

Строитель Донбасса. 2025. Выпуск 2–2025 С. 4–10. ISSN 2617–1848 (print)
The Builder of Donbass. 2025. Issue 2–2025. P. 4–10. ISSN 2617–1848 (print)

Научная статья
УДК 72.059.25
doi: 10.71536/sd.2025.2c31.1

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

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@donnasa.ru, ⁴zarema.nagaeva@gmail.com

Аннотация. Анализируются современные подходы к применению методов прогнозирования при оценке технического состояния объектов культурного наследия. Особое внимание уделяется анализу временных рядов, корреляционных зависимостей и использованию регрессионных моделей для выявления и предсказания критических изменений в структуре памятников. Описывается алгоритм построения прогностических моделей на основе исторических данных мониторинга, методы валидации точности получаемых результатов. Представлены рекомендации по интеграции прогнозных методик в комплексные системы мониторинга для повышения эффективности принятия решений по сохранению объектов культурного наследия. Практическая значимость работы заключается в обеспечении научно обоснованного подхода к раннему выявлению рисков деградации и оптимизации мероприятий по реставрации и консервации памятников.

Ключевые слова: объекты культурного наследия, прогнозирование, техническое состояние, методы оценки, регрессионный анализ, мониторинг, реставрация

Original article

APPLICATION OF FORECASTING METHODS IN ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF CULTURAL HERITAGE SITES

Igor N. Garkin¹, Linar S. Sabitov², Timur V. Radionov³, Zarema S. Nagaeva⁴

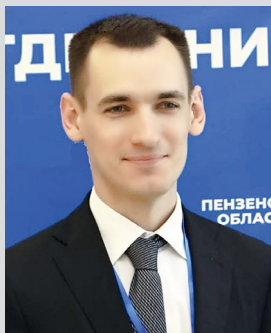
^{1,2}Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

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

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

Abstract: In this article, we are analyzing modern approaches to the application of forecasting methods in assessing the technical condition of cultural heritage sites. Particular attention is concentrated on the analysis of time series, correlation dependencies and the use of regression models to identify and predict critical changes in the structure of monuments. We are described an algorithm for constructing forecasting models based on historical monitoring data and methods for validating the accuracy of the results. Our article presents recommendations for integrating forecasting methods into complex monitoring systems. It should improve the efficiency of decision-making on the preservation of cultural heritage sites. The practical significance of the work is in providing a scientifically based approach to the early detection of degradation risks and optimization of restoration and conservation measures for monuments.

Keywords: cultural heritage sites, forecasting, technical condition, assessment methods, regression analysis, monitoring, restoration



Гарькин
Игорь Николаевич



Сабитов
Линар Салихзанович



Радионо́в
Тиму́р Вале́рьевич



Нагаева
Заре́ма Сады́ковна

ВВЕДЕНИЕ

Объекты культурного наследия (ОКН) представляют собой уникальные ценности, воплощающие историческую, архитектурную и культурную память народа. Их сохранность — важнейшая задача, требующая внедрения научных подходов к мониторингу и планированию работ по реставрации и эксплуатации. В современных условиях растущего техногенного и экологического воздействия особую значимость приобретают методы прогнозирования, применяемые для оценки технического состояния памятников архитектуры, исторических зданий и других ценных объектов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В последнее десятилетие тема применения математико-статистических методов для анализа и прогнозирования сохранности объектов культурного наследия (ОКН) активно развивается в научной литературе [1, 2]. Исследования сосредоточены на разработке новых подходов к мониторингу, оценке рисков разрушения и оптимизации реставрационных мероприятий. Ниже представлен анализ ключевых направлений современных публикаций по данной тематике.

Во-первых, значительное внимание уделяется построению и применению временных рядов для анализа динамики технического состояния ОКН. Современные работы (например, статьи в журналах *Journal of Cultural Heritage*, *Heritage Science* и др.) демонстрируют, что применение моделей ARIMA, SARIMA и нейронных сетей эффективно для прогнозирования изменений физического состояния зданий и памятников. В статьях подчеркивается важность регулярного сбора мониторинговых данных и сочетания традиционных статистических моделей с методами искусственного интеллекта для повышения точности прогнозов.

Второе направление — интеграция вероятностных методов анализа рисков деградации. Зарубежные и российские публикации отмечают успешное применение методов Монте-Карло и байесовских сетей для количественной оценки неопределённости в воздействии внешних факторов (климат, вибрации, загрязнения) на долговечность ОКН. Например, R. Brimblecombe и коллеги (2021, *Environment and*

Heritage) исследуют моделирование скорости разрушения материалов на основе климатических сценариев и вероятностных моделей и описывают обобщение этих подходов на группу объектов.

Третье ключевое направление — внедрение автоматических систем мониторинга на основе IoT-датчиков, которые постоянно фиксируют параметры внешней среды и состояния конструкций. Современные публикации показывают, что анализ больших данных, получаемых с таких сенсоров, совместно с машинным обучением позволяет выявлять аномалии на ранних этапах и динамически корректировать прогнозы деградации [3, 4].

Актуальной тенденцией является развитие мультисциплинарных систем поддержки принятия решений (DSS) по управлению ОКН. Они базируются на статистических моделях, включают GIS-моделирование и позволяют формировать комплексные стратегии защиты памятников, исходя из количественных оценок рисков.

В целом последние исследования подчеркивают, что интеграция статистических моделей с новыми технологиями сбора данных, учет неопределенности в сценариях воздействия факторов среды — ведущий тренд современной диагностики и прогнозирования состояния объектов культурного наследия. Это позволяет повысить обоснованность организационных и технических решений по их сохранению, что отражается в росте числа публикаций в ведущих международных и национальных научных изданиях за 2020–2024 годы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и апробация методики количественной оценки и прогноза изменения состояния объектов культурного наследия (ОКН) с учетом вероятностных характеристик и факторов неопределенности.

ЗАДАЧИ РАБОТЫ

- проанализировать основные факторы, влияющие на изменение состояния ОКН, и определить ключевые параметры для мониторинга;
- исследовать корреляционные связи и построить математические модели (линейные, нелинейные регрессионные, авторегрессионные) для описания динамики изменений;

- оценить вероятность достижения критических состояний ОКН и построить доверительные интервалы для прогнозируемых значений;
- провести валидацию предложенной методики на эмпирических данных и сформулировать рекомендации по ее практическому использованию.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Требуется обосновать и реализовать комплексный подход к анализу временных данных о состоянии объектов культурного наследия на основе углубленного корреляционного и регрессионного анализа. Особое внимание уделяется выявлению устойчивых статистических зависимостей между параметрами деградации объектов и внешними факторами воздействия. Важно реализовать построение авторегрессионных моделей (в частности, ARIMA) для прогноза динамики изменений состояния ОКН во времени. Кроме того, необходимо провести вероятностное моделирование процессов деградации для оценки рисков возникновения аварийных состояний [5].

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Выполняется детальное изучение корреляционных связей между ключевыми параметрами посредством расчета коэффициентов корреляции и построения линейной/нелинейной регрессии. На основании временных рядов наблюдений состояние ОКН моделируется с помощью авторегрессионных моделей типа ARIMA, что обеспечивает учет сезонности и инерционности процессов деградации. Для анализа вероятностных характеристик и оценки влияния случайных факторов используются методы вероятностного моделирования.

Для систематизации методов прогнозирования состояния ОКН выполним анализ их применения для диагностики и предотвращения аварийных ситуаций и сформируем научно обоснованные стратегии по сохранению и продлению срока службы исторических сооружений.

Для этого используются как классические, так и современные методы прогнозирования. В качестве исходных данных применяется следующий комплекс материалов:

- результаты инструментальных обследований (измерения деформаций, влажности, прочности материалов)
- визуальные осмотры и данные фотофиксации дефектов
- информация о воздействии внешней среды: температурные и влажностные режимы, уровень загрязнённости атмосферы, радиационный и вибрационный фон, сейсмическая активность, влияние подземных вод
- исторические сведения о проведённых реставрационных работах, видах используемых материалов и технологиях строительства
- техногенные и природные факторы риска.

В обработке данных используются современные статистические и вычислительные методы: корреляционный и регрессионный анализ, методы авторегрессии (ARIMA), вероятностное моделирование и стандартизированные методы Монте-Карло. Для более сложных объектов применяются технологии

искусственного интеллекта: нейронные сети, методы машинного обучения и экспертные системы. Важным инструментом становится внедрение BIM-технологий, позволяющих интегрировать данные в единую цифровую модель здания или сооружения.

Рассмотрим применяемые методы более подробно.

Использование корреляционного и регрессионного анализа в прогнозировании состояния объектов культурного наследия

Современные методы оценки и прогнозирования технического состояния памятников архитектуры широко опираются на математический аппарат, в частности, на корреляционный и регрессионный анализ.

Корреляционный анализ

Корреляционный анализ позволяет определить степень взаимосвязи между различными факторами, влияющими на техническое состояние объекта, например, между влажностью окружающей среды, температурным режимом, нагрузками на конструкцию и скоростью развития дефектов. Корреляционный коэффициент Пирсона r рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

где x_i — измерения первого признака (например, уровней влажности), y_i — измерения второго признака (например, глубины трещин), — средние значения по соответствующим выборкам. Высокий по модулю коэффициент r (приближающийся к 1 или -1) указывает на сильную линейную связь между параметрами, что позволяет обосновать их включение в регрессионные модели.

Регрессионный анализ

Регрессионный анализ значительно расширяет возможности прогнозирования, позволяя строить математические зависимости между параметрами состояния и эксплуатационными или природными факторами. В самом простом случае линейной регрессии связь между параметром состояния объекта

y (например, скорость распространения коррозии) и фактором

x (например, влажность воздуха) выражается уравнением:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

где β_0 и β_1 — параметры регрессии, определяемые методом наименьших квадратов, ε — случайная ошибка.

Для многомерного регрессионного анализа, когда учитывают несколько факторов (например, температура x_1 , влажность x_2 , вибрация x_3), модель имеет вид:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \varepsilon$$

Параметры β_i определяют вклад каждого фактора в изменение исследуемого показателя. После апробации модели на исторических данных можно использовать ее для долгосрочного прогнозирования состояния объекта с целью планирования реставрационных мероприятий.

Рассмотрим реальный пример. Допустим, в ходе обследования определено, что на рост ширины трещины в несущей стене влияют влажность (в процентах) и сезонные колебания температуры (в градусах). Полученная по наблюдениям множественная регрессия такова:

$$\text{Ширина трещины} = 0,2 + 0,04 \times \text{Влажность} + 0,01 \times \text{Температура}$$

Это означает, что с увеличением влажности на 1 %, ширина трещины возрастает в среднем на 0,04 мм, а с повышением температуры на 1 градус – на 0,01 мм. В результате возможен расчет необходимого времени для достижения критических значений, требующих вмешательства.

Внедрение методов корреляционного и регрессионного анализа позволяет не только выявлять существенные связи между факторами среды и характеристиками разрушения, но и строить надёжные прогнозные модели, минимизируя риски и оптимизируя планы по сохранению объектов культурного наследия.

Тем самым, данные методы обеспечивают научно обоснованный подход к мониторингу состояния памятников архитектуры. В первую очередь, это позволяет своевременно реагировать на выявленные изменения и предотвращать серьезные повреждения.

Множественная регрессия, как видно из примера, даёт возможность оценить вклад каждого фактора в общее изменение состояния объекта. Возрастание коэффициентов при переменных указывает на их большую значимость в процессе разрушения. Если, например, коэффициент при влажности существенно выше, чем при температуре, это свидетельствует о необходимости первоочередных мер по контролю влажностного режима.

Корреляционный анализ позволяет определить, какие факторы наиболее тесно связаны с разрушительными процессами, а какие оказывают минимальное влияние. Например, если коэффициент корреляции между влажностью и шириной трещин близок к 1, это говорит о почти линейной взаимосвязи между этими параметрами. Полученные результаты обосновывают внедрение инженерных решений: установку систем вентиляции, гидроизоляции, регулярный осмотр наиболее подвержённых разрушению мест.

Использование статистических методов способствует обоснованию рекомендаций по режиму эксплуатации памятников, выбору методов консервации и определению приоритетов при реставрации. Кроме того, построенные на основе регрессионных моделей прогнозы позволяют планировать финансовые и трудовые ресурсы на необходимые мероприятия, что немаловажно в условиях ограниченного бюджета.

Следует отметить, что результаты анализа необходимо регулярно пересматривать по мере накопления новых данных наблюдений. Современные средства автоматического мониторинга (датчики температуры, влажности, программные комплексы для сбора и обработки информации) на порядок увеличивают точность таких оценок.

Применение методов авторегрессии (ARIMA)

Для прогноза динамики процессов разрушения объектов культурного наследия целесообразно использовать авторегрессионные модели с интегрированным скользящим средним – ARIMA (p, d, q). Основная идея ARIMA заключается в моделировании временного ряда y_t (например, количественной характеристики разрушения за период времени t) с учетом как собственных прошлых значений, так и случайных возмущений прошлых периодов. Модель общего вида записывается так:

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t$$

где

y_t – значение разрушающего фактора или степени износа в момент времени t ,

c – константа,

ϕ_i – коэффициенты авторегрессии порядка p ,

θ_j – коэффициенты скользящего среднего порядка q ,

ε_t – белый шум.

Если исходный временной ряд нестационарен, применяется процедура дифференцирования порядка d :

$$y'_t = y_t - y_{t-1}$$

или более общей формы для $d > 1$:

$$y_t^{(d)} = \Delta^d y_t$$

где Δ – оператор разности.

Пошаговая схема реализации

1. *Проверка стационарности.* На практике для временного ряда повреждений проводят тест на стационарность (например, тест Дики-Фуллера). Если ряд нестационарен, его дифференцируют до достижения стационарности.

2. *Идентификация параметров.* Используя автокорреляционную (ACF) и частично автокорреляционную функции (PACF), определяют порядки p (авторегрессии) и q (скользящего среднего). Данные параметры подбираются с помощью критериев информации Акаике (AIC) или Байеса (BIC).

3. *Оценка модели.* Метод наименьших квадратов или максимального правдоподобия для получения оценок ϕ_i, θ_j .

4. *Построение прогноза.* После оценки коэффициентов формируется прогноз значений повреждения или износа:

$$\hat{y}_{t+1} = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t+1-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t+1-i}$$

Применение в задаче сохранения памятников.

Пусть y_t – измеряемый процент потери несущей способности архитектурного элемента за год. Исторические данные за предыдущие годы позволяют применить ARIMA-модель, например, с параметрами (1, 1, 1):

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

Получив оценки ϕ_1 , θ_1 по доступным данным, можно не только прогнозировать будущие значения разрушения, но и проводить имитационное моделирование сценариев при изменении соотношения климатических факторов, организации капитальных ремонтов и т.п.

ПРИМЕР РАСЧЁТА ПРОГНОЗА:

Пусть оценки модели $s = 0,05$, $\phi_1 = 0,7$, $\theta_1 = 0,2$. Из знаний о состоянии объекта за последний (y_{t-1}) и предыдущие годы, и величины белого шума можно рассчитать прогноз повреждения на следующий год.

Таким образом, применение методов ARIMA позволяет на математически строгой и количественной основе не только выявлять тренды разрушения, но и производить долгосрочный прогноз, что критически важно для составления эффективных планов реставрационных и превентивных работ для сохранения объектов культурного наследия.

Дальнейшее развитие модели заключается во включении в неё дополнительных параметров, учитывающих особенности климата, эксплуатации, ремонтных вмешательств и других воздействий. Например, если известно, что через два года планируется капитальный ремонт (что эквивалентно сокращению величины ущерба), в модель можно ввести экзогенную переменную, описывающую этот эффект. Соответственно, модель принимает вид ARIMAX или SARIMAX, где «X» обозначает учёт внешних факторов.

Для высокой точности прогноза важна качественная калибровка модели по историческим данным. Это требует анализа ошибок аппроксимации, проверки остатков (остатки должны быть похожи на белый шум, иначе модель недоучитывает какие-то закономерности) и возможного повышения порядка модели или перехода к более сложным конструкциям (например, включить сезонные компоненты при выраженной цикличности разрушения).

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Планирование ремонтов. Регулярные прогнозы позволяют обосновать необходимость текущих и капитальных ремонтов: если модель предсказывает ускоренный рост разрушения — можно заранее подготовить смету работ или скорректировать очередность вмешательств.

2. Оценка эффективности принимаемых мер. Если после реставрации наблюдается изменение тренда (например, темпы разрушения замедлились), количественно можно оценить эффект проведённых работ, либо скорректировать технологию защиты.

3. Сценарное моделирование. Возможность провести вычисления для разных сценариев климата (например, повышения влажности или температуры), увеличения антропогенной нагрузки, изменений атмосферной загрязнённости и т.д.; спрогнозировать, какие из них наиболее опасны для сохранности объекта.

Специалисты на основании полученной модели могут построить прогноз кривой разрушения на ближайшие 5–10 лет. Если ожидается достижение

критического уровня повреждённости (например, по шкале «indifferent serviceability»), они разрабатывают мероприятия для его упреждения. Кроме того, наглядная визуализация динамики разрушения (графики, диаграммы трендов) становится обоснованием для приведения данных в технической и проектной документации объектов культурного наследия [6..8].

Математическое моделирование с использованием подхода ARIMA (и развитие до ARIMAX/SARIMAX) становится важным инструментом современного архитектора [9], реставратора и инженера для научно обоснованного принятия решений по сохранности зданий и сооружений. Такой прогноз позволяет не только оценивать риски, но и оптимизировать расходы, минимизировать ущерб историческим материалам, а главное — сохранять культурное наследие для будущих поколений. [Если важно — могу рассчитать пример на реальных или модельных данных, либо рассказать подробнее про алгоритм калибровки такого прогноза].

ВЫВОДЫ

В заключение следует подчеркнуть, что комплексный подход, включающий анализ временных рядов, корреляционный и регрессионный анализ, методы авторегрессии, такие как ARIMA, вероятностное моделирование, стандартизированные методы Монте-Карло, является мощным инструментом в оценке и обеспечении сохранности объектов культурного наследия. Анализ временных рядов позволяет выявить динамику изменений состояния памятников во времени, а корреляционный и регрессионный анализы способствуют установлению причинно-следственных связей между различными факторами их разрушения. Применение моделей авторегрессии, в частности ARIMA, обеспечивает возможность точного прогнозирования дальнейших изменений технического состояния на основе исторических данных.

Кроме того, вероятностное моделирование и методы Монте-Карло позволяют учесть неопределённость факторов, влияющих на сохранность объектов, и обеспечить более надёжную оценку рисков разрушения и деградации. Проведение таких расчетов способствует оптимизации мероприятий по поддержанию памятников, повышению эффективности реставрационных работ и рациональному распределению ресурсов. Стандартизированные методы анализа гарантируют сопоставимость и объективность полученных результатов.

Таким образом, интеграция перечисленных математико-статистических подходов в практику оценки объектов культурного наследия позволяет перейти от субъективных экспертных оценок к научно обоснованным решениям, что способствует эффективному управлению рисками и укреплению систем сохранения историко-культурной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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. ISCICC: International Scientific Conference on Industrial and Civil Construction*. — Belgorod: BSTU named after V. G. Shukhov, 2024. — P. 285–293.
 3. 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.
 4. 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. ISCICC: International Scientific Conference on Industrial and Civil Construction*. — Belgorod: BSTU named after V. G. Shukhov, 2024. — P. 414–422.
 5. 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.
 6. Попов А. О., Сабитов Л. С., Гарькин И. Н., Саханов 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.
 7. Cheng J., Hou W., Zheng X., Fediuk R., Qin Yi, Chen Zu. Yu., Song W. Preparation and characterization analysis of modified bentonite-based powder for improving explosion suppression effects // *Powder Technology*. — 2024. — Vol. 440. — Article 119758.
 8. Дымолазов М. А., Сабитов Л. С., Абдуллазянов Э. Ю., Гарькина В. А., Киямова Л. И. Некоторые аспекты выявления резервов несущей способности структурных конструкций // *Системные технологии*. — 2024. — № 3(52). — С. 35–41.
 9. Будылина Е. А., Данилов А. М., Гарькина И. А. Моделирование с позиций управления в технических системах / Е. А. Будылина, А. М. Данилов, И. А. Гарькина // *Региональная архитектура и строительство*. — 2013. — № 2. — С. 138–142.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гарькин Игорь Николаевич — кандидат технических наук, кандидат исторических наук, заведующий кафедрой «Архитектура, реставрация и дизайн», Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, 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 Лумумбы, Россия, Москва. Научные интересы: развитие композиционных форм и методов проектирования башенных сооружений с пониженной материалоемкостью и трудоемкостью изготовления.

Радионон 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.

Нараева 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

1. Budylina, E.A., Danilov, A.M. and Garkina, I.A., 2013. Modeling from the perspective of management in technical systems. *Regional Architecture and Construction*, (2), pp. 138–142.
2. Cheng, J., Hou, W., Zheng, X., Fediuk, R., Qin, Y., Chen, Z.Y. and Song, W., 2024. Preparation and characterization analysis of modified bentonite-based powder for improving explosion suppression effects. *Powder Technology*, 440, p. 119758.
3. Gadaborsheva, T.B., Garkyn, I.N., Sabitov, L.S. and Akhmetov, F.M., 2024. Air and thermal humidity regime control devices at cultural heritage sites: Orthodox churches. *Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*, (2(166)), pp. 3–9.

4. Garkyn, I.N. and Boroznov, S.A., 2025. Historical and architectural value of cultural heritage sites: assessment methodology, factor and historical-genetic analysis. *Regional Architecture and Construction*, (1(62)), pp. 192–199.
5. Garkyn, I.N., Sabitov, L.S., Mirkhasanov, R.F. and Kiyamova, L.I., 2024. The Chicago School of Architecture: use of steel frame structures. *Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*, (2(166)), pp. 10–17.
6. Garkyn, V.A., Dymolazov, M.A., Abdullazarov, E. Yu., Sabitov, L.S. and Kiyamova, L.I., 2024. Some aspects of identifying the bearing capacity reserves of structural constructions. *System Technologies*, (3(52)), pp. 35–41.
7. 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.
8. 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.
9. Popov, A.O., Sabitov, L.S., Garkyn, I.N., 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.

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.