
СТРОИТЕЛЬСТВО, РЕМОНТ И СОДЕРЖАНИЕ МОСТОВ

Научная статья

УДК 624.21/.8:625.7/.8(470.41)

DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-103-117

EDN: GMRUEC



**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
СКОРОСТИ ИХ ДЕГРАДАЦИИ**

**Адель Тимурович Вишняков^{1✉}
Тагир Альмирович Зиннуров²**

¹Государственное казенное учреждение «Главное управление содержания и развития дорожно-транспортного комплекса Татарстана при Министерстве транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан», Казань, Россия

²Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия

¹Adel.Vishnyakov@tatar.ru✉

ORCID: 0009-0009-8333-8675

²leongar@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7238-2883;

SPIN-код: 5311-6482

Аннотация: В статье представлены результаты исследования технического состояния мостовых сооружений, расположенных на региональных автомобильных дорогах Республики Татарстан, которые включают следующие параметры для каждого объекта: период строительства, текущее техническое состояние и вид материала, использованного в пролетных строениях. Проанализировано процентное соотношение парка мостовых сооружений и представлена модель, которая описывает зависимость срока эксплуатации от технического состояния. Модель позволяет прогнозировать переход сооружений между категориями состояния: в удовлетворительное – через 10-25 лет, в неудовлетворительное – через 20-45 лет, в аварийное – через 30-50 лет. Установлено, что скорость изменения

технического состояния мостов зависит от категории дороги, материала конструкции и периода постройки. Рассчитана средняя скорость изменения технического состояния на примере 112 мостов Республики Татарстан.

Ключевые слова: мостовые сооружения, техническое состояние, срок эксплуатации, дефект, материал, содержание мостов, скорость, экспоненциальная зависимость.

Благодарности: авторы выражают искреннюю благодарность Галиуллину Айрату Талгатовичу за неоценимую помощь в анализе и интерпретации полученных результатов, а также рецензенту за ценные замечания, способствовавшие улучшению рукописи.

Для цитирования: Вишняков А.Т., Зиннуров Т.А. Прогнозирование технического состояния мостовых сооружений на основе анализа скорости их деградации // Дороги и мосты. – 2026. № 55/1. С. 103-117. DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-103-117.

BRIDGE CONSTRUCTION, REPAIR AND MAINTENANCE

Original article

FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF BRIDGE STRUCTURES BASED ON THEIR DEGRADATION RATE ANALYSIS

Adel T. Vishnyakov^{1✉}
Tagir A. Zinnurov²

¹State Institution «Directorate of Maintenance and Development of Roads and Transport of Tatarstan under the Ministry of Transport and Roads of the Republic of Tatarstan»,
Kazan, Russia

²Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russia

Abstract: *This article presents the results of a study of the technical condition of bridge structures located on regional roads in the Republic of Tatarstan, that includes the following parameters for each facility: construction period, current technical condition and type of material used in the superstructures. The percentage of bridge structures in*

the inventory is analyzed and a model that describes the relationship between service life and technical condition is presented. The model allows to predict the transition of structures between condition categories: satisfactory – after 10-25 years, unsatisfactory – after 20-45 years, and emergency – after 30-50 years. It has been established that the rate of change in the technical condition of bridges depends on road category, construction material, and period of construction.

Keywords: *bridge structures, technical condition, service life, defect, material, bridge maintenance, velocity, exponential dependence.*

Acknowledgments: *The authors express their sincere gratitude to Airat Talgatovich Galiullin for his invaluable assistance in analyzing and interpreting the results, as well as to the reviewer for valuable comments that helped improve the manuscript.*

For citation: Vishnyakov A.T., Zinnurov T.A. Forecasting the technical condition of bridge structures based on their degradation rate analysis // Roads and Bridges. – 2026; (55/1): 103-117. (In Russ). DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-103-117.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Татарстан обладает развитой гидрографической сетью, что обусловило строительство большого количества мостов. На территории республики, согласно данным ГКУ «Главтатдортранс»¹, на региональных дорогах эксплуатируется 1098 мостовых объекта. Учитывая стратегическую роль мостов как важнейшего элемента транспортной системы, выход любого из них из строя приводит к значительным экономическим издержкам и увеличению временных затрат на объезд аварийных сооружений. Современное состояние мостовых сооружений на автомобильных дорогах как в Республике Татарстан, так в целом по стране характеризуется значительным накопленным износом, поскольку основная масса сооружений была возведена в 70-е и 80-е годы прошлого века. В эти годы при массовом строительстве качеству стро-

¹ ГКУ «Главтатдортранс» – Государственное казенное учреждение «Главное управление содержания и развития дорожно-транспортного комплекса Татарстана при Министерстве транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан».

ительства уделялось недостаточное внимание. Помимо внутренних дефектов на конструкцию мостов оказывают негативное воздействие агрессивные внешние факторы и ежегодно растущая интенсивность движения автотранспорта. Особую остроту проблеме придает тот факт, что большая часть мостов в России была спроектирована в соответствии с устаревшими нормативами и в настоящее время требует проведения мероприятий по усилению. В частности, до 60 % мостовых сооружений изначально рассчитывались на временные нагрузки, уступающие современным требованиям.

Современная практика содержания мостового парка показывает, что в Российской Федерации сложилась многоуровневая система обследования и диагностики мостовых сооружений, регламентированная рядом отраслевых нормативных документов. Данная система включает в себя несколько видов контроля, различающихся детальностью в подходе и периодичности проведения.

Также нужно отметить большой потенциал исследовательских работ, в которых предприняты усилия для того, чтобы максимально оптимизировать, упростить и повысить качество выполняемых работ по оценке технического состояния мостовых сооружений. Многие из них основаны на фундаментальных исследованиях, описанных в работе Васильева А.И. [1], который систематизировал методологические подходы к диагностике и оценке эксплуатационного состояния мостовых конструкций. Автор детально анализирует потребительские свойства мостовых сооружений, которые определяют их ценность и функциональную надежность на протяжении всего жизненного цикла. В [2] Анисимовым А.В. предлагается системный подход к организации и проведению обследований, включая методы инструментального контроля и обработки полученных данных. Выстроенные алгоритмы балльной оценки технического состояния, расчета грузоподъемности с учетом выявленных дефектов и принятия решений о дальнейшей эксплуатации полноценно дополняют общую картину.

В работах Курбатова Р.А. [3], Крахмальной М.П. [4] уделено большое внимание комплексной оценке, основанной в первую очередь на инструментальных методах неразрушающего контроля строительных конструкций, а также отмечены дефекты, при которых снижается несущая способность мостового сооружения. Значительный вклад в область диагностики и управления состоянием

мостовой инфраструктуры вносит публикация Сабатино С. с соавторами [5]. Работа представляет собой обобщение многолетних исследований в области системного подхода к эксплуатации мостов, основная идея которой заключается в переходе от реактивной модели обслуживания ремонта после появления дефекта к проактивному управлению жизненным циклом мостовых сооружений на основе данных прогнозов. Подобный аналогичный подход имел поддержку в диссертации Смирновой О.В. [6] относительно разработки системы управления техническим состоянием мостовых сооружений на всех этапах их жизненного цикла. Основная цель работы заключается в создании методологической базы по прогнозированию технического состояния в условиях контролируемого накопления повреждений и рациональному планированию ремонтов. В статьях Артеменко Е.Р., Вертунова Д.М., Майстренко И.Ю. и др. [7-9] предложены приближенные математические модели для прогнозирования надежности и технического состояния металлических пролетных строений автодорожных мостов в условиях ограниченной статистической информации. Внедрение математических моделей способствует более точному и своевременному мониторингу состояния мостов, что дает возможность заранее выявлять участки с повышенным риском и принимать превентивные меры.

В работе Овчинникова И.Г., Овчинникова И.И., Нигаматова О.И. [10] рассматриваются вопросы организации и функционирования автоматизированных систем наблюдения за поведением мостовых конструкций в реальном времени. Авторами анализируется опыт применения различных типов датчиков и измерительных систем для контроля деформационных процессов.

За последние годы получено большое количество патентов на системы мониторинга мостовых сооружений [11-13]. Основное преимущество предложенных систем заключается в возможности комплексного мониторинга состояния мостового перехода, что позволяет своевременно выявлять дефекты и предотвращать аварийные ситуации.

Для эффективного управления техническим состоянием мостовых сооружений ключевое значение приобретает изучение динамики изменения их состояния во времени, что создает основу для прогнозирования. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка научно обоснованных методов прогноза, учитывающих совокупность прямых и косвенных факторов воздействия,

а также внедрение современных технологий усиления и ремонта. Подобные решения позволят не только повысить несущую способность, долговечность и жесткость конструкций, но и существенно продлить срок их безопасной эксплуатации.

Цели и задачи исследований

Цель представленного исследования заключалась в разработке прогнозной модели для оценки остаточного ресурса конструкций и прогнозирования технического состояния, а также планирования межремонтных циклов на сети автомобильных дорог Республики Татарстан.

В рамках работы решались следующие задачи: разработка и верифицирование экспоненциальной регрессионной модели, описывающей изменение технического состояния мостов в зависимости от срока эксплуатации; определение скорости изменения технического состояния мостовых сооружений на основе данных из технических паспортов.

Создание метода прогнозирования срока службы мостовых сооружений позволит поддерживать надежность и функциональность объектов мостового парка Республики Татарстан на требуемом уровне и принимать обоснованные решения по ремонту сооружений.

Материалы и методы исследования

В ходе проведенного анализа различных исследований [14-15] было установлено, что срок эксплуатации мостовых сооружений является основным фактором, влияющим на техническое состояние. В течение периода эксплуатации происходят естественные процессы деградации материалов, накопления повреждений и изменения функциональных характеристик конструкций. В **табл. 1** представлена статистическая сводка по 797 мостовым сооружениям, эксплуатируемым на региональных автомобильных дорогах Татарстана. Таблица включает следующие параметры для каждого объекта: период строительства, текущее техническое состояние и вид материала, использованного в пролетных строениях.

Таблица 1

Распределение мостов по техническому состоянию
в зависимости от года строительства и материала

Состояние	Хорошее	Удовлетвори- тельное	Неудовлетвори- тельное	Аварийное
Металлические				
<i>Всего</i>	54	84	77	18
<i>Год строительства</i>				
1950-1960	1	0	5	1
1960-1970	4	7	5	2
1970-1980	5	18	17	3
1980-1990	3	26	21	4
1990-2000	7	26	18	6
2000-2010	8	5	9	2
2010-2020	11	2	2	0
2020-2025	13	0	0	0
Железобетонные				
<i>Всего</i>	95	178	240	51
<i>Год строительства</i>				
1950-1960	0	0	3	1
1960-1970	0	16	13	5
1970-1980	6	30	37	11
1980-1990	18	63	110	14
1990-2000	19	45	66	16
2000-2010	11	14	8	5
2010-2020	30	3	2	0
2020-2025	14	0	1	0

Техническое состояние мостовых сооружений, согласно ГОСТ Р 59618-2021, классифицируется на следующие категории: «отличное», «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное», «предаварийное» и «аварийное». В ходе обработки статистических данных по техническому состоянию мостовых сооружений Республики Татарстан было принято решение об объединении категорий «предаварийное» и «аварийное» состояние в одну группу. Данное решение обусловлено отсутствием дифференцированной оценки в первичных материалах. Сбор исходных данных осуществлялся по материалам диагностики, проведенной в период действия более ранних нормативных документов (в частности, ВСН 4-81), которые не предусматривали разделения неудовлетворительного состояния еще и на предаварийное. Мостовых сооружений в «отличном» техническом состоянии по результатам диагностики не было обнаружено.

Наибольшую долю в структуре парка мостовых сооружений составляют объекты в неудовлетворительном техническом состоянии – около 30 %. Уровень аварийности оценивается в 8,6 % от общего количества. Эксплуатация мостов в аварийном и неудовлетворительном состоянии представляет собой серьезную угрозу для безопасности и бесперебойности функционирования как отдельных искусственных сооружений, так и дорожной сети в целом, приводя к значительным социально-экономическим потерям. Результаты анализа указывают на прямую зависимость: с увеличением возраста объектов ухудшается их техническое состояние. Так, большинство мостов, эксплуатируемых 65-75 лет, несмотря на проводимые мероприятия по содержанию сооружения постепенно становятся неремонтопригодными и переходят в неудовлетворительное состояние. В то же время сооружения возрастом 5-15 лет, как правило, сохраняют хорошее и удовлетворительное состояние.

Данные из **табл. 1** можно свести в виде поля точек на плоскости параметрической зависимости «техническое состояние – срок эксплуатации» (**рис. 1**), тогда собранные статистические данные удовлетворительно аппроксимируются функцией регрессии на основе экспоненциального закона по критерию Пирсона. Полученные аналитические зависимости, описывающие изменение параметров для железобетонных и стальных мостов, а также обобщенная функция для всех типов конструкций, представлены ниже:

Для железобетонных мостов	$f(x) = 3.5695 \cdot e^{-0.014 \cdot x}$	$\chi^2 = 0.2223$	(1)
Для стальных мостов	$f(x) = 3.3213 \cdot e^{-0.013 \cdot x}$	$\chi^2 = 0.1742$	(2)
Общая	$f(x) = 3.4512 \cdot e^{-0.0135 \cdot x}$	$\chi^2 = 0.1965$	(3)

Представленная на **рис. 1** экспоненциальная зависимость технического состояния мостов от срока эксплуатации демонстрирует общую закономерность их старения, однако не учитывает влияние ремонтных мероприятий, способных существенно замедлить этот процесс. Эффективность действующей системы содержания, включающей планово-предупредительные и внеплановые ремонты, может быть оценена через сопоставление фактической скорости изменения состояния с теоретической кривой деградации. Для количественной оценки этих процессов и выявления резервов повышения долговечности сооружений целесообразно ввести показатель **скорости изменения технического состояния V** , позволяющий не только фиксировать интенсивность деградации, но и оценивать результативность проведенных ремонтных воздействий. Анализ данного показателя по группам мостов дает возможность определить, насколько своевременные и качественные ремонты способны продлить срок службы конструкций.

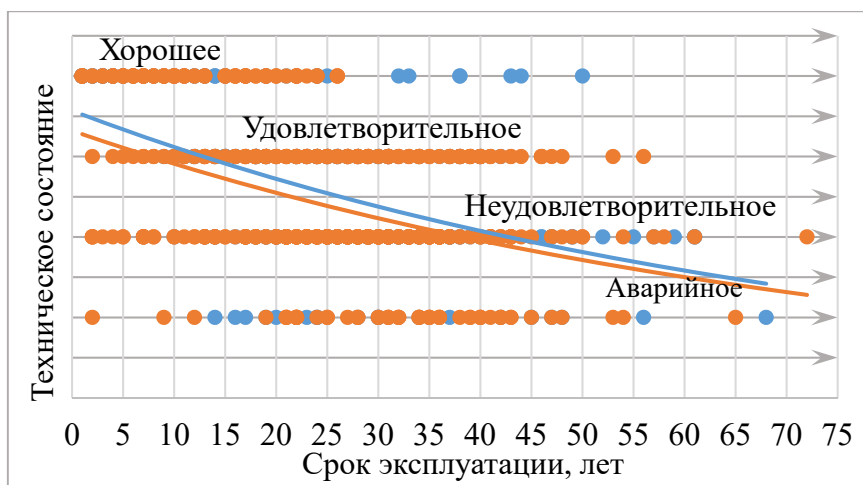


Рис. 1. Зависимость срока эксплуатации мостов от технического состояния:

красный цвет – металлические мосты;
голубой цвет – железобетонные мосты

Скорость изменения технического состояния мостов V – это интенсивность, с которой мосты переходят из одной категории технического состояния в другую за определенный период времени. Для расчета скорости изменения технического состояния V используются хронологические данные о жизненном цикле сооружения: год постройки, годы выполнения капитальных ремонтов и реконструкций, год последней диагностики и соответствующая этому году категория технического состояния. Категорию технического состояния можно представить количественно в баллах: 4 – хорошее; 3 – удовлетворительное; 2 – неудовлетворительное; 1 – предаварийное; 0 – аварийное, используя градацию, приведенную в ГОСТ Р 59618-2021. Тогда формулу средней скорости изменения категории технического состояния можно записать в виде:

$$V = (K_0 - K_T) / T, \quad (4)$$

где

K_0 – начальная категория в баллах;

K_T – категория по итогам диагностики в баллах;

T – период эксплуатации, лет.

Формула (4) не является прогнозной, а формирует инструмент количественной оценки, который позволяет отразить нечеткие качественные понятия в строгих цифрах. Она служит для обратного анализа, а именно для вычисления фактической скорости деградации исследуемых мостовых сооружений на основе уже произошедших изменений. Такой инструмент позволяет калибровать прогнозную экспоненциальную модель (формулы 1-3).

Обсуждение

Среднюю скорость изменения технического состояния для группы мостовых сооружений можно рассчитать на примере данных о результатах диагностики 112 мостов Республики Татарстан за 2025 год. Средняя скорость по указанной выборке мостов составляет 0,186 балла в год, т.е. в среднем за 5-6 лет мостовое сооружение переходит из одного технического состояния в другое. Это грубо усредненное значение, для конкретного моста скорость может отличаться от этого показателя. Попробуем оценить факторы, которые влияют на скорость изменения технического состояния, например, категория дороги, материал моста и период постройки.

В ходе исследования были установлены следующие средние значения скорости изменения технического состояния для каждой категории дороги: II категория – 0,7 балла в год; III категория – 0,06 балла в год; IV категория – 0,11 балла в год. Дороги второй технической категории требуют усиленного контроля, так как на них наблюдается наибольшая скорость деградации мостовых сооружений вследствие высокой интенсивности движения тяжелых транспортных средств. Средняя скорость изменения технического состояния для различных материалов пролетного строения моста следующая: железобетон – 0,11 балла в год; металл – 0,10 балла в год; сталежелезобетон – 0,09 балла в год. Отметим, что явные различия в скорости изменения технического состояния для применяемых материалов отсутствуют, но статистически наиболее уязвимыми считаются железобетонные мосты. При незначительной разнице в 0,01 балла в год по отношению к металлическим мостам обеспечивается хорошая корреляция с полученным функциями регрессии, указанными на **рис. 1**. Кроме того, значения средней скорости изменения технического состояния дополнительно были сгруппированы по периодам строительства мостовых сооружений: постройки с 2001 г. характеризуются скоростью деградации, оцениваемой 0,09 балла в год; постройки 1981-2000 гг. – 0,12 балла в год, постройки 1960-1980 гг. – 0,10 балла в год. Наибольшая скорость деградации зафиксирована для объектов, построенных в период 1981-2000 гг., что, вероятно, обусловлено применением менее долговечных материалов, несовершенством технологий строительства либо недостаточным объемом работ по содержанию и ремонту в указанный период.

Верификация экспоненциальной модели (3), выполненная на основе данных инструментальной диагностики, показала следующее эмпирическое распределение длительности эксплуатационных состояний мостовых сооружений: период до перехода в состояние «удовлетворительное» составляет 10-25 лет, в «неудовлетворительное» – 20-45 лет, а в «аварийное» – 30-50 лет. Следует отметить наличие в выборке статистически значимой доли объектов с аномально высокой скоростью деградации.

Полученные прогнозные модели на основе экспоненциальной зависимости рекомендуется использовать для оценки остаточного ресурса конструкций на основе текущей скорости деградации, а также для планирования межремонтных циклов на сети автомобильных дорог Республики Татарстан.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа статистических данных по 797 мостовым сооружениям Республики Татарстан установлена выраженная экспоненциальная зависимость технического состояния мостов от их возраста. Полученную зависимость можно использовать в качестве прогнозной модели для оценки остаточного ресурса конструкций, а также планирования межремонтных циклов на сети автомобильных дорог Республики Татарстан.

2. Разработана и верифицирована экспоненциальная регрессионная модель, описывающая изменение технического состояния мостов в зависимости от срока эксплуатации. Модель позволяет прогнозировать переход сооружений между категориями состояния: в удовлетворительное – через 10-25 лет, в неудовлетворительное – через 20-45 лет, в аварийное – через 30-50 лет.

3. Установлено, что скорость изменения технического состояния мостов зависит от категории дороги, материала конструкции и года постройки. При этом значительное влияние оказывает уровень содержания мостов, но это очень нестабильный и многофакторный процесс, с ограничением финансирования искусственных сооружений, особенно до 2006 г. Однако впоследствии с каждым годом уровень содержания повышался и ремонтпригодность соответственно тоже.

Наиболее высокая скорость деградации характерна для мостов на дорогах II категории, что связано с высокой интенсивностью движения тяжелого транспорта. Железобетонные мосты демонстрируют несколько более высокую скорость износа по сравнению с металлическими и сталежелезобетонными. Наибольшая скорость деградации, зафиксированная для объектов постройки 1981-2000 гг., может быть обусловлена в том числе недостаточным объемом работ по содержанию и ремонту в последующие периоды. Верификация модели на выборке из 112 мостов Республики Татарстан показала, что средняя скорость изменения технического состояния составляет 0,186 балла в год, однако для отдельных сооружений наблюдаются значительные отклонения, что также подтверждает влияние эксплуатационных факторов. Таким образом, для повышения точности прогнозирования и обоснованного планирования ремонтных мероприятий необходимо дополнить модель параметром, характеризующим уровень и качество

содержания мостовых сооружений на протяжении всего жизненного цикла.

© Вишняков А.Т., Зиннуров Т.А., 2026

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев А.И. Оценка технического состояния мостовых сооружений: учебное пособие / А.И. Васильев. – М.: Издательство «КноРус», 2024. – С. 56-57.
2. Анисимов А.В. Оценка технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах: учебное пособие / А.В. Анисимов. – М.: Московский автомобильно-дорожный государственный университет (МАДИ), 2023. – 172 с.
3. Курбатов Р.А. Техническая диагностика железобетонных конструкций мостовых сооружений / Р.А. Курбатов // *Техника и технология транспорта*. – 2019. – С. 49-55.
4. Жадан М.П. Разработка методики автоматизированного дистанционного обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений / М.П. Жадан // *Инженерный вестник Дона*. – 2009. – № 2(8). – С. 12-19.
5. Sabatino S., Frangopol D.M., Dong Y. Sustainability-informed maintenance optimization of highway bridges considering multi-attribute utility and risk attitude // *Engineering Structures*. – 2015. – No 11/1. – С. 310-321.
6. Смирнова О.В. Теоретические основы и методы управления техническим состоянием эксплуатируемых мостов: специальность 05.23.11: автореферат диссертации ... кандидата технических наук / Смирнова Ольга Владимировна / МИИТ МПС РФ. Москва, 2004. – 24 с.
7. Артеменко Е.Р. Прогнозирование оценки технического состояния металлических мостов / Е.Р. Артеменко, Д.М. Вертунова, Г.А. Аверченко // *Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура*. – 2025. – №2(10). – С. 4-10.
8. Майстренко И.Ю. Оценка ресурсных показателей автодорожных мостов на основе анализа структурных изменений и накопления повреждений в конструктивных элементах / И.Ю. Майстренко, Т.А. Зиннуров, Т.И. Майстренко, Д.И. Ерохин, И.Ю. Егорова // *Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура*. – 2019. – №4(50). – С. 444-454.
9. Майстренко И.Ю. Исследования коэрцитивной силы стальных конструкций мостовых сооружений / И.Ю. Майстренко, Т.А. Зиннуров, Т.И. Майстренко [и др.] // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2022. – № 2(60). – С. 24-36. – DOI: 10.52409/20731523_2022_2_24.
10. Нигаматова О.И. Международный опыт применения экспертных систем для оценки состояния мостовых сооружений / О.И. Нигаматова, И.Г. Овчинников, И.И. Овчинникова // *Науковедение*. – 2016. – Том 8, №1. – С. 1-7.
11. Патент № 2308692 Российская Федерация, МПК G01M 5/00, G01N 29/04. Способ мониторинга мостового перехода в процессе его эксплуатации и устройство для его реализации: № 2005128454/28; заявл. 08.09.2005; опубл. 26.02.2007 / заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет путей сообщения (МГУПС)»; авт. Крутиков О.В., Матвеев И.К., Шамров М.И., Дрыгин Р.М., Шестаков А.Е. – Бюл. № 6. – 9 с.
12. Патент № 2788288 Российская Федерация, МПК G01M 5/00. Система мониторинга мостового сооружения: № 2019114754; заявл. 13.05.2019; опубл. 20.01.2023 / заявитель и патентообладатель: ООО «Научно-производственное объединение "СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ"». – Бюл. № 3. – 14 с.
13. Патент № 2650812 Российская Федерация, МПК G01M 5/00. Способ мониторинга технического состояния мостовых сооружений в процессе их эксплуатации:

- № 2017101818; заявл. 19.01.2017; опубл. 18.04.2018 / Бойцов А.В., Кузнецов А.А., Смирнов А.Н., Тихонов А.А.; патентообладатель: авторы. – Бюл. № 11. – 11 с.
14. Шермухамедов У.З. К оценке технико-эксплуатационного состояния городских железобетонных мостов и путепроводов / У.З. Шермухамедов, А.А. Белый, М.М. Собирова [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21. – Вып. 1. – С. 238-251.
 15. Каралетов Э.С., Шестовицкий Д.А. Проблема долговечности железобетонных мостов: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. «Новые технологии в мостостроении». 2015 / Петербург. гос. ун-т путей сообщ. имп. Александра I, СПб., 2015. – С. 111-116.

REFERENCES

1. Vasil'ev A.I. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya mostovykh sooruzhenij: uchebnoe posobie / A.I. Vasil'ev. – M.: Izdatel'stvo «KnoRus», 2024. – S. 56-57.
2. Anisimov A.V. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya mostovykh sooruzhenij na avtomobil'nykh dorogah: uchebnoe posobie / A.V. Anisimov. – M.: Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj gosudarstvennyj universitet (MADI), 2023. – 172 s.
3. Kurbatov R.A. Tekhnicheskaya diagnostika zhelezobetonnykh konstrukcij mostovykh sooruzhenij / R.A. Kurbatov // Tekhnika i tekhnologiya transporta. – 2019. – S. 49-55.
4. Zhadan M.P. Razrabotka metodiki avtomatizirovannogo distancionnogo obsledovaniya nesushchih stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij / M.P. Zhadan // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2009. – № 2(8). – S. 12-19.
5. Sabatino S., Frangopol D.M., Dong Y. Sustainability-informed maintenance optimization of highway bridges considering multi-attribute utility and risk attitude // Engineering Structures. – 2015. – C. 310-321.
6. Smirnova O.V. Teoreticheskie osnovy i metody upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem ekspluatiruemykh mostov: spetsial'nost' 05.23.11: avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk / Smirnova Ol'ga Vladimirovna / MIIT MPS RF. Moskva, 2004. – 24 s.
7. Artemenko E.R. Prognozirovaniye ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya metallicheskih mostov / E.R.Artemenko, D.M. Vertunova, G.A. Averchenko // Avtomobil'nye dorogi i transportnaya infrastruktura. – 2025. – №2(10). – C. 4-10.
8. Majstrenko I.Yu. Ocenka resursnykh pokazatelej avtodorozhnykh mostov na osnove analiza strukturnykh izmenenij i nakopleniya povrezhdenij v konstruktivnykh elementah / I.Yu. Majstrenko., T.A. Zinnurov, T.I. Majstrenko, D.I. Erohin, I.Yu. Egorova // Avtomobil'nye dorogi i transportnaya infrastruktura. – 2019. – №4(50), C. 444-454.
9. Majstrenko I.Yu., Zinnurov T.A., Majstrenko T.I. [i dr.] Issledovaniya koercitivnoj sily stal'nykh konstrukcij mostovykh sooruzhenij // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2022. – № 2(60). – S. 24-36. – DOI: 10.52409/20731523_2022_2_24.
10. Nigmatova O.I. Mezhdunarodnyj opyt primeneniya ekspertnykh sistem dlya ocenki sostoyaniya mostovykh sooruzhenij / O.I. Nigmatova, I.G. Ovchinnikov, I.I. Ovchinnikova // Naukovedenie. – 2016. – Tom 8, №1. – C. 1-7.
11. Patent № 2308692 Rossijskaya Federaciya, MPK G01M 5/00, G01N 29/04. Sposob monitoringa mostovogo perekhoda v processe ego ekspluatatsii i ustrojstvo dlya ego realizatsii: № 2005128454/28; yayavl. 08.09.2005; opubl. 26.02.2007 / yayavitel' i patentoobladatel': FGBOU VO «Moskovskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya (MGUPS)»; avt. Krutikov O.V., Matveev I.K., Shamrov M.I., Drygin R.M., Shestakov A.E. – Byul. № 6. – 9 s.
12. Patent № 2788288 Rossijskaya Federaciya, MPK G01M 5/00. Sistema monitoringa mostovogo sooruzheniya: № 2019114754; yayavl. 13.05.2019; opubl. 20.01.2023 / yayavitel' i patentoobladatel': ООО «Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie "SEJSMOSTOJKOST"». – Byul. № 3. – 14 s.
13. Patent № 2650812 Rossijskaya Federaciya, MPK G01M 5/00. Sposob monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya mostovykh sooruzhenij v processe ih ekspluatatsii:

- № 2017101818; *zayavl.* 19.01.2017; *opubl.* 18.04.2018 / Bojcov A.V., Kuznecov A.A., Smirnov A.N., Tihonov A.A.; *patentoobladatel': avtory.* – *Byul.* № 11. – 11 s.
14. Shermuhamedov U.Z. *K ocenke tekhniko-ekspluatacionnogo sostoyaniya gorodskih zhelezobetonnyh mostov i puteprovodov* / U.Z. Shermuhamedov, A.A. Belyj, M.M. Sobirova [i dr.] // *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya.* – 2024. – T. 21. – Vyp. 1. – S. 238-251.
15. Karapetov E.S., Shestovickij D.A. *Problema dolgovechnosti zhelezobetonnyh mostov: sb. st. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Novye tekhnologii v mostostroenii».* 2015 / *Peterburg. gos. un-t putej soobshch. imp. Aleksandra I, SPb., 2015.* – S. 111-116.

Информация об авторах

А.Т. Вишняков – ведущий специалист Государственного казенного учреждения «Главное управление содержания и развития дорожно-транспортного комплекса Татарстана при Министерстве транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан» (ГКУ «Главтатдортранс»), Казань, Россия

Т.А. Зиннуров – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели», Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ), Казань, Россия

Information about the authors

A.T. Vishnyakov – Leading Specialist of the State Government Institution «The Main Directorate for the Maintenance and Development of the Road Transport Complex of Tatarstan under the Ministry of Transport and Road Management of the Republic of Tatarstan» (Glavtattortrans), Kazan, Russia

T.A. Zinnurov – Ph.D. (Tech.), Associate Professor, Senior Researcher of the Chair «Roads, Bridges and Tunnels», Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE), Kazan, Russia

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент, руководитель учебного центра А.В. Анисимов (ООО «Автодор-Инжиниринг»).

Статья поступила в редакцию 20.01.2026. Одобрена после рецензирования 29.03.2026. Принята к публикации 22.04.2026.

The article was submitted 20.01.2026. Approved after reviewing 29.03.2026. Accepted for publication 22.04.2026.