

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2026, Том 13, № 1 / 2026, Vol. 13, Iss. 1 <https://t-s.today/issue-1-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/22SATS126.pdf>

DOI: 10.15862/22SATS126 (<https://doi.org/10.15862/22SATS126>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Петроченко, М. В. Информационно-аналитическая модель идентификации состояния транспортных сооружений с применением систем искусственного интеллекта / М. В. Петроченко // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 1. — URL: <https://t-s.today/PDF/22SATS126.pdf>. DOI: 10.15862/22SATS126.

For citation:

Petrochenko M.V. Information and analytical model for identifying the condition of transport facilities using artificial intelligence systems. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(1): 22SATS126. Available at: <https://t-s.today/PDF/22SATS126.pdf>. DOI: 10.15862/22SATS126. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 69.059.14

Петроченко Марина Вячеславовна

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Инженерно-строительный институт
Директор, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: petrochenko_mv@spbstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4865-5319>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=589472

Информационно-аналитическая модель идентификации состояния транспортных сооружений с применением систем искусственного интеллекта

Аннотация. Проблема повышения долговечности, безопасности эксплуатации, а также качества содержания транспортных сооружений приобретает все большую актуальность. Согласно статистике, в последние десятилетия возросло число случаев аварий и разрушений мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Эффективность решения этой проблемы во многом зависит от качества мониторинга, позволяющего обеспечить безопасную эксплуатацию транспортного сооружения и предотвратить аварийные ситуации. Статья посвящена разработке информационно-аналитической модели идентификации технического состояния транспортных сооружений, создаваемой для выбора решений по своевременному выполнению ремонтно-восстановительных работ в целях повышения безопасности эксплуатации объектов транспортного строительства. Общая структура, алгоритм и принципы применения информационно-аналитической модели идентификации состояния транспортных сооружений рассмотрены на примере автодорожных мостов, состояние конструктивных элементов которых меняется во времени и может достигать критического уровня для обеспечения безопасности движения. Суть модели состоит в том, что она базируется на применении технологий искусственного интеллекта, позволяющих сформировать реальный информационно-таксономический образ технического состояния транспортного сооружения и предложить технические решения по предотвращению аварийных ситуаций. Для построения интеллектуального каркаса информационно-аналитической модели автор применяет методы таксономического анализа и математического программирования. Модель основывается на возможности идентификации контролируемых параметров в реальном масштабе времени автоматическими средствами

технической диагностики, сравнении фактических параметров состояния мостового сооружения с нормативными; сопоставлении текущего состояния транспортного сооружения с математически формализованным конечным множеством идентифицируемых состояний; оптимизации выбора эффективных технически и технологических решений по выполнению ремонтно-восстановительных работ из сформированной базы данных. Предлагаемая информационно-аналитическая модель позволит своевременно выявить дефекты конструктивных элементов, минимизировать риск возникновения аварийной ситуации, обосновать перечень восстановительных работ, обеспечить возможность безопасной эксплуатации транспортных сооружений.

Ключевые слова: искусственный интеллект; идентификация; транспортное сооружение; мостовое сооружение; техническое состояние; техническое средство автоматического контроля; таксономический анализ

Введение

Современные тенденции развития транспортной инфраструктуры требуют постоянного внимания к повышению безопасности и надежности функционирования транспортных сооружений [1; 2]. Важнейшими элементами транспортной инфраструктуры являются транспортные сооружения (мосты, тоннели, виадуки, галереи и др.), состояние которых оказывает влияние на безопасность транспортной системы и экономическую эффективность региона [3]. Важнейшим направлением повышения качества эксплуатации транспортных сооружений является развитие и совершенствование систем технической диагностики. Мониторинг может осуществляться периодически или непрерывно. Непрерывный мониторинг состояния транспортных сооружений позволяет своевременно выявлять проблемы и обеспечивать безопасность функционирования объектов транспортной инфраструктуры. Цель мониторинга, в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и СП 274.1325800.2016 «Мосты. Мониторинг технического состояния», заключается в обеспечении безопасной эксплуатации транспортного сооружения, продлении срока службы и предотвращении аварийных ситуаций.

Мониторинг технического состояния транспортных сооружений включает комплекс мероприятий, направленных на оценку технического состояния объекта транспортной инфраструктуры и своевременное выявление дефектов, повреждений и износа элементов конструкций [4; 5]. Можно выделить несколько этапов мониторинга: предварительный этап (сбор данных, определение целей и задач, выбор методов и диагностики); обследование транспортного сооружения; обработка результатов; разработка превентивных мер, реализация технических и технологических решений по предотвращению аварийных ситуаций.

Применение традиционных способов мониторинга вызывает ряд трудностей, обусловленных технической сложностью объектов транспортного строительства, значительным объемом обрабатываемой информации, неопределённостью условий эксплуатации [6], воздействием агрессивных факторов внешней среды, необходимостью комплексного и своевременного учета большого числа изменяющихся во времени характеристик и параметров конструктивных элементов, отсутствием интеграции между техническими средствами систем автоматического мониторинга и аналитики фактического состояния сооружений.

Более того, применение известных статических моделей оценки состояния оказывается недостаточным ввиду существенного увеличения объема вычислительной информации и ее динамики, невозможности адекватного описания сложных взаимосвязей отдельных параметров состояния конструктивных элементов с состоянием транспортного сооружения в целом, задержки в принятии решений на выполнение ремонтно-восстановительных работ. Естественным выходом из сложившейся ситуации является создание систем искусственного интеллекта,

включающих технические средства диагностики и информационно-аналитические модели автоматической обработки данных для оперативного, достоверного мониторинга состояния транспортных сооружений и обеспечения их безопасной эксплуатации [7, 8]. Целью данной статьи является разработка методологического подхода к построению информационно-аналитической модели идентификации состояния транспортных сооружений с применением технологий искусственного интеллекта, позволяющих современно обрабатывать большие массивы данных и принимать оптимальные решения по обеспечению требуемого качества содержания и ремонтов транспортных сооружений.

Общие принципы построения информационно-аналитической модели идентификации состояния транспортных сооружений целесообразно рассмотреть на примере наиболее массовых объектов транспортного строительства — автодорожных мостах. Возможными причинами возникновения повреждений и дефектов автодорожных мостов являются: ошибки в проектной документации; использование некачественных строительных материалов, изделий и конструкций; нарушение технологии производства работ при строительстве сооружения; нарушение сроков контроля при эксплуатации сооружения; некачественное содержание сооружения; сейсмические воздействия; естественный износ строительных материалов, используемых при строительстве и ремонте сооружения; размывание грунта у опор моста; повреждения, вызванные нарушением правил дорожного движения; непредвиденные обстоятельства [9; 10]. Повреждения и дефекты, обусловленные вышеуказанными причинами, характеризуются низкой степенью влияния на эксплуатационные характеристики сооружения и длительным латентным периодом обнаружения, что в свою очередь приводит к постепенному снижению расчетной несущей способности сооружения.

Оценка качества моста и его эксплуатации основана на определении степени соответствия параметров технического состояния транспортно-эксплуатационным (техническим) характеристикам мостового сооружения. В случае ненадлежащего выполнения мероприятий по содержанию мостового сооружения возникает преждевременный износ конструктивных элементов, что является причиной сокращения срока службы эксплуатируемого сооружения и возможных аварий [11; 12]. Для предотвращения отклонений параметров технического состояния мостового сооружения от нормативных значений необходимо осуществлять контроль параметров с применением технологического оборудования и средств автоматического контроля и своевременно выполнять работы по их восстановлению.

Материалы и методы

Существующие методы мониторинга транспортных сооружений варьируются от простых визуальных осмотров до высокотехнологичных автоматизированных систем с использованием беспилотных летательных аппаратов и систем искусственного интеллекта [13; 14]. Преимущества и недостатки методов сведены в таблице 1.

Недостаточная эффективность существующих методов мониторинга требует разработки информационно-аналитической модели идентификации технического состояния транспортных сооружений с учетом уровня и перспектив развития средств технической диагностики, теории и практики измерений, а также инфокоммуникационных технологий.

Математическая постановка задачи идентификации технического состояния мостового сооружения может быть сформулирована следующим образом.

Рассматриваемое множество параметров контроля технического состояния представляет собой некоторую выборку из совокупности параметров m ($m < M$), характерных для основных типов конструктивных элементов мостовых сооружений. Каждому качественному состоянию

T_j конструктивного элемента соответствует набор параметров M_j . Для каждого j -го качественного состояния конструктивного элемента существует множество типовых решений по обеспечению безопасной эксплуатации мостового сооружения $E = \{e_{ij}\}$, характеризующихся показателями технико-экономической эффективности e_{ij} по каждому i -му варианту решения при j -м качественном состоянии конструктивного элемента. Для идентификации параметров технического состояния конструктивных элементов мостового сооружения предусмотрено включение в состав информационно-аналитической системы автоматических средств технического диагностирования.

Таблица 1

Преимущества и недостатки методов мониторинга

Название метода	Преимущества метода	Недостатки метода
Автоматизированный мониторинг	<ul style="list-style-type: none"> — повышенная надежность; — оптимизация ресурсов; — безопасность и простота эксплуатации; — доступность оборудования; — минимизация человеческого фактора; — возможность быстрого получения актуальной информации; — раннее выявление неисправностей 	<ul style="list-style-type: none"> — высокая стоимость внедрения; — необходимость регулярного обслуживания; — проблема совместимости; — высокая квалификация специалистов; — опасность потери данных; — регулярное обновление программного обеспечения
Неавтоматизированный мониторинг	<ul style="list-style-type: none"> — простота реализации; — низкая стоимость; — отсутствие технической зависимости; — доступность оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> — высокий риск человеческого фактора; — субъективность оценки; — низкая оперативность; — высокая трудоемкость; — невозможность круглосуточного мониторинга; — низкий уровень детализации; — трудность интеграции данных; — сложность оценки состояния труднодоступных элементов

Разработано автором

Требуется: (1) оценить техническое состояние типовых элемента мостового сооружения на основе сравнения фактических параметров состояния моста с нормативными; (2) выбрать оптимальный способ выполнения ремонтных или превентивных мероприятий для обеспечения безопасной эксплуатации мостового сооружения.

Необходимо отметить, что математическая постановка задачи предусматривает включение в систему искусственного интеллекта (СИИ) трех основных элементов: технических средств диагностики [15]; алгоритмов идентификации технического состояния мостовых сооружений; информационных систем и баз данных типовых решений по содержанию и ремонту и алгоритмов выбора лучших из них в соответствии с фактическими параметрами технического состояния моста. В данной работе более детально раскрывается концептуальный подход к решению второй задачи идентификации технического состояния транспортных сооружений. При этом идентификация рассматривается как реализация типовых действий (сбор, обработка, накопление оцениваемых параметров текущего состояния контролируемых транспортных сооружений, оценка состояния) посредством технических средств автоматического контроля и алгоритмов идентификации.

Оценку технического состояния типовых элементов мостового (транспортного) сооружения на основе сравнения фактических параметров состояния моста с нормативными, предлагается осуществлять с применением методов таксономического анализа, используемых при распознавании образов в информационном моделировании [16; 17].

Исходя из этого, представим идентификацию транспортных сооружений как процесс распознавания в f -мерном пространстве параметров « y » областей и отнесения их к определенному таксону $\{T_j\}$, где j — номер таксона. Сущность задачи заключается в необходимости формирования групп таксонов [18] для контроля параметров технического состояния типового элемента мостового сооружения, а процесс идентификации предполагает сопоставление текущих (фактических или реальных) значений измеряемых и контролируемых параметров технического состояния мостового сооружения с их нормативными значениями.

Результаты и обсуждения

Представим таксон $\{T_j\}$ в матричном виде $[T_j(q_{ji}), i=1,2,\dots,f, j=1,2,\dots,y]$, где q_{ji} — нормативные значения измеряемых и контролируемых параметров технического состояния мостового сооружения:

$$T_j = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1f} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2f} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{y1} & q_{y2} & \dots & q_{yf} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для выработки эффективных управленческих решений в зависимости от состояния мостового (транспортного) сооружения необходимо учитывать конечное множество идентифицируемых состояний: например, работоспособное состояние, неработоспособное состояние, предельное состояние.

Проанализируем идентифицируемые состояния мостового сооружения; сформулируем характеристику основных таксонов, описывающих технические состояния мостового сооружения¹ и соответствующие им управленческие решения, позволяющие обеспечить безопасность эксплуатации и своевременное предотвращение аварий:

1. Предельное состояние — возникает тогда, когда хотя бы один из параметров технического состояния типового элемента мостового сооружения достигает аварийной границы и требуется принятие немедленных мер реагирования и соответствующих управленческих решений: таксон T_1 (соответствует верхней аварийной границе), а таксон T_5 (соответствует нижней аварийной границе).
2. Неработоспособное состояние — возникает тогда, когда хотя бы один из параметров технического состояния типового элемента мостового сооружения приближается к предупредительной границе и предусматривает проведение плано-предупредительных мероприятий и принятия соответствующих управленческих решений, в том числе профилактические мероприятия: таксон T_2 (соответствует верхней предупредительной границе) и таксон T_4 (соответствует нижней предупредительной границе).

¹ ОДМ 218.3.014-2011 «Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах».

3. Работоспособное состояние — все рассматриваемые параметры технического состояния типового элемента мостового сооружения находятся в пределах нормативных значений, предусматривается проведение стандартных процедур контроля и поддержание стабильного функционирования сооружения: таксон T_3 .

В результате определения ключевых параметров, характеризующих техническое состояние типовых конструктивных элементов сооружения с использованием выбранного комплекта технических средств диагностики, формируется информационно-таксономический образ контролируемого мостового сооружения. При этом необходимо ориентироваться на параметры, которые можно фактически измерить или зафиксировать с помощью подобранного состава комплекта технических средств контроля. Данные параметры зачастую имеют вероятностный характер значений, а процесс их измерения с учетом погрешности технических средств увеличивает неопределенность оценок.

Контролируемые параметры технического состояния типового элемента мостового сооружения в момент времени t представим в векторной форме: $X(t) = [x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tf}]$. Каждому из рассматриваемых параметров поставим в соответствие обобщенные диапазоны возможных значений: минимальные $\alpha_{i\min}$ и максимальные $\alpha_{i\max}$.

В соответствии с выбранными таксонами обобщенные диапазоны возможных значений представим следующим образом:

$$T_j = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\alpha_{11\min}, \alpha_{11\max}) & (\alpha_{12\min}, \alpha_{12\max}) & \dots & (\alpha_{1f\min}, \alpha_{1f\max}) \\ (\alpha_{21\min}, \alpha_{21\max}) & (\alpha_{22\min}, \alpha_{22\max}) & \dots & (\alpha_{2f\min}, \alpha_{2f\max}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (\alpha_{y1\min}, \alpha_{y1\max}) & (\alpha_{y2\min}, \alpha_{y2\max}) & \dots & (\alpha_{yf\min}, \alpha_{yf\max}) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для $m = 5$

$$\begin{aligned} x_{ii} &\in T_1, \text{ если } x_{ii} \in (\alpha_{1i\min}, \alpha_{1i\max}), \\ x_{ii} &\in T_2, \text{ если } x_{ii} \in (\alpha_{2i\min}, \alpha_{2i\max}), \\ x_{ii} &\in T_3, \text{ если } x_{ii} \in (\alpha_{3i\min}, \alpha_{3i\max}), \\ x_{ii} &\in T_4, \text{ если } x_{ii} \in (\alpha_{4i\min}, \alpha_{4i\max}), \\ x_{ii} &\in T_5, \text{ если } x_{ii} \in (\alpha_{5i\min}, \alpha_{5i\max}). \end{aligned}$$

При пересечении интервальных значений возможно появление областей дополнительной неопределенности при отнесении отдельных параметров к смежным поддиапазонам значений: $[q_{1i}, q_{2i}], [q_{2i}, q_{3i}], [q_{3i}, q_{4i}], [q_{4i}, q_{5i}]$.

При вероятностном подходе и использовании «У» таксонов оцениваются функции $f_i(x)$ плотности вероятностей усеченных распределения значений параметров x_{ii} в обобщенных диапазонах $(\alpha_{i\min}, \alpha_{i\max})$:

$$\int_{\alpha_{i\min}}^{\alpha_{i\max}} f_i(x) dx = 1 \quad (3)$$

В границах диапазонов соответствующих таксонов определим координаты абсцисс медиан распределений значений параметров x_{ii} :

$$\int_{\rho_{ji \min}}^{\rho_{ji \text{ med}}} f_i(x) dx = \int_{\rho_{ji \text{ med}}}^{\alpha_{ji \max}} f_i(x) dx \text{ при } \alpha_{li \min} = \alpha_{i \min}, \alpha_{yi \max} = \alpha_{i \max}. \quad (4)$$

Чтобы установить принадлежность параметра x_{ii} таксону T_j необходимо проанализировать условие:

$$\alpha_{ji \min} \leq x_{ii} \leq \alpha_{ji \max}. \quad (5)$$

Количественная оценка меры сходства результатов измерений с соседними поддиапазонами $q_{(j-1)i}$, q_{ji} , $q_{(j+1)i}$ [17] обеспечивает выбор эффективных решений в зоне дополнительной неопределенности по параметру x_{ii} без учета статистических взаимосвязей между параметрами вектора $X(t)$.

Рассмотрим два возможных варианта:

1. применение метрики Евклида ε_{ji} [19]:

$$x_{ii}(\varepsilon_{ki}) \in q_{ki}, \text{ если } \varepsilon_{ki}^2 = \min \left\{ \frac{(\rho_{ji \text{ med}} - x_{ii})^2}{\sigma_{ii}^2} \right\}, \quad (6)$$

где:

$$j, k = 1, 2, 3, 4, 5;$$

x_{ii} — контролируемый параметр технического состояния типового элемента мостового сооружения;

σ_{ii} — среднеквадратическое отклонение (погрешность измерения) контролируемого параметра технического состояния типового элемента мостового сооружения x_{ii} ;

$\rho_{ji \text{ med}}$ — координаты медианных центров таксонов S_j ;

k — номер таксона, к которому принадлежит текущее значение x_{ii} .

2. Применение метрики Хемминга χ_{ji} [20], если погрешность измерений σ_{ii} не зависит от момента времени t :

$$x_{ii}(\chi_{ki}) \in q_{ki}, \text{ если } \chi_{ki} = \min \left\{ \left| \rho_{ji \text{ med}} - x_{ii} \right| \right\}, \quad (7)$$

где:

$$j, k = 1, 2, 3, 4, 5;$$

x_{ii} — контролируемый параметр технического состояния типового элемента мостового сооружения;

$\rho_{ji \text{ med}}$ — координаты медианных центров таксонов S_j ;

k — номер таксона, к которому принадлежит текущее значение x_{ii} .

Таким образом, любое зафиксированное значение параметра технического состояния мостового сооружения x_{ii} может быть однозначно сопоставлено одному из пяти рассмотренных таксонов T_j .

Выделим «У» дискретных областей микросостояний возможного расположения вектора $X(t)$, которым ставятся в соответствие таксоны макросостояний T_j : нейтральная зона, наиболее предпочтительная зона, недопустимая зона. При этом точки $\{\rho_{ji\ med}\}$ соответствуют абсциссам медиан распределений значений параметров x_{ii} внутри поддиапазонов $(\alpha_{ji\ min}; \alpha_{ji\ max})$. Для учета статистических взаимосвязей между значениями компонент вектора $X(t)$ необходимо проведение предварительного системного статистического анализа их изменений во времени с использованием выборок из L значений в дискретные моменты времени t и построение матрицы парной ковариации:

$$COV(x_i, x_e) = \|K_{ie}\|, \text{ где } i, e = 1, 2, \dots, f, \quad (8)$$

$$K_{ie} = \frac{\left[\sum_{h=1}^L (x_{t_h i} - M_{x_i}) \cdot (x_{t_h e} - M_{x_e}) \right]}{L-1}, \quad (9)$$

$$M_{x_i} = \frac{\sum_{h=1}^L x_{t_h i}}{L}, \quad (10)$$

$$M_{x_e} = \frac{\sum_{h=1}^L x_{t_h e}}{L}, \quad (11)$$

где:

L — количество периодов времени;

t_h — номер периода времени.

Для оценки принадлежности вектора $X(t)$ макросостоянию T_j воспользуемся метрикой Евклида, если не требуется учет статистических связей между параметрами, либо метрикой Махаланобиса μ_j [19]:

$$X(t, \mu_j) \in T_j, \quad (12)$$

$$\text{если } \mu_j^2 = \min \left\{ [X(t) - MED(j, X)] [COV(x_i, \rho_{ji\ med})] [X(t) - MED(j, X)]^T \right\}, \quad (12)$$

$$\left\{ MED(j, X) = \left\| \rho_{j1\ med}, \rho_{j2\ med}, \rho_{j3\ med}, \dots, \rho_{ji\ med}, \dots, \rho_{jf\ med} \right\| \right\}, \quad (13)$$

$$COV(x_i, \rho_{ji\ med}) \approx COV(x_i, x_e), \quad (14)$$

где:

μ_j^2 — квадрат расстояния Махаланобиса;

$MED(j, X)$ — векторы медиан классификационных интервалов параметров.

Таковы основные теоретические аспекты идентификации технического состояние типовых элементов мостового сооружения на основе технологий искусственного интеллекта.

Что касается решения второй задачи разработки информационно-аналитической модели, заключающейся в оптимизации выбора превентивных мероприятий $E = \{e_{ij}\}$ для обеспечения безопасной эксплуатации мостового сооружения, то для ее решения предлагается применять методы линейной оптимизации. При этом в качестве коэффициентов целевой функции могут быть приняты интегральные оценки технико-экономических показателей искомых технических решений, а в качестве ограничений — характеристики ресурсного обеспечения.

Заключение

Предлагаемый подход к разработке информационно-аналитической модели идентификации состояния транспортных сооружений, позволяет создавать информационный образ объекта, соответствующий уровню его технического состояния. Наличие такого образа обеспечивает возможность выбора решений по восстановлению параметров конструктивных элементов сооружений из подготовленных баз типовых решений. Информационно-аналитическая модель идентификации состояния транспортных сооружений является необходимой аналитической и информационной компонентой систем искусственного интеллекта технической диагностики транспортных сооружений. Модель, интегрированная в систему искусственного интеллекта, аналитически обрабатывает большие объемы информации, поступающей от технических средств диагностики, оценивает и прогнозирует состояния транспортного сооружения, а также выбирает оптимальные решения по обеспечению его безопасной эксплуатации. Для идентификации технического состояния транспортного сооружения целесообразно сформировать информационно-таксономический образ эксплуатируемого транспортного сооружения путем отображения фактических параметров его прочности и деформативности (оценка текущих значений измеряемых и контролируемых параметров). При этом необходимо контролировать и идентифицировать параметры, которые можно фактически измерить или зафиксировать методами неразрушающего контроля. Применение информационно-аналитической модели обеспечивает решение задачи идентификации технического состояния транспортного сооружения и выбора оптимальных видов работ по его ремонту и содержанию в автоматическом режиме. Оценка технического состояния осуществляется методами таксономического анализа с учетом возможных статистических взаимосвязей между контролируемыми параметрами конструктивных элементов, техническим состоянием сооружения его множеством его информационных образов (сравнение фактических параметров состояния транспортного сооружения с конечным множеством идентифицируемых состояний: работоспособное состояние — таксон T_3 , неработоспособное состояние — таксоны T_2 и T_4 , предельное состояние — таксон T_1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аль-Жанаби, М.А. Разработка модели оценки технического состояния Багдадских мостов / М.А. Аль-Жанаби // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2024. — Т. 14, № 2(49). — С. 292–300. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67968047>. — DOI: [10.21285/2227-2917-2024-2-292-300](https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-292-300). — EDN: [FLIXLV](https://www.edn.ru/FLIXLV) (дата обращения: 17.02.2026).
2. 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. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82613656>. — EDN: [CHFXXR](https://www.edn.ru/CHFXXR) (дата обращения: 17.02.2026).

3. Алгоритм математической модели для оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных мостовых сооружений / У.З. Шермухамедов, А.А. Белый, М.М. Собилова, Ш.Ш. Кадирова // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2025. — Т. 22, № 1. — С. 196–205. — URL: <https://izvestiapgups.editorum.ru/en/nauka/article/96398/view>. — DOI: [10.20295/1815-588X-2025-1-196-205](https://doi.org/10.20295/1815-588X-2025-1-196-205). — EDN: [GVDCEK](https://edn.ru/GVDCEK) (дата обращения: 17.02.2026).
4. Нигаматова, О.И. Мониторинг транспортных сооружений / О.И. Нигаматова, И.Г. Овчинников // Инновационный транспорт. — 2015. — № 1(15). — С. 30–34. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23144667>. — EDN: [TMMISZ](https://edn.ru/TMMISZ) (дата обращения: 17.02.2026).
5. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 1. Международный и отечественный опыт применения мониторинга / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, О.И. Нигаматова, Е.С. Михалдыкин // Транспортные сооружения. — 2014. — Т. 1, № 1(1). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25782191>. — EDN: [VSEZJH](https://edn.ru/VSEZJH) (дата обращения: 17.02.2026).
6. Гура, Д.А. Разработка концепции интеллектуального блока обработки данных в системе мониторинга мостов с применением сканирующих технологий / Д.А. Гура, Ю.В. Дубенко, И.Г. Марковский // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2020. — № 2(54). — С. 14–24. — URL: <https://izvuz.tn.eng.pnzgu.ru/tn2220>. — DOI: [10.21685/2072-3059-2020-2-2](https://doi.org/10.21685/2072-3059-2020-2-2). — EDN: [BGAVXP](https://edn.ru/BGAVXP) (дата обращения: 17.02.2026).
7. Кашеварова, Г.Г. "Искусственный интеллект", или "логические рассуждения и разумные решения" в технической диагностике объектов строительства / Г.Г. Кашеварова // Academia. Архитектура и строительство. — 2023. — № 4. — С. 166–180. — URL: <https://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/558>. — DOI: [10.22337/2077-9038-2023-4-166-180](https://doi.org/10.22337/2077-9038-2023-4-166-180). — EDN: [SYDNNW](https://edn.ru/SYDNNW) (дата обращения: 17.02.2026).
8. Федорова, Д.В. Использование технологий искусственного интеллекта в строительстве: современные тенденции и перспективы развития / Д.В. Федорова // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16, № 3. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=69154905>. — EDN: [YVENTG](https://edn.ru/YVENTG) (дата обращения: 17.02.2026).
9. Кузнецова, С.В. Причины аварий мостовых сооружений на территории РФ и стран СНГ / С.В. Кузнецова, А.В. Козлов // Дороги и мосты. — 2018. — № 1(39). — С. 16. — URL: https://rosdornii.ru/upload/iblock/30d/kwse3bjplz1dx4maj9od4ufsqrlqt4mz/16_PRICHINY_AVARIY_MOSTOVYKH_SOORUZHENIY_NA_TERRITORIY_RF_I_STRAN_SNG.pdf. — EDN: [YXTZUL](https://edn.ru/YXTZUL) (дата обращения: 17.02.2026).
10. Серых, И.Р. Определение технического состояния железнодорожного моста / И.Р. Серых, Е.В. Чернышева, А.Н. Дегтярь // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2020. — № 4. — С. 32–39. — URL: <https://bulletinbstu.editorum.ru/en/nauka/article/36292/view>. — DOI: [10.34031/2071-7318-2020-5-4-32-39](https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-4-32-39). — EDN: [MYYIHB](https://edn.ru/MYYIHB) (дата обращения: 17.02.2026).
11. Практика применения автоматизированной системы мониторинга строительных конструкций транспортных сооружений / В.Г. Пастушков, А.Н. Вайтович, О.В. Костюкович, Л.В. Янковский // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2021. — № 4. — С. 77–90. — URL:

- <https://elibrary.ru/item.asp?id=47497602>. — DOI: [10.15593/24111678/2021.04.09](https://doi.org/10.15593/24111678/2021.04.09). — EDN: [NMQEDU](https://elibrary.ru/edn/NMQEDU) (дата обращения: 17.02.2026).
12. Архипова, Е.Д. Анализ аварий мостовых сооружений, вызванных прогрессирующим разрушением / Е.Д. Архипова, И.Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2024. — Т. 11, № 4. — URL: <https://t-s.today/06SATS424.html>. — DOI: [10.15862/06SATS424](https://doi.org/10.15862/06SATS424). — EDN: [ELSFKI](https://elibrary.ru/edn/ELSFKI) (дата обращения: 17.02.2026).
 13. Гура, Д.А. Мониторинг объектов транспортной инфраструктуры с применением сканирующих технологий / Д.А. Гура, Ю.В. Дубенко, И.Г. Марковский // Технологии техносферной безопасности. — 2020. — № 2(88). — С. 74–86. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43779707>. — DOI: [10.25257/TTS.2020.2.88.74-86](https://doi.org/10.25257/TTS.2020.2.88.74-86). — EDN: [CIAPQD](https://elibrary.ru/edn/CIAPQD) (дата обращения: 19.02.2026).
 14. Сластин, С.В. Современные подходы к контролю качества работ при строительстве мостов / С.В. Сластин, А.Н. Маринин // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17, № 2. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82635273>. — EDN: [VRVQOV](https://elibrary.ru/edn/VRVQOV) (дата обращения: 19.02.2026).
 15. Петроченко, М.В. Концептуальный подход к обоснованию состава и структуры интеллектуальных систем технической диагностики транспортных сооружений / М.В. Петроченко // Инновации и инвестиции. — 2026. — № 1. — С. 499–503. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=88966770>. — EDN: [YBDSJP](https://elibrary.ru/edn/YBDSJP) (дата обращения: 24.02.2026).
 16. Неизвестный, С.И. О применении таксономии в области информационных технологий / С.И. Неизвестный // Сетевой электронный журнал "Транспортные системы и технологии". — 2016. — Т. 2, № 1. — С. 89–111. — URL: <https://journals.eco-vector.com/transsyst/article/view/7586>. — DOI: [10.17816/transsyst20162189-111](https://doi.org/10.17816/transsyst20162189-111). — EDN: [VVFTIZ](https://elibrary.ru/edn/VVFTIZ) (дата обращения: 17.02.2026).
 17. Гулай, А.В. Синтез таксономической схемы для идентификации состояний сложных систем / А.В. Гулай, В.М. Зайцев // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2019. — № 2. — С. 84–90. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38303578>. — DOI: [10.14357/20718594190208](https://doi.org/10.14357/20718594190208). — EDN: [ZXFVCJ](https://elibrary.ru/edn/ZXFVCJ) (дата обращения: 17.02.2026).
 18. Паршин, Ю.Н. Таксономический анализ энергоэффективной системы передачи информации ИОТ / Ю.Н. Паршин, А.Ю. Паршин, М.В. Грачев // Цифровая обработка сигналов. — 2022. — № 4. — С. 45–49. — URL: http://www.dspa.ru/articles/year2022/jour22_4/art22_4_5.pdf. — EDN: [OAVCUV](https://elibrary.ru/edn/OAVCUV) (дата обращения: 17.02.2026).
 19. Khachumov M.V. Distances, metrics and cluster analysis / M.V. Khachumov // Scientific and Technical Information Processing. — 2012. — Т. 39, № 6. — С. 310–316. — URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/S0147688212060020>. — DOI: [10.3103/S0147688212060020](https://doi.org/10.3103/S0147688212060020). — EDN: [RQLQNL](https://elibrary.ru/edn/RQLQNL) (дата обращения: 17.02.2026).
 20. Khachumov M.V. Models of the representation and clustering of semistructured information / M.V. Khachumov // Scientific and Technical Information Processing. — 2015. — Т. 42, № 5. — С. 388–396. — URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/S0147688215050135>. — DOI: [10.3103/S0147688215050135](https://doi.org/10.3103/S0147688215050135). — EDN: [WRTVXH](https://elibrary.ru/edn/WRTVXH) (дата обращения: 17.02.2026).

Petrochenko Marina Vyacheslavovna

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: petrochenko_mv@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4865-5319>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=589472

Information and analytical model for identifying the condition of transport facilities using artificial intelligence systems

Abstract. The problem of increasing durability, safety of operation, as well as the quality of maintenance of transport facilities is becoming increasingly relevant. According to statistics, the number of accidents and destruction of bridge structures on highways has increased in recent decades. The effectiveness of solving this problem largely depends on the quality of monitoring, which makes it possible to ensure the safe operation of a transport facility and prevent emergencies. The article is devoted to the development of an information and analytical model for identifying the technical condition of transport facilities, created to select solutions for timely repair and restoration work in order to improve the safety of operation of transport construction facilities. The general structure, algorithm and principles of application of the information and analytical model for identifying the condition of transport structures are considered on the example of highway bridges, the condition of the structural elements of which varies over time and can reach a critical level to ensure traffic safety. The essence of the model is that it is based on the use of artificial intelligence technologies that make it possible to form a real information and taxonomic image of the technical condition of a transport facility and offer technical solutions to prevent emergencies. To build the intellectual framework of the information and analytical model, the author applies the methods of taxonomic analysis and mathematical programming. The model is based on the possibility of identifying controlled parameters in real time by automatic means of technical diagnostics, comparing the actual parameters of the bridge structure with the normative ones; comparing the current state of the transport structure with a mathematically formalized finite set of identifiable states; optimizing the choice of effective technical and technological solutions for performing repair and restoration work from the generated database. The proposed information and analytical model will make it possible to identify defects in structural elements in a timely manner, minimize the risk of an emergency, justify the list of restoration work, and ensure the safe operation of transport facilities.

Keywords: artificial intelligence; identification; transport structure; bridge structure; technical condition; technical means of automatic control; taxonomic analysis