

Научная статья
УДК 625.745.12
doi:10.52170/1815-9265_2026_81_72

Разработка стратегии содержания мостовых сооружений на основе современных научных подходов

Татьяна Васильевна Самодурова^{1✉}, Станислава Валерьевна Кузнецова²

^{1, 2} Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

¹ tsamodurova@cchgeu.ru✉

² kuznetsovastanislava@gmail.com

Аннотация. Приведение в нормативное состояние сети автомобильных дорог и искусственных сооружений на них – одна из приоритетных задач «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» и национального проекта «Инфраструктура для жизни». Увеличение нагрузок и интенсивности движения, особенно на южном направлении, на автомобильных дорогах Российской Федерации предъявляет все более жесткие требования к техническому состоянию искусственных сооружений на дорогах.

Наиболее сложными и важными элементами дорожной инфраструктуры являются мостовые сооружения, они требуют к себе повышенного внимания на протяжении всего жизненного цикла. Последствиями неудовлетворительного или аварийного состояния мостовых сооружений являются потери в экономике государства, вызванные изменением режима движения транспортных потоков, снижением скорости и пропускной способности. Эксплуатация отдельно взятого искусственного сооружения и парка мостов в целом является сложным многофакторным процессом, эффективность которого зависит от своевременно принятых решений и мер по содержанию.

Целью настоящего исследования являлось определение порядка действий и этапы планирования работ по содержанию мостовых сооружений с момента ввода в эксплуатацию до момента реконструкции, разработка наиболее эффективной стратегии содержания искусственных сооружений для повышения их долговечности и сокращения затрат на стадии эксплуатации.

В статье приведены основные этапы эксплуатации мостовых сооружений и их характеристика, виды и последовательность проведения работ по содержанию искусственных сооружений, алгоритм планирования и выбора оптимальной стратегии поведения работ с учетом фактических межремонтных сроков в условиях ограниченного финансирования.

Ключевые слова: мостовые сооружения, развитие дефектов, эксплуатация

Для цитирования: Самодурова Т. В., Кузнецова С. В. Разработка стратегии содержания мостовых сооружений на основе современных научных подходов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 4 (81), спецвыпуск. С. 72–79. DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_72.

Original article

Development of a bridge maintenance strategy based on modern scientific approaches

Tatiana V. Samodurova^{1✉}, Stanislava V. Kuznetsova²

^{1, 2} Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

¹ tsamodurova@cchgeu.ru✉

² kuznetsovastanislava@gmail.com

Abstract. Bringing the road network and its artificial structures up to standard is one of the priority objectives of the 'Transport Strategy of the Russian Federation through 2030' and the national project 'Infrastructure for Life'. Increasing traffic loads and intensity, particularly in the southern direction, on Russian highways places increasingly stringent demands on the technical condition of artificial structures.

Bridges are the most complex and important elements of road infrastructure, requiring increased attention throughout their entire life cycle. The consequences of unsatisfactory or emergency condition of bridges include economic losses due to changes in traffic patterns, reduced speeds, and reduced throughput. The operation of individual artificial structures and the entire bridge fleet is a complex, multi-factorial process, the effectiveness of which depends on timely decisions and maintenance measures.

The purpose of this study was to determine the order of actions and planning stages for bridge maintenance from commissioning to reconstruction, and to develop the most effective maintenance strategy for these structures to increase their durability and reduce operating costs.

The article presents the main stages of bridge operation and their characteristics, the types and sequence of maintenance work, and an algorithm for planning and selecting the optimal strategy for performing the work, taking into account actual time between repairs under limited funding conditions.

Keywords: bridge structures, defect development, maintenance

For citation: Samodurova T. V., Kuznetsova S. V. Development of a bridge maintenance strategy based on modern scientific approaches. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(81):72–79. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_72.

Введение

Наиболее сложными и важными элементами дорожной инфраструктуры являются мостовые сооружения, в связи с чем они требуют к себе повышенного внимания, особенно на стадии содержания. Следствием неудовлетворительного состояния мостовых сооружений или их аварий являются большие экономические потери. Таким образом, повышение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог невозможно без решения вопросов, связанных с приведением к нормативному состоянию искусственных сооружений.

Согласно данным государственной федеральной информационной системы контроля за формированием и использованием средств дорожных фондов (ФГИС СКДФ) процент нормативного состояния федеральных автомобильных дорог, начиная с 2018 г., постепенно снижается (с 86 до 74 %), для дорог регионального значения возрастает (с 42 до 55 %). Такой рост объясняется выполнением основных показателей национального проекта «Безопасные и качественные дороги», в котором особое внимание было уделено региональным дорогам. Тем не менее процент дорог, не удовлетворяющих нормативным требованиям, еще высок, что позволяет сделать вывод об актуальности проблемы повышения транспортно-эксплуатационного состояния дорог и искусственных сооружений на них на стадии эксплуатации.

Для поддержания парка мостовых сооружений в нормативном состоянии в условиях ограниченного финансирования необходимо гра-

мотное распределение ресурсов на содержание мостовых сооружений и рациональное назначение тех или иных мероприятий по содержанию на краткосрочный и долгосрочный период.

Вопрос поддержания нормативного состояния искусственных сооружений и совершенствования системы и мониторинга их технического и транспортно-эксплуатационного состояния является актуальным в России и зарубежных странах [1–5].

Материалы и методы исследования

Стадия эксплуатации является наиболее продолжительной в жизненном цикле мостового сооружения, и одна из основных задач на этой стадии – поддержание работоспособности сооружения при воздействии нагрузок и различных негативных факторов внешней среды.

Перечень основных работ по содержанию мостов базируется на делении сооружения на четыре основные части: мостовое полотно, пролетное строение, опоры и подмостовое пространство.

В период эксплуатации согласно «Классификации работ по содержанию мостовых сооружений» можно выделить несколько этапов, на которых проводят определенные виды работ, характеристика которых приведена в табл. 1.

В состав работ по содержанию мостовых сооружений включаются так называемые нормативные работы (надзор и уход) и сверхнормативные (профилактика и планово-предупредительный ремонт). Работы, выходящие за рамки нормативного содержания, выполняются при возникновении необходимости в них. Характе-

Таблица 1

Этапы эксплуатации мостовых сооружений и их характеристика

Этап	Основная характеристика этапа	Основные виды работ
I	Эксплуатация без снижения надежности	В течение данного периода за сооружением осуществляется уход
II	Этап характеризуется появлением и развитием дефектов. Начинает происходить разрушение мостового полотна	Планово-предупредительные работы (ППР). Сооружение эксплуатируется без ограничений, но при отсутствии ППР его состояние ухудшается
III	На данном этапе появляются дефекты несущих конструкций, снижающие несущую способность и грузоподъемность сооружения в целом	Обязательное проведение ремонтных работ

ристика работ по содержанию приведена в табл. 2.

Надзор включает: постоянные текущие, периодические и специальные осмотры, а также диагностику сооружения.

Работы по уходу выполняют на всех сооружениях постоянно в течение года. Данные работы направлены на поддержание сооружения в чистоте, обеспечение безопасности движения, являются обязательными независимо от типа и состояния сооружения и выполняются регулярно. Периодичность работ по уходу за мостовыми сооружениями определяется состоянием элементов конструкций и может колебаться от ежедневных работ до еженедельных и реже.

Для сверхнормативных работ наименьшие денежные затраты на профилактику и ППР приходятся на молодые сооружения со сроком эксплуатации, не превышающим 10 лет. Наибольшие затраты на эти виды работ приходятся на сооружения, эксплуатируемые более 25 лет и имеющие общий износ более 25 %.

В случае необходимости восстановления первоначальных транспортно-эксплуатационных качеств сооружения и несущих конструкций выполняется ремонт мостового сооружения, для этого требуется проведение изысканий и разработка проектно-сметной документации.

Реконструкция и перестройка выполняются при невозможности эксплуатации сооружения в текущем состоянии и предусматривают принципиальное изменение его технических характеристик и улучшение первоначальных транспортно-эксплуатационных качеств сооружения.

Срок эксплуатации искусственного сооружения в нормативном состоянии зависит от

условий его содержания. При наличии ухода износ сооружения уменьшается, количество дефектов и скорость их развития снижается при регулярном проведении профилактических работ, а также планово-предупредительных работ. Как показали исследования, задержки с профилактикой или ППР сказываются на изменении темпов износа в процессе эксплуатации [6]. Работы по текущему содержанию должны быть планомерны в течение всего срока службы сооружения и учитывать его фактический возраст и текущее техническое состояние [7, 8].

Регулярные затраты на текущее содержание мостов и ремонтно-профилактические работы значительно снижают затраты балансодержателей в долгосрочной перспективе за счет более длительного нормативного периода сооружений.

В рамках настоящего исследования авторами были разработаны подходы, направленные на создание эффективной стратегии содержания мостовых сооружений на основе существующих подходов и с учетом результатов, ранее проведенных авторами исследований, которые производились на основе долгосрочного мониторинга парка мостовых сооружений [9, 10].

Ниже приведены основные принципы, положенные в основу предлагаемых в настоящей статье алгоритмов планирования и проведения работ по содержанию искусственных сооружений.

1. Принцип вероятностного прогнозирования дефектов. В отличие от подхода, опирающегося на нормативные сроки, авторами предлагается учитывать фактическую скорость развития дефектов на основе статистических данных эксплуатации парка мостов.

Таблица 2

Состав работ по содержанию мостовых сооружений

Нормативные работы		Сверхнормативные работы	
Надзор	Система наблюдения с целью своевременного обнаружения повреждений и дефектов или предупреждения возможности их возникновения	Профилактика	Меры для поддержания сооружения в исправном и работоспособном состоянии обеспечивают устранение небольших дефектов на стадии, когда они не являются опасными для сооружения и требуют для устранения минимальных затрат
Уход	Комплекс мероприятий по сбору и удалению с мостового сооружения посторонних предметов и вредных веществ для предотвращения образования дефектов и повреждений	Планово-предупредительный ремонт	Меры по устранению дефектов на ранней стадии износа элементов сооружения (до 25 %) требуют относительно малых денежных затрат, предупреждают снижение грузоподъемности сооружения

2. Принцип двухуровневого планирования. Планирование затрат осуществляется одновременно на краткосрочный (1–3 года) и долгосрочный (5–10 лет) горизонты. Это позволит снизить скорость накопления дефектов, характерную для планирования только на основе нормативных сроков.

3. Принцип ранжирования. В условиях ограниченного финансирования при выборе приоритетных сооружений планирование работ происходит на основе не только текущего состояния сооружения, но и с учетом перспективного (прогнозного).

Результаты исследования

В настоящее время необходимые виды работ по содержанию сооружений определяются на основании оценки текущего технического состояния мостовых сооружений.

Как правило, планирование проведения работ происходит вручную, и ключевую роль в этом имеет квалификация специалиста, который опирается на свой опыт и ожидания в части будущего технического состояния искусственного сооружения и развития его дефектов. Назначение проведения ремонтно-восстановительных работ осуществляется, в том числе на основании регламентных сроков, которые установлены нормативной документацией. Как показали исследования, довольно часто фактическая потребность в этих работах возникает раньше планируемого (регламентированного) срока [9, 10]. Результаты исследований для мостового полотна и балок пролетных строений приведены в табл. 3.

Фактические и нормативные межремонтные сроки имеют важное значение при долгосрочном планировании работ по содержанию. Необходимо знать прогнозируемое состояние мостового сооружения на определенный пе-

риод времени в будущем с целью рационального распределения финансирования и назначения работ на этапе эксплуатации.

Эксплуатация мостовых сооружений является сложным многофакторным процессом, эффективность которого зависит от качества принимаемых управленческих решений. В условиях ограниченного финансирования особую актуальность приобретает разработка рационального алгоритма проведения работ по содержанию.

Важную и определяющую роль играет планирование затрат и потребность в финансировании на содержание, которое осуществляется в рамках федерального бюджета на краткосрочный период (на 1 и 3 года) и долгосрочный период (на 5–10 лет). В связи с этим важно учитывать не только объем текущей потребности в затратах на содержание, но и иметь прогнозную модель затрат на долгосрочную перспективу по парку мостов, который находится на балансе.

В результате ранее проведенных исследований [10] была предложена схема, приведенная на рис. 1, которая описывает поэтапный алгоритм планирования затрат на содержание мостовых сооружений с использованием моделей прогнозирования развития дефектов.

Алгоритм предусматривает автоматизацию процессов сбора и обработки информации для планирования финансирования работ на содержание с учетом фактических дефектов и прогнозирования их развития во времени с использованием разработанной автором модели на основе логистических кривых Ферхюльста – Перла [9]. Модель может быть применена как к одному конкретному сооружению, так и к парку мостовых сооружений.

Алгоритм предусматривает сбор данных и проведение трех этапов анализа с выходом на финансовые показатели.

Таблица 3

Фактические и нормативные сроки эксплуатации

Элемент	Нормативный межремонтный срок, лет	Фактический срок эксплуатации до первого дефекта, лет	Фактический срок эксплуатации до первого/последующего ремонта*, лет
Балка пролетного строения	30–40	2–8	7/14/19/22
Мостовое полотно	10–20	2–4	7/14/19

* Под ремонтном понимаются все виды работ, вследствие которых дефект был устранен.



Рис. 1. Поэтапный алгоритм планирования затрат на содержание мостов

Информация, используемая при анализе, содержит технические характеристики сооружения, материалов, используемых при строительстве и ремонтно-восстановительных работах, оценки прошлого и текущего состояния и наличие дефектов.

На этапе анализа данных выявляются внешние факторы, влияющие на развитие дефектов, причины и закономерности их развития.

Моделирование предусматривает оценку различных сценариев развития дефектов и возможных вариантов проведения работ в рамках эксплуатации.

На стадии оптимизации производится выбор наиболее эффективных ремонтно-восстановительных работ и сроки их проведения.

Результатом работы алгоритма является финансовый и производственный план по содержанию как отдельного моста, так и парка сооружений.

Данная последовательность этапов позволяет решать задачи планирования затрат на эксплуатацию сооружений, а также является ключевым звеном для выбора стратегии проведения работ на этапе содержания мостовых сооружений. В ходе дальнейших исследований разработана схема принятия решения по

содержанию сооружений, приведенная на рис. 2.

Предложенная схема учитывает не только техническую сторону этапа эксплуатации мостовых сооружений, но и увязана с финансовым планированием, что является важным аспектом при содержании большого парка мостовых сооружений в условиях ограниченного финансирования.

После ввода объекта производится надзор за сооружениями. При соответствии состояния мостовых сооружений нормативным требованиям осуществляется переход к системе плановых осмотров и сезонного содержания. В противном случае активируется механизм определения вида и объема дефектов, оценивается их влияние на сооружение в целом. На данном этапе производится выбор стратегии проведения дальнейших работ.

При выборе стратегии необходимо учитывать следующие факторы:

- наличие имеющегося финансирования,
- приоритетность искусственных сооружений с учетом наличия дефектов и их прогнозного развития,
- эффективность тех или иных видов работ в текущий период и на долгосрочную перспективу.

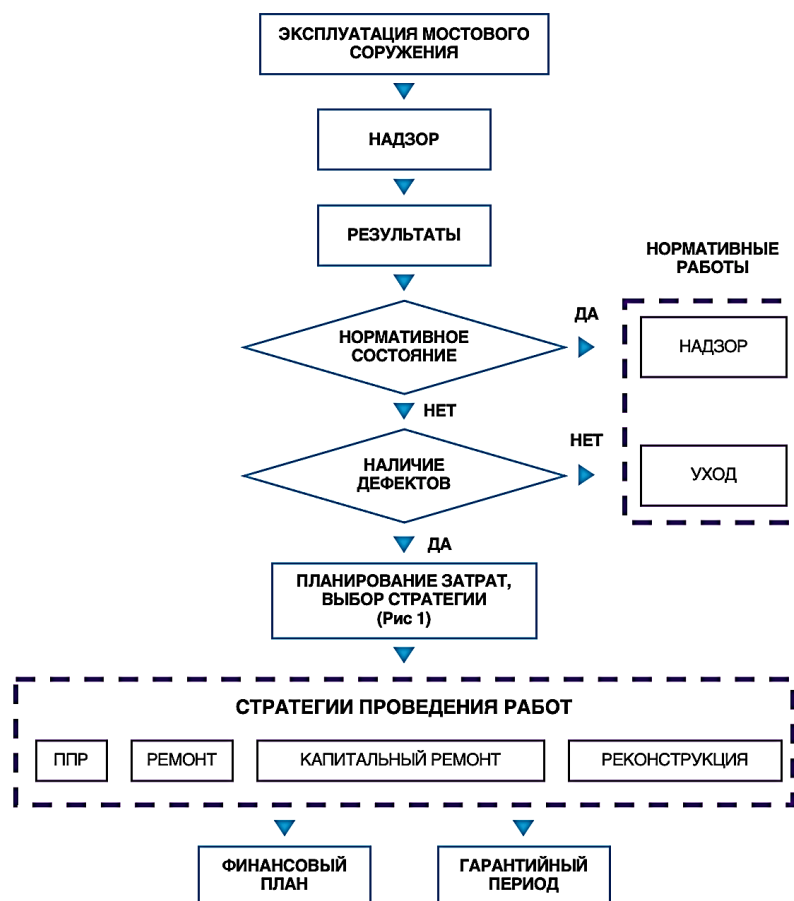


Рис. 2. Схема принятия решений по проведению работ на стадии эксплуатации

Дефекты, которые могут быть устранены в плановом порядке, направляются в систему планово-предупредительного ремонта (ППР). При выявлении дефектов, требующих срочного вмешательства, инициируется процедура внепланового ремонта.

С целью минимизации риска внеплановых работ необходимо учитывать временную составляющую при планировании работ и расчете затрат на эксплуатацию сооружений. Для этого требуется предварительно провести анализ результатов долгосрочного мониторинга, существующего на балансе парка мостов, выявить наиболее распространенные дефекты и выявить фактический процесс развития и накопления дефектов мостовых сооружений в процессе эксплуатации [7]. Когда планирование ведется на краткосрочный период и только на основе нормативных сроков службы элементов мостов, затраты на проведение ремонтно-восстановительных работ возрастают в связи с накоплением большого количества дефектов и ухудшением технического состоя-

ния к моменту наступления регламентированного срока проведения ремонтных работ.

Положительный фактор – наличие гарантийных обязательств по договору у подрядных организаций, выполняющих работы по реконструкции и ремонту, в рамках которых выявленные дефекты должны быть устранены без дополнительных затрат со стороны балансодержателя в гарантийный период. Они включены в схему принятия решений.

Гарантийные обязательства обеспечиваются путем удержания денежных средств от 0,5 до 30 % при оплате выполненных работ по строительству сооружений, реконструкции и ремонту, что позволяет в дальнейшем в гарантийный период значительно сократить расходы на эксплуатацию балансодержателя мостов и является действенным механизмом для повышения процента искусственных сооружений в нормативном состоянии в условиях ограниченного финансирования.

Таким образом, срок службы моста и его техническое состояние зависят от правильности

выбранной стратегии эксплуатации, которая базируется на прогнозе финансовой потребности, достоверности определения текущего и перспективного состояния сооружения и эффективности выбранных видов работ по содержанию. Положительные эффекты от реализации предложенной в данной статье стратегии планирования работ по содержанию приведены далее.

Экономические эффекты:

- снижение доли внеплановых ремонтов – за счет прогнозирования развития дефектов по логистическим кривым и своевременного планирования работ;

- снижение общих годовых затрат на содержание – за счет оптимизации сроков и объемов планово-предупредительных ремонтов (ППР) в сочетании с сокращением аварийности;

- снижение стоимости устранения дефектов – за счет устранения дефектов на ранней стадии;

- экономия бюджета в период действия гарантии – за счет того, что дефекты, выявленные в гарантийный период, устраняются подрядной организацией без дополнительных затрат балансодержателя.

Технические эффекты:

- увеличение доли мостов в нормативном состоянии и снижение риска внезапных аварийных ситуаций – за счет перехода от планирования ремонтов на основании нормативных сроков к прогнозированию фактического развития дефектов;

- продление остаточного ресурса сооружений – за счет своевременных ремонтов, синхронизированных с реальной потребностью в них.

Выводы

1. Впервые предложена схема, описывающая порядок действий и этапы планирования работ по содержанию мостовых сооружений на этапе их эксплуатации с момента ввода в эксплуатацию до момента реконструкции, учитывающая гарантийный период. Выявлены этапы, требующие особого внимания и совершенствования методов назначения работ.

2. Разработан поэтапный алгоритм планирования работ, основанный на математических моделях, позволяющих прогнозировать техническое состояние сооружения на основе выявления закономерностей развития дефектов во времени. Предложенный подход к планированию работ может быть применен как к одному конкретному сооружению, так и к парку мостовых сооружений.

3. Разработанный алгоритм впервые включен в схему принятия решений по проведению работ на стадии эксплуатации мостовых сооружений. Это позволяет снизить влияние человеческого фактора и квалификации специалистов на выбор стратегии проведения работ. Предложенный подход позволит решать задачи управления планирования затрат на эксплуатацию, а также стать основой для сокращения затрат на стадии эксплуатации и повысит долговечность сооружений.

Список источников

1. Длительные деградационные процессы, влияющие на снижение грузоподъемности и долговечности мостовых сооружений в период их эксплуатации / А. И. Васильев, Ш. Н. Валиев, В. С. Шмидт, И. Г. Овчинников // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 2. URL: <https://esj.today/PDF/55SAVN222.pdf> (дата обращения: 14.04.2026).

2. Нигаматова О. И., Овчинников И. Г. Системы управления состоянием мостовых сооружений // Наукоедение : интернет-журнал. 2015. Т. 7, № 3. С. 1–15.

3. A new methodology to inform maintenance decisions and budget requirements for bridges / Shiyu Zhao, Xiaolin Meng, Yan Bao [et al.]. 2024. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19397038.2025.2514465> (дата обращения: 11.03.2026).

4. Calculation method and illustration for bridge life-cycle cost based on path probability / C. Wang, C. Yao, S. Zhao [et al.]. 2024. URL: <https://cdn.sciengine.com/doi/10.3969/j.issn.1002-0268.2024.06.011> (дата обращения: 11.03.2026).

5. Бильченко А. В., Кислов А. Г. Особенности эксплуатации и стратегия ремонта городских мостовых сооружений // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2010. № 33. С. 32.

6. Шестериков В. И. Оценка и прогнозирование состояния мостов на автомобильных дорогах в системе управления их эксплуатацией : дис. ... д-ра техн. наук. Москва : Росдорнии, 2004. 331 с.

7. Ахмедов Р. М. Планирование и управление ремонтом и реконструкцией автодорожных мостов // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2021. № 3 (84). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11393> (дата обращения: 11.03.2026).
8. Планирование затрат и пути совершенствования службы эксплуатации мостов / Н. А. Гуга, Г. А. Аверченко, К. А. Васильев [и др.] // *Транспортные системы и технологии.* 2021. Т. 7, № 2. С. 30–41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-zatrat-i-puti-sovershenstvovaniya-sluzhby-ekspluatatsii-mostov> (дата обращения: 11.03.2026).
9. Кузнецова С. В. Моделирование развития дефектов железобетонных пролетных строений мостовых сооружений в процессе эксплуатации с использованием логистической кривой // *Дороги и мосты : сборник.* 2021. Вып. 45. С. 130–141.
10. Самодурова Т. В., Кузнецова С. В. Планирование работ по содержанию мостовых сооружений на основе мониторинга технического состояния // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения.* 2025. № 4 (76), спецвыпуск. С. 62–69.

References

1. Vasilyev A. I., Valiev Sh. N., Schmidt V. S., Ovchinnikov I. G. Long-term degradation processes affecting the reduction of load-carrying capacity and durability of bridge structures during their operation. *Bulletin of Eurasian Science.* 2022;14(2). (In Russ.). URL: <https://esj.today/PDF/55SAVN222.pdf>.
2. Nigmatova O. I., Ovchinniko, I. G. Bridge management systems. *Science Studies: Online Journal.* 2015;7(3):1–15. (In Russ.).
3. Shiyu Zhao, Xiaolin Meng, Yan Bao [et al.]. A new methodology to inform maintenance decisions and budget requirements for bridges. 2024. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19397038.2025.2514465>.
4. Wang C., Yao C., Zhao S. [et al.]. Calculation method and illustration for bridge life-cycle cost based on path probability. URL: <https://cdn.sciengine.com/doi/10.3969/j.issn.1002-0268.2024.06.011>.
5. Bilchenko A. V., Kislov A. G. Features of operation and repair strategy of urban bridge structures. *Science and Transport Progress.* 2010;(33):32. (In Russ.).
6. Shesterikov V. I. Assessment and forecasting of the condition of bridges on highways in the management system of their operation. Doctor of Engineering Diss. Moscow: Rosdornii; 2004. 331 p. (In Russ.).
7. Akhmedov R. M. Planning and management of repair and reconstruction of road bridges. *Universum: Technical Sciences.* 2021;(3). (In Russ.). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11393>.
8. Guga, N. A., Averchenko, G. A., Vasilev, K. A. [et al.]. Cost planning and ways to improve the bridge operation service. *Transportation Systems and Technology.* 2021;7(2):30–41. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-zatrat-i-puti-sovershenstvovaniya-sluzhby-ekspluatatsii-mostov>.
9. Kuznetsova S. V. Modeling the development of defects in reinforced concrete bridge spans during operation using a logistic curve. *Roads and Bridges.* 2021;(45):130–141. (In Russ.).
10. Samodurova T. V., Kuznetsova S. V. Planning of maintenance work for bridge structures based on monitoring of technical condition. *Siberian Transport University Bulletin.* 2025;(76):62–69. (In Russ.).

Информация об авторах

Т. В. Самодурова – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов Воронежского государственного технического университета.
С. В. Кузнецова – аспирант Воронежского государственного технического университета.

Information about the authors

T. V. Samodurova – Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Design Highways and Bridges Department, Voronezh State Technical University.
S. V. Kuznetsova – Postgraduate Student, Voronezh State Technical University.

Статья поступила в редакцию 12.03.2025; одобрена после рецензирования 17.06.2025; принята к публикации 29.09.2025.
The article was submitted 12.03.2025; approved after reviewing 17.06.2025; accepted for publication 29.09.2025.