится учет знаний экспертов и объективных измерительных данных, что повышает обоснованность решений о реставрации, рационализирует расходы времени и ресурсов на обследование и ремонт памятников.

В долгосрочной перспективе применение метода Бейеса способствует переходу к проактивным стратегиям сохранения культурного наследия – от реагирования на выявленные дефекты к построению системы мониторинга и прогноза возможных рисков. Внедрение цифровых технологий и автоматизированных диагностических платформ, основанных на байесовских алгоритмах, дополнительно расширяет возможности сохранения памятников истории, архитектуры и искусства. В то же время метод предъявляет повышенные требования к ква-

лификации специалистов: крайне важно корректно выбирать априорные вероятности и объективно учитывать результаты инспекций. Тем не менее, интеграция байесовских методов в систему управления сохранностью ОКН открывает новые горизонты для науки и реставрационной практики, делая процессы более прозрачными, гибкими и научно обоснованными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гарькин, И. Н. Историко-архитектурная ценность объектов культурного наследия: методика оценки, пофакторный и историко-генетический анализ / И. Н. Гарькин, С. А. Борознов // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 1(62). – С. 192–199.
- Mayatskaya I., Yazyev B., Kuznetsov V., Tetenkov N., Klyuev S., Nabiullina K. Features of the development of architectural bionics in the modern world // Industrial and Civil Construction 2022. ISCIIC: International Scientific Conference on Industrial and Civil Construction. – Belgorod: BSTU им. В. Г. Шухова, 2024. – С. 285–293.
- Мирхасанов Р. Ф., Сабитов Л. С., Гарькин И. Н., Киямова Л. И. Чикагская архитектурная школа: использование стального каркаса / Р. Ф. Мирхасанов, Л. С. Сабитов, И. Н. Гарькин, Л. И. Киямова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2024. – № 2(166). – С. 10–17.
- Mayatskaya I., Yazyeva S., Gatiev M., Kuznetsov V., Klyuev S., Sabitov L. Application of fractal methods in the design of modern structures // Industrial and Civil Construction 2022. ISCIIC: International Scientific Conference on Industrial and Civil Construction. – Belgorod: BSTU им. В. Г. Шухова, 2024. – С. 414–422.
- Гадаборшева Т. Б., Гарькин И. Н., Сабитов Л. С., Ахметов Ф. М. Устройства регулирования воздушного и тепловлажностного режимов на объектах культурного наследия: православные храмы / Т. Б. Гадаборшева, И. Н. Гарькин, Л. С. Сабитов, Ф. М. Ахметов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2024. – № 2(166). – С. 3–9.
- Попов А. О., Сабитов Л. С., Гарькин И. Н., Сахапов Р. Л., Каримов Т. М. Инженерное исследование фундаментов объекта культурного наследия «Ханский дворец» в г. Бахчисарай / А. О. Попов, Л. С. Сабитов, И. Н. Гарькин [и др.] // Строитель Донбасса. – 2024. – № 3(28). – С. 19–27. – ISSN 2617–1848.
- Cheng J., Hou W., Zheng X., Fediuk R., Qin Y., Chen Z., Yu., Song W. Preparation and characterization analysis of modified bentonite-based powder for improving explosion suppression effects // Powder Technology. – 2024. – Vol. 440. – Article 119758.
- Низамов Р. К., Попов А. О. Градостроительное развитие территории комплекса зданий Главного Адмиралтейства г. Санкт-Петербурга в период с 1734 по 1812 гг. / Р. К. Низамов, А. О. Попов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 3(49). – С. 27–33.
- Дымолазов М. А., Сабитов Л. С., Абдуллаязнов Э. Ю., Гарькина В. А., Киямова Л. И. Некоторые аспекты выявления резервов несущей способности структурных конструкций // Системные технологии. – 2024. – № 3(52). – С. 35–41.
- Макридин Н. И., Максимова И. Н. Комплексная оценка критериев длительной прочности цементных композитов // Региональная архитектура и строительство. – 2023. – № 3(56). – С. 49–60.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гарькин Игорь Николаевич – кандидат технических наук, кандидат исторических наук заведующий кафедрой «Архитектура, реставрация и дизайн», Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумубы, Россия, Москва. Научные интересы: объекты культурного наследия, архитектура, строительные конструкции, техническая экспертиза.

Сабитов Линар Салихзанович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Архитектура, реставрация и дизайн», Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумубы, Россия, Москва. Научные интересы: развитие композиционных форм и методов проектирования башенных сооружений с пониженной материалоемкостью и трудоемкостью изготовления.

Радионов Тимур Валерьевич – кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой «Архитектурное проектирование и дизайн архитектурной среды» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: архитектура, реставрация, дизайн.

Нагаева Зарема Садыковна – доктор архитектуры, профессор, Член-корреспондент РААСН, профессор кафедры «Архитектурное проектирование и дизайн архитектурной среды» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: архитектура, реставрация, дизайн.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Garkin Igor N. – Ph. D. (Arch.), Associate Professor, Historical Sciences, Head of the Department of Architecture, Restoration and Design, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Russia, Moscow. Scientific interests: cultural heritage sites, architecture, building structures, technical expertise

Sabitov Linar S. – D. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Architecture, Restoration and Design, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Russia, Moscow. Scientific interests: Development of composite forms and design methods for tower structures with reduced material and labor intensity of manufacture.

Radionov Timur V. – Ph. D. (Arch.), Associate Professor, Head of the Department of «Architectural Design and Design of the Architectural Environment» of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Donetsk People's Republic (DNR), Makeevka, Russia. Scientific interests: architecture, restoration, design.

Nagaeva Zarema S. – D. Sc. (Arch.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor of the Department of «Architectural Design and Design of the Architectural Environment» of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Donetsk People's Republic (DNR), Makeevka, Russia. Scientific interests: architecture, restoration, design.

REFERENCES

- Cheng, J., Hou, W., Zheng, X., Fediuk, R., Qin, Y., Chen, Z.Y. and Song, W., 2024. Preparation and characterization analy-

sis of modified bentonite-based powder for improving explosion suppression effects. *Powder Technology*, 440, p.119758.

- Dymolazov, M.A., Sabitov, L.S., Abdullaev, E. Yu., Garkina, V.A. and Kiyamova, L.I., 2024. Some aspects of identifying bearing capacity reserves in structural constructions. *Systemnye Tekhnologii [System Technologies]*, (3(52)), pp. 35–41.
- Gadaborsheva, T.B., Garkyn, I.N., Sabitov, L.S. and Akhmetov, F.M., 2024. Air and thermal humidity regulation systems at cultural heritage sites: Orthodox churches. *Vestnik Donbasskoy Natsionalnoy Akademii Stroitelstva i Arkhitektury*, (2(166)), pp. 3–9.
- Garkyn, I.N. and Boroznov, S.A., 2025. Historical and architectural value of cultural heritage sites: evaluation methodology, factor and historical-genetic analysis. *Regionalnaya Arkhitektura i Stroitelstvo [Regional Architecture and Construction]*, (1(62)), pp. 192–199.
- Garkyn, I.N., Sabitov, L.S., Mirkhassanov, R.F. and Kiyamova, L.I., 2024. The Chicago School of architecture: use of steel frame structures. *Vestnik Donbasskoy Natsionalnoy Akademii Stroitelstva i Arkhitektury*, (2(166)), pp. 10–17.
- Garkyn, I.N., Sabitov, L.S., Popov, A.O., Sakhapov, R.L. and Karimov, T.M., 2024. Engineering study of foundations of the cultural heritage site “Khan’s Palace” in Bakhchysarai. *The Builder of Donbass*, (3(28)), pp. 19–27. ISSN 2617–1848.
- Garkyn, I.N., Mayatskaya, I., Yazyev, B., Kuznetsov, V., Tetenkov, N., Klyuev, S. and Nabiullina, K., 2024. Features of the development of architectural bionics in the modern world. In: *Industrial and Civil Construction 2022. ISCICC: International Scientific Conference on Industrial and Civil Construction*. Belgorod: BSTU named after V. G. Shukhov, pp. 285–293.
- Garkyn, I.N., Mayatskaya, I., Yazyeva, S., Gatiev, M., Kuznetsov, V., Klyuev, S. and Sabitov, L., 2024. Application of fractal methods in the design of modern structures. In: *Industrial and Civil Construction 2022. ISCICC: International Scientific Conference on Industrial and Civil Construction*. Belgorod: BSTU named after V. G. Shukhov, pp. 414–422.
- Makridin, N.I. and Maksimova, I.N., 2023. Integrated assessment of criteria for long-term strength of cement composites. *Regionalnaya Arkhitektura i Stroitelstvo [Regional Architecture and Construction]*, (3(56)), pp. 49–60.
- Mirkhassanov, R.F., Sabitov, L.S., Garkyn, I.N. and Kiyamova, L.I., 2024. The Chicago School of Architecture: use of steel framing. *Vestnik Donbasskoy Natsionalnoy Akademii Stroitelstva i Arkhitektury*, (2(166)), pp. 10–17.
- Nizamov, R.K. and Popov, A.O., 2019. Town-planning development of the Main Admiralty building complex territory in Saint Petersburg from 1734 to 1812. *Izvestiya Kazanskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta [News of Kazan State University of Architecture and Engineering]*, (3(49)), pp. 27–33.
- Popov, A.O., Sabitov, L.S., Garkyn, I.N., Sakhapov, R.L. and Karimov, T.M., 2024. Engineering investigation of foundations of the cultural heritage site “Khan’s Palace” in Bakhchysarai. *The Builder of Donbass*, (3(28)), pp. 19–27. ISSN 2617–1848.

Статья поступила в редакцию 28.04.2025;
одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята
к публикации 23.05.2025.

The article was submitted 28.04.2025; approved after
reviewing 16.05.2025; accepted for publication 23.05.2025.