

Научная статья
УДК 624.21:004.9
doi:10.52170/1815-9265_2026_81_33

Применение нейросетей при эксплуатации инженерных сооружений

Иван Владимирович Чаплин^{1✉}, Ян Владимирович Тонкушин², Сергей Анатольевич Бахтин³,
Сергей Иванович Герасимов⁴, Стефан Васильевич Ефимов⁵

1, 2, 3, 4, 5 Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ ivannumber1_chaplin@mail.ru✉

² tonkushin.ian@mail.ru

³ bsa-stu@yandex.ru

⁴ 912267@gmail.com

⁵ esvmt@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены актуальные разработки по применению искусственных нейронных сетей (ANN – Artificial Neural Network) и технологий машинного зрения при эксплуатации инженерных сооружений, с акцентом на идентификацию дефектов при обследовании мостовых конструкций. Научные изыскания направлены на поиск наиболее подходящей методологии для упрощения и повышения качества процесса обследования, а также архитектуры нейросети. Проведен анализ отечественных и зарубежных исследований, посвященных автоматическому выявлению дефектов строительных конструкций с использованием сверточных нейронных сетей (CNN – Convolutional Neural Network), алгоритмов YOLO (You Only Look Once), методов AutoML (Automated Machine Learning) и программно-аппаратных комплексов на базе беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрены преимущества и недостатки существующих решений, связанные с зависимостью качества распознавания от объема обучающей выборки, условий съемки, сложности локализации малоконтрастных дефектов и необходимости дополнительного вовлечения в процесс инженерной интерпретации результатов. Выполнена систематизация существующих подходов к идентификации дефектов, а также выделены положительные и отрицательные элементы инструментов в системах машинного зрения для перспективного их учета при создании модуля для обследования мостов. Сделан вывод о перспективности внедрения нейросетевых технологий в практику обследования инженерных сооружений при условии формирования специализированных обучающих выборок и проведения независимой проверки точности моделей. Наличие мощного нейросетевого инструмента для обследования мостовых конструкций, обученного на конкретных примерах мостовой сферы инженерами, позволит упростить обследование и увеличить количество оцениваемых сооружений за единицу времени одной бригадой. В заключение предложен для дальнейшего исследования многоэтапный подход, включающий распознавание конструктивных элементов, обнаружение и классификацию дефектов, а также последующую инженерную верификацию результатов.

Ключевые слова: нейронные сети, обследование, мостовые сооружения, конструкции, машинное зрение, ANN, CNN

Для цитирования: Применение нейросетей при эксплуатации инженерных сооружений / И. В. Чаплин, Я. В. Тонкушин, С. А. Бахтин, С. И. Герасимов, С. В. Ефимов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 4 (81), спецвыпуск. С. 33–43. DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_33.

Original article

The application of neural networks in the operation of engineering structures

Ivan V. Chaplin^{1✉}, Yan V. Tonkushin², Sergey A. Bakhtin³, Sergey I. Gerasimov⁴,
Stefan V. Efimov⁵

1, 2, 3, 4, 5 Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ ivannumber1_chaplin@mail.ru✉

² tonkushin.ian@mail.ru

³ bsa-stu@yandex.ru

⁴ 912267@gmail.com

⁵ esvmt@mail.ru

Abstract. The article discusses current developments in the use of artificial neural networks (ANN – Artificial Neural Network) and machine vision technologies in the operation of engineering structures, with an emphasis on

the identification of defects in the examination of bridge structures. Scientific research is aimed at finding the most appropriate methodology to simplify and improve the quality of the survey process, as well as the architecture of the neural network. The analysis of domestic and foreign studies devoted to the automatic detection of defects in building structures using convolutional neural networks (CNN – Convolutional Neural Network), YOLO (You Only Look Once) algorithms, AutoML (Automated Machine Learning) methods and software and hardware complexes based on unmanned aerial vehicles. The advantages and disadvantages of existing solutions related to the dependence of recognition quality on the size of the training sample, shooting conditions, the difficulty of locating low-contrast defects and the need for additional involvement in the process of engineering interpretation of the results are considered. The existing approaches to defect identification have been systematized, and the positive and negative elements of tools in machine vision systems have been identified for their prospective consideration when creating a module for bridge inspection. The conclusion is made about the prospects of introducing neural network technologies into the practice of surveying engineering structures, provided that specialized training samples are formed and the accuracy of the models is independently verified. The availability of a powerful neural network tool for examining bridge structures, trained by engineers on specific examples of the bridge sphere, will simplify the survey and increase the number of structures evaluated per unit of time by one team. In conclusion, a multi-stage approach is proposed for further research, including the recognition of structural elements, the detection and classification of defects, as well as subsequent engineering verification of the results.

Keywords: neural networks, survey, bridge structures, structures, machine vision, ANN, CNN

For citation: Chaplin I. V., Tonkushin Ya. V., Bakhtin S. A., Gerasimov S. I., Efimov S. V. The application of neural networks in the operation of engineering structures. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(81):33–43. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_81_33.

Введение

В Российской Федерации последовательно формируется нормативно-правовая и методическая база, обеспечивающая контроль за внедрением технологий искусственного интеллекта в различные сферы деятельности. Для инженерных приложений особое значение имеют документы, регламентирующие требования к системам искусственного интеллекта, их классификации, оценке качества, процессам жизненного цикла и др. [1–8].

Сформированные подходы создают основу и для применения интеллектуальных технологий при эксплуатации объектов строительной и транспортной инфраструктуры, где приоритетными остаются достоверность результатов, воспроизводимость процедур оценки и снижение эксплуатационных рисков. При обследовании мостовых сооружений необходимо выполнять периодическую диагностику состояния конструкций [9], однако на практике балансодержатели нередко сталкиваются с дефицитом кадровых и временных ресурсов. В этих условиях использование нейросетевых алгоритмов представляет практический интерес, поскольку в смежных областях они уже зарекомендовали себя как высокопроизводительный инструмент обработки изображений и классификации визуальных признаков [10]. Вместе с тем перенос таких решений в сферу мостовой диагностики требует учета отраслевой специфики и повышенных требований к надежности сделанных алгоритмами выводов.

Целью настоящей работы является анализ существующего опыта применения нейронных сетей и методов машинного зрения для идентификации дефектов строительных конструкций, с определением их достоинств и недостатков, а также с последующим учетом данных сведений при составлении собственной системы для идентификации дефектов конструкций мостовых сооружений.

Материалы и методы исследования

В работе рассматриваются и анализируются источники, в которых описаны способы распознавания дефектов по изображениям, классификации и сегментации повреждений и обработки визуальных данных. Особое внимание уделяется исследованиям, где анализируются повреждения бетонных, металлических и железобетонных конструкций, поскольку подобные материалы наиболее распространены на мостовых сооружениях.

Отдельно фиксируются ограничения, характерные для существующих решений. В зависимости от имеющихся сведений в анализируемых статьях, к ним относятся связь качества распознавания от объема и полноты обучающих данных, сложность разметки изображений (выделении дефектов на изображения для последующего обучения системы), влияние освещенности, ракурса и масштаба съемки, а также вероятность ошибочного определения малозаметных или частично перекрытых дефектов и др. факторы.

Дальнейшее исследование будет направлено на критическое обобщение и синтез с

учетом выявленных преимуществ и недостатков при формировании собственной системы машинного зрения для выявления и классификации дефектов конструктивных элементов мостовых сооружений.

Результаты исследования

Технологии с применением искусственного интеллекта активно внедряются в задачи визуального контроля строительных конструкций. Например, в НГТУ студентом была представлена нейронная модель для идентификации трещин в бетоне [11]. Авторам удалось добиться точности идентификации порядка 95 %. Однако в открытых источниках не сообщается, в каких условиях проводилась проверка разработанной технологии, что ставит вопрос ее применения в практике.

Разработку близкого направления ведут исследователи ПНИПУ применительно к фасадам кирпичных зданий [12]. В указанной работе задача идентификации трещин рассматривается с использованием сверточной нейронной сети (CNN). Авторы отмечают, что качество распознавания снижается при наличии трещин малого раскрытия, посторонних предметов, сложного фона, неоднородного цвета поверхности и ограниченной доступности отдельных участков для съемки.

Полученное значение средней точности (IoU) на уровне около 26 % указывает на недостаточную обобщающую способность модели при исходном объеме данных. Одной из причин может быть ограниченность обучающей выборки, включавшей около 800 изображений. Для повышения устойчивости таких моделей целесообразно использовать аугментацию данных, позволяющую искусственно расширить выборку за счет геометрических, фотометрических и шумовых преобразований изображений [13].

Еще одним инструментом повышения качества идентификации объектов является применение переноса обучения и последующего дообучения модели на специализированных данных. Эффективность данного подхода объясняется тем, что ранние слои сверточных нейронных сетей формируют общие визуальные признаки, пригодные для переноса между задачами, а более глубокие слои адаптируются к целевой предметной области [13, 14]. Для мостовых сооружений это означает, что универсальные мо-

дели распознавания изображений могут использоваться только как исходная основа, но не как готовое инженерное решение без дообучения на мостовых дефектах.

Отдельное направление представляют исследования, где решение по идентификации в рамках диагностики формализуется не как непосредственное распознавание дефекта на изображении, а как классификация технического состояния по заранее выделенным признакам. Так, в работе С. А. Крылова и Г. Г. Кашеваровой [15] оценка состояния наружных стен кирпичных зданий рассмотрена как задача многоклассовой классификации: по совокупности 18 диагностических признаков определялась одна из четырех категорий технического состояния в соответствии с нормативной классификацией.

Сильной стороной рассматриваемой работы является сравнительный характер экспериментальной части: авторы не ограничились построением одной модели, а выполнили сопоставление нескольких алгоритмов, включая Random Forest, GaussianNB, нейросетевые модели с оптимизаторами Adam и AdamW, а также AutoGluon как инструмент AutoML. Наиболее рациональным по результатам тестирования был признан подход на основе AutoGluon, обеспечивший точность порядка 76–77 % на тестовой выборке [15].

В таком подходе с инженерной точки зрения важным является характер ошибок: модель, как правило, относит объект к близкой категории состояния, а не к неопределенному классу. Это снижает риск грубого искажения итоговой оценки, однако не устраняет необходимость экспертной проверки. Основное ограничение такого подхода заключается в том, что модель работает с уже формализованными признаками, следовательно, автоматизация остается частичной и зависит от качества предварительного экспертного описания объекта.

Для мостовой диагностики подобная схема может быть полезна как вспомогательный уровень классификации после этапа визуального обнаружения дефектов. Однако она не решает задачу автоматического выделения поврежденных на изображении и не заменяет систему машинного зрения, способную связывать визуальные признаки с конкретными конструктивными элементами.

Для задач оперативного обнаружения дефектов особый интерес представляют детекторы семейства YOLO, поскольку они обеспечивают высокую скорость обработки изображений и могут быть интегрированы в прикладные системы мониторинга. В зарубежной работе J. Zhang, Z. V. Beliaeva и Y. Huang [16] предложена модифицированная версия YOLOv8n для автоматического обнаружения трещин на цифровых изображениях строительных конструкций.

Авторы использовали модуль внимания SimAM, блоки C3Ghost для снижения вычислительной сложности и механизм многомасштабного слияния признаков Concat_BiFPN, ориентированный на распознавание мелких и мало-контрастных трещин. По результатам экспериментов усовершенствованная модель достигла значения средней точности на уровне 88,7 % при одновременном уменьшении числа параметров и вычислительной нагрузки по сравнению с базовой YOLOv8n [16].

Достоинством такого решения является баланс между точностью и вычислительной эффективностью. Это особенно важно для обработки больших массивов изображений, полученных при обследовании протяженных или сложных объектов. Вместе с тем для мостовых сооружений сохраняются ограничения, связанные с неоднородностью материалов, затенением элементов, изменением масштаба съемки, загрязнением поверхности и необходимостью различать дефекты, имеющие близкие визуальные признаки, но различную инженерную значимость.

Необходимо отметить еще один важный программный инструмент. AutoML (автоматизированное машинное обучение) представляет собой подход, при котором часть этапов построения модели выполняется автоматически, включая выбор алгоритма, подбор гиперпараметров, обучение нескольких моделей и их сравнительную оценку. Для задач диагностики строительных и мостовых конструкций такие подходы представляют интерес как средство выбора наиболее эффективного алгоритмического решения при наличии подготовленной обучающей выборки.

Такой алгоритм был использован в исследовании L. Ferreira, A. Pilastri, C. M. Martins,

P. M. Pires и P. Cortez в статье [17]. В ней приведены результаты сравнительного тестирования восьми общедоступных инструментов AutoML, включая Auto-Keras, Auto-PyTorch, Auto-Sklearn, AutoGluon, H2O AutoML, rminer, TPOT и TransmogriAI, на 12 наборах данных OpenML, охватывающих задачи регрессии, бинарной и многоклассовой классификации. Полученные результаты показали, что универсальные AutoML-инструменты в ряде случаев обеспечивают качество, сопоставимое с существующими решениями, что подтверждает эффективность автоматизации выбора модели и настройки ее параметров.

Вместе с тем применительно к задачам диагностики мостовых сооружений использование AutoML не устраняет ключевые ограничения, связанные с качеством исходных данных. Даже оптимально подобранная модель не компенсирует недостаточную полноту обучающей выборки, ошибки разметки, дефицит редких типов дефектов или несоответствие обученных данных реальным условиям эксплуатации (цвету, ракурсу, индивидуальным условиям проявления и др.).

Наряду с научными публикациями значимый интерес представляют прикладные разработки, ориентированные на использование машинного зрения в реальных условиях обследования. В таких работах, как правило, используются различные подходы на основе CNN и YOLO, которые являются уникальными в каждой разработке и не разглашаются авторами. Описание некоторых российских систем приведено ниже.

В открытых официальных источниках описана апробация программно-аппаратного комплекса, разработанного ФНПЦ АО «НПО «Марс», при диагностике мостового сооружения с использованием беспилотного летательного аппарата [18]. Согласно сообщению ФАУ «РОСДОРНИИ», комплекс включает БПЛА с функциями фото- и видеосъемки (рис. 1), программное обеспечение, применяющее нейросетевые технологии для анализа массива изображений и выявления дефектов и повреждений конструкций. Дополнительно в открытых реестровых источниках подтверждается наличие зарегистрированного программного обеспечения «Распознавание де-

фектов и повреждений металлических и железобетонных конструкций» [19]. На текущем этапе данную разработку корректно рассматривать как апробируемый инженерный программно-аппаратный комплекс, а не как полноценно опубликованное исследование с верифицированными научными метриками.

В ООО НТЦ «Транскор-К» ведутся активные разработки по автоматической идентификации дефектов на подводной части опор мостов [20]. В открытых источниках подтверждается наличие зарегистрированного программного решения ООО «Транскор-Сервис», предназначенного для автоматизированной обработки фото- и видеоматериалов обследования бетонных и каменных опор мостов [21]. Согласно пользовательской документации [22], модуль искусственного интеллекта обеспечивает обнаружение дефектов опор мостов по видеоряду. Однако научные публикации, содержащие описание экспериментальной базы и количественные показатели точности, в открытом доступе не об-

наружены, поэтому данная разработка характеризуется как прикладное инженерное решение, а не как полноценно верифицированное научное исследование.

Среди отечественных цифровых решений уместно отметить программный комплекс Structura [23], ориентированный на автоматизацию технического обследования и выявление дефектов по визуальным данным (рис. 2). Отдельный интерес представляют материалы Structura, связанные с локализацией дефектов на облаке точек и формированием 3D-карты повреждений, что показывает переход от простой фотофиксации к пространственно-привязанной диагностике. Недостатком данного приложения является необходимость предварительной сортировки фотографий по их месторасположению на объекте.

В открытых источниках представлена информация о разработках ГК «Самолет» (рис. 3), известных как S.Monitoring (для внешнего рынка – Viju; позднее – AI Monitoring), пред-



Рис. 1. Квадрокоптер, используемый компанией ФНПЦ АО «НПО «Марс»» [18]



Рис. 2. Разработка компании Neimaker «Structure» с нейросетевым модулем [23]

ставляет собой систему предиктивной аналитики монолитных работ, использующую распознавание видеопотока с камер, установленных на башенных кранах и вблизи строящихся корпусов [24]. Функционал системы включает онлайн-подсчет объема выполненных работ, выявление простоев и их причин, прогнозирование сроков завершения работ и рисков, а также фиксацию нарушений требований охраны труда, включая отсутствие каски, жилета и страховочных средств. Согласно опубликованным сведениям ГК «Самолет», применение системы сопровождалось сокращением цикла монолитных работ, снижением простоев и улучшением показателей безопасности труда; вместе с тем указанные эффекты представлены в формате корпоративной отчетности и отраслевых публикаций, а не независимой экспериментальной валидации.

В компании ОАО «РЖД» с 2022 г. ведутся разработки в области применения искусствен-

ного интеллекта. В рамках Концепции [25] проект достиг второго этапа внедрения, что подтверждается запуском и развитием решения, выполняющего конкретные технологические задачи. С 2024 г. проводится обследование мостовых сооружений с использованием противоударных БПЛА для выявления дефектов. На данном этапе осуществляется апробация инструментов, однако, как отмечает автор, сохраняется высокий уровень ошибок, поэтому требуется обязательный человеческий контроль выходных данных [26].

Также следует отметить разработки компании Bridge-IT. На официальном сайте компании указано, что ее специалисты под руководством А. А. Ращепкина разрабатывают инженерное программное обеспечение для объектов транспортной инфраструктуры – БИТ.Визор (рис. 4), позиционируется как инструмент поддержки диагностических обследований мостовых кон-



Рис. 3. Разработка компании ГК «Самолет» S.Monitoring [24]

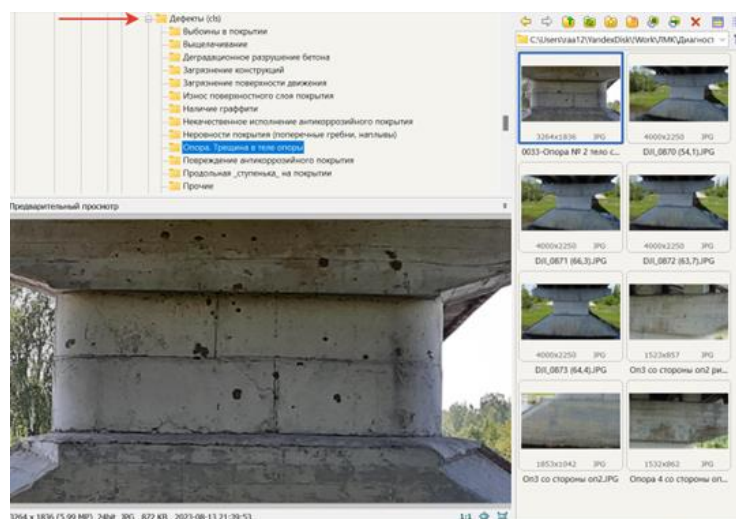


Рис. 4. Фрагмент материалов компании Bridge-IT о программном решении БИТ.Визор [27]

струкций с обработкой фотосъемки методами машинного обучения [27].

Выводы

В результате анализа установлено, что существующие решения по идентификации дефектов строительных конструкций можно разделить на несколько функциональных групп. Систематизация рассмотренных решений приведена в таблице.

Как видно из таблицы, все выделенные решения подходят к потенциальной реализации на мостовых объектах, имеют свои достоинства и ограничения. Наиболее перспективными являются классические ML- и AutoML-подходы, сочетающие в себе CNN и YOLO.

По совокупности изученных материалов отмечается, что в разработках, как правило, отсутствует привязка к классификатору дефектов действующих нормативных документов, что усложняет объективность получения результативных данных. Для мостовых сооружений особенно важна связь между визуальным дефектом и конструктивным элементом. Визуально сходные повреждения могут иметь различную инженерную значимость в зависимости от материала, расположения, условий эксплуатации и роли элемента в общей работе

сооружения. Поэтому система машинного зрения должна не только обнаруживать визуальный признак, но и соотносить его с конструктивным контекстом, что требует учета при формировании собственной системы на основе нейронных сетей

В заключении хотелось бы отметить, что авторская позиция заключается в том, что перспективная система идентификации дефектов мостовых сооружений должна строиться как многоэтапный подход: распознавание конструктивного элемента, обнаружение потенциального дефекта, классификация дефекта по инженерному классификатору, проверка достоверности результата и передача данных специалисту для формирования ведомости дефектов. Такой подход позволяет использовать достижения существующих нейросетевых разработок, но одновременно учитывать их ограничения и неточности.

Перспективой дальнейших исследований является создание специализированной базы данных изображений конструкций и дефектов, разработка многоэтапной модели распознавания и классификации повреждений, а также проведение независимой проверки ее работы на данных, полученных при реальных обследованиях.

Основные группы решений по идентификации дефектов строительных конструкций

Решение	Принцип действия	Достоинства	Ограничения при переносе на мостовые сооружения
Классический CNN с семантической сегментацией [11, 12]	Попиксельный анализ изображения с привязкой к положению на одном кадре и определением множества классов на изображении	Высокая скорость анализа изображения, возможность определения множества объектов в кадре, высокая точность	В связи с большим количеством классов требуется высокопроизводительное оборудование. Трудность практического применения в компактных системах
YOLO и объектное детектирование [16]	CNN алгоритм повышенной производительности с поиском только одного класса на одном изображении за один просмотр кадра	Высокая скорость анализа изображения; пригодность для практических систем мониторинга	Существенное влияние на точность при нарушении структуры разметки классов. Большая по сравнению с CNN зависимость от качества разметки
Классические ML- и AutoML-подходы [15, 17]	Алгоритм поиска оптимального решения CNN путем итерационной оценки изменяемых параметров для последующего использования в конкретной задаче	Возможность сравнения алгоритмов и автоматизации подбора модели (YOLO, CNN и др.)	Невозможно использовать без алгоритмов CNN и YOLO. Не всегда обеспечивается полная автоматизация, так как признаки часто задаются экспертом

Список источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации от 11.10.2019 ст. 0001201910110003. Режим доступа: URL: <http://pravo.gov.ru/>.
2. ГОСТ Р 59276–2020. Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2021-03-01. Москва : Стандартинформ, 2021. 16 с.
3. ГОСТ Р 59277–2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2021-03-01. Москва : Стандартинформ, 2021. 16 с.
4. ГОСТ Р 59898–2021. Оценка качества систем искусственного интеллекта. Общие положения // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2022-03-01. Москва : Российский институт стандартизации, 2021. 24 с.
5. ГОСТ Р 71539–2024. Искусственный интеллект. Процессы жизненного цикла системы искусственного интеллекта // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2025-01-01. Москва : Российский институт стандартизации, 2024. 40 с.
6. ГОСТ Р 71484.2–2024. Искусственный интеллект. Качество данных для аналитики и машинного обучения. Часть 2. Показатели качества данных // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2025-01-01. Москва : Российский институт стандартизации, 2024. 40 с.
7. ГОСТ Р 71484.3–2024. Искусственный интеллект. Качество данных для аналитики и машинного обучения. Часть 3. Требования и рекомендации по управлению качеством данных // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2025-01-01. Москва : Российский институт стандартизации, 2024. 28 с.
8. ГОСТ Р 71484.4–2024. Искусственный интеллект. Качество данных для аналитики и машинного обучения. Часть 4. Структура процесса управления качеством данных // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2025-01-01. Москва : Российский институт стандартизации, 2024. 28 с.
9. ГОСТ Р 59618–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Правила обследования и методы испытаний // Национальный стандарт Российской Федерации : введ. 2022-02-01. Москва : Российский институт стандартизации, 2022. 54 с.
10. Шлепнева Т. О., Никишина О. В., Дедюхина Е. С. Применение искусственного интеллекта в сфере строительства: преимущества и возможные пути дальнейшего развития // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15, № 2. С. 336–346. DOI 10.21285/2227-2917-2025-2-336-346. EDN: YHWLLE.
11. В НГТУ НЭТИ создали нейронную модель для обнаружения деформаций в бетоне // НГТУ НЭТИ : официальный сайт. 2025. 13 янв. URL: https://www.nstu.ru/interviews/news_more?idnews=162901 (дата обращения: 01.04.2026).
12. Крылов С. А., Платунов В. Ю., Кашеварова Г. Г. Автоматизация процесса определения трещин при обследовании кирпичных зданий // Строительные конструкции, здания и сооружения. 2024. № 4 (9). С. 22–31. EDN: LHANKN.
13. Shorten C., Khoshgoftaar T. M. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning // Journal of Big Data. 2019. Vol. 6, No. 60. DOI 10.1186/s40537-019-0197-0.
14. A Comparative Study on Crack Detection in Concrete Walls Using Transfer Learning Techniques / R. E. Philip, A. D. Andrushia, A. Nammalvar, B. G. A. Gurupatham, K. Roy // Journal of Composites Science. 2023. Vol. 7, No. 4. Art. 169. DOI 10.3390/jcs7040169.
15. Крылов С. А., Кашеварова Г. Г. Автоматизация процесса оценки технического состояния наружных стен кирпичных зданий с использованием технологии машинного обучения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025. Т. 52, № 3. С. 61–70. DOI 10.21822/2073-6185-2025-52-3-61-70.
16. Zhang J., Beliaeva Z. V., Huang, Y. Accuracy–Efficiency Trade-Off: Optimizing YOLOv8 for Structural Crack Detection // Sensors. 2025. Vol. 25, No. 13. P. 3873. DOI 10.3390/s25133873.
17. A comparison of AutoML tools for machine learning, deep learning and XGBoost / L. Ferreira, A. Pilastrri, C. M. Martins, P. M. Pires, P. Cortez // Proceedings of the International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems (HAIS). 2021. P. 39–50. DOI 10.1007/978-3-030-86230-5_4.
18. ФАУ «РОСДОРНИИ» совместно с ФНПЦ АО «НПО «Марс»» провели диагностику моста с помощью беспилотного летательного аппарата // ФАУ «РОСДОРНИИ» : офиц. интернет-ресурс. 24.09.2024. URL: <https://rosdornii.ru/press-center/news/novosti/fau-rosdornii-sovmestno-s-fnpts-ao-npo-mars-proveli-diagnostiku-mosta-s-pomoshchyu-bespilotnogo-leta/> (дата обращения: 02.04.2026).
19. Распознавание дефектов и повреждений металлических и железобетонных конструкций // Каталог совместимости российского программного обеспечения. Номер в Едином реестре российского ПО: 27595 ; дата решения: 11.04.2025. URL: <https://catalog.arppsoft.ru/product/6419270> (дата обращения: 02.04.2026).

20. ООО НТЦ «Транскор-К»: официальный сайт. URL: <https://www.transkorworld.com> (дата обращения: 12.12.2025).
21. Система автоматизированной обработки фото и видео обследования бетонных и каменных опор мостов // Каталог совместимости российского программного обеспечения. Номер в Едином реестре российского ПО: 28141 ; дата решения: 19.05.2025. URL: <https://catalog.arppsoft.ru/product/6418023> (дата обращения: 02.04.2026).
22. Инструкция пользователя программного обеспечения «Система автоматизированной обработки фото и видео обследования бетонных и каменных опор мостов». Версия 03. Документ № ТСФ.ИТ.И.01.01-25. Москва : ООО «Транскор-Сервис», 2025. Янв. URL: https://www.transkor-service.ru/files/pdf/01_Инструкция_пользователя_Диспетчер_САО_Фив_О_БиКОМ_2025.pdf (дата обращения: 02.04.2026).
23. ПО Structura с нейросетевым модулем: опыт цифровой трансформации в обследовании зданий и сооружений // ОЗИС-ВЕНЧУР «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения» – официальный сайт. URL: <https://www.ozis-venture.ru/xv-konferenciya/> (дата обращения: 12.12.2025).
24. Камаева Ю. В., Адамцевич Л. А. Перспективы использования предиктивной аналитики в строительстве // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11, № 2. DOI 10.29039/2308-0191-2023-11-2-12-12. URL: <https://conarc.ru/ru/nauka/article/65013/view> (дата обращения: 02.04.2026).
25. Концепция применения искусственного интеллекта в ОАО «РЖД» : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.02.2022 № 334/р / ОАО «РЖД». 2026. 28 с. // Электронный каталог КриЖТ ИрГУПС. URL: <https://irbis.krsk.irkups.ru/>.
26. Смолин А.И. Обследование пролетных строений мостов с применением защищенного БПЛА и системы машинного зрения // Путь и путевое хозяйство : научно-популярный, производственно-технический журнал. Москва, 2025. № 3. С. 28–30.
27. БИТ.Визор / Режим доступа: ООО «БРИДЖ-ИТ» – аккредитованная ИТ-компания, разрабатывающая инженерное программное обеспечение для строительной отрасли <https://bridge-it.ru>, ООО «БРИДЖ-ИТ». URL: <https://bridge-it.ru/products/bit-visor/> (дата обращения: 12.12.2025).

References

1. Decree of the President of the Russian Federation No. 490 dated 10.10.2019 ‘On the development of artificial Intelligence in the Russian Federation’. *Official Internet portal of legal information* dated 11.10. 2019, article 0001201910110003. (In Russ.). URL: <http://pravo.gov.ru/>.
2. GOST R 59276–2020. Artificial intelligence systems. Ways to ensure trust. General provisions. *National Standard of the Russian Federation*: introduced on the 01.03. 2021 Moscow: Standartinform; 2021. 16 p. (In Russ.).
3. GOST R 59277–2020. Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems. *National Standard of the Russian Federation*: introduced on the 01.03. 2021. Moscow: Standartinform; 2021. 16 p. (In Russ.).
4. GOST R 59898-2021. Quality assessment of artificial intelligence systems. General provisions. *National Standard of the Russian Federation*: introduced on the 01.03. 2022. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021. 24 p. (In Russ.).
5. GOST R 71539–2024. Artificial intelligence. Life cycle processes of an artificial intelligence system. *National Standard of the Russian Federation* : introduced on the 01.01. 2025. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. 40 p. (In Russ.).
6. GOST R 71484.2–2024. Artificial intelligence. Data quality for analytics and machine learning. Part 2. Data quality indicators. *National Standard of the Russian Federation*: introduced on the 01.01. 2025. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. 40 p. (In Russ.).
7. GOST R 71484.3–2024. Artificial intelligence. Data quality for analytics and machine learning. Part 3. Requirements and recommendations for data quality management. *National Standard of the Russian Federation*: introduced on the 01.01. 2025. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. 28 p. (In Russ.).
8. GOST R 71484.4–2024. Artificial intelligence. Data quality for analytics and machine learning. Part 4. The structure of the data quality management process. *National Standard of the Russian Federation*: introduced on the 01.01. 2025. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024. 28 p. (In Russ.).
9. GOST R 59618–2021. Public roads. Bridge structures. Examination rules and test methods. *National Standard of the Russian Federation*: introduced on the 01.02. 2022. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2022. 54 p. (In Russ.).
10. Shlepneva T. O., Nikishina O. V., Dedyukhina E. S. Application of artificial intelligence in the construction industry: advantages and possible ways of further development. *Izvestiya Vuzov. Investment. Construction. Realty*. 2025;15(2):336–346. (In Russ.). DOI 10.21285/2227-2917-2025-2-336-346. EDN: YHWLLE.
11. A neural model for detecting deformations in concrete has been created at NSTU NEVIS. *NSTU NEVIS: official website*. 13.01. 2025. (In Russ.). URL: https://www.nstu.ru/interviews/news_more?idnews=162901.

12. Krylov S. A., Platonov V. Yu., Kashevarova G. G. Automation of the crack detection process during the inspection of brick buildings. *Building Structures, Buildings and Structures*. 2024;(9):22–31. (In Russ.). EDN: LHAHKH.
13. Shorten C., Khoshgoftaar T. M. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. *Journal of Big Data*. 2019;6(60). DOI 10.1186/s40537-019-0197-0.
14. Philip R. E., Andrushia A. D., Nammalvar A., Gurupatham B. G. A., Roy K. A Comparative Study on Crack Detection in Concrete Walls Using Transfer Learning Techniques. *Journal of Composites Science*. 2023;7(4). Art. 169. DOI 10.3390/jcs7040169.
15. Krylov S. A., Kashevarova G. G. Automation of the process of assessing the technical condition of the exterior walls of brick buildings using machine learning technology. *Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences*. 2025;52(3):61–70. (In Russ.). DOI 10.21822/2073-6185-2025-52-3-61-70.
16. Zhang, J., Beliaeva, Z. V., Huang, Y. Accuracy–Efficiency Trade-Off: Optimizing YOLOv8 for Structural Crack Detection. *Sensors*. 2025;25(13):3873. DOI 10.3390/s25133873.
17. Ferreira L., Pilastrri A., Martins C. M., Pires P. M., Cortez P. A comparison of AutoML tools for machine learning, deep learning and XGBoost. *Proceedings of the International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems (HAIS)*. 2021. P. 39–50. DOI 10.1007/978-3-030-86230-5_4.
18. FAI ‘ROSDORNII together with FNPC ‘NPO Mars’ carried out diagnostics of the bridge using an unmanned aerial vehicle. *FAI ‘ROSDORNII’: official website. online resource*. 09/24/2024. (In Russ.). URL: <https://rosdornii.ru/press-center/news/novosti/fau-rosdornii-sovmestno-s-fnpts-ao-npo-mars-proveli-diagnostiku-mosta-s-pomoshchyu-bespirotnogo-leta>.
19. Detection of defects and damages of metal and reinforced concrete structures. *Russian Software Compatibility Catalog. Number in the Unified Register of Russian Software: 27595; date of the decision: 11.04.2025*. (In Russ.). URL: <https://catalog.arppsoft.ru/product/6419270>.
20. NTC Transcor-K LLC: *official website*. (In Russ.). URL: <https://www.transkorworld.com>.
21. Automated photo and video processing system for the inspection of concrete and stone bridge supports. *Russian Software Compatibility Catalog. Number in the Unified Register of Russian Software: 28141; date of the decision: 19.05.2025*. (In Russ.). URL: <https://catalog.arppsoft.ru/product/6418023>.
22. Software User's Manual “Automated photo and video processing system for the inspection of concrete and stone bridge supports”. Version 03. Document No. TSF.IT.I.01.01-25. Moscow: Transcor-Service LLC, 2025. Jan. (In Russ.). URL: https://www.transkorservice.ru/files/pdf/01_Инструкция_пользователя_Диспетчер_САО_ФиВ_О_БиКОМ_2025.pdf.
23. Structura software with a neural network module: the experience of digital transformation in the survey of buildings and structures. *OSIS-VENTURE ‘Survey of buildings and structures: problems and solutions’: [official website]*. (In Russ.). URL: <https://www.ozis-venture.ru/xv-konferenciya>.
24. Kamaeva Yu. V., Adamtsevich L. A. Prospects of using predictive analytics in construction. *Construction and Architecture*. 2023;11(2). (In Russ.). DOI 10.29039/2308-0191-2023-11-2-12-12. URL: <https://conarc.ru/ru/nauka/article/65013/view>.
25. The concept of the use of artificial intelligence in Russian Railways. Approved by the order of Russian Railways dated 14.02. 2022 № 334/r / *Russian Railways*. 2026. 28 p. (In Russ.). *KRIZHT IrGUPS: electronic catalog*. URL: <https://irbis.krsk.irgups.ru/>
26. Smolin A. I. Inspection of bridge spans using a protected UAV and a machine vision system. *Track and Track Facilities: Popular Science, Industrial and Technical Journal*. Moscow, 2025. No. 3. P. 28–30. (In Russ.).
27. BIT.Visor. *BRIDGE-IT LLC is an Accredited IT Company Developing Engineering Software for the Construction Industry*. <https://bridge-it.ru>, BRIDGE-IT LLC. (In Russ.). URL: <https://bridge-it.ru/products/bit-visor/>.

Информация об авторах

И. В. Чаплин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мосты», старший научный сотрудник СибНИИ мостов Сибирского государственного университета путей сообщения.

Я. В. Тонкушин – аспирант кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения.

С. А. Бахтин – кандидат технических наук, профессор, декан факультета «Мосты и тоннели», профессор кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения.

С. И. Герасимов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительная механика» Сибирского государственного университета путей сообщения.

С. В. Ефимов – кандидат технических наук, доцент, директор СибНИИ мостов, доцент кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

I. V. Chaplin – Candidate of Engineering, Senior Researcher of the Siberian Research Institute of Bridges at Siberian Transport University.

Ya. V. Tonkushin – Postgraduate Student, Bridges Department, Siberian Transport University.

S. A. Bakhtin – Candidate of Engineering, Professor, Dean of the Bridges and Tunnels Faculty Siberian Transport University, Professor of the Bridges Department, Siberian Transport University.

S. I. Gerasimov – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Construction Mechanics Department, Siberian Transport University.

S. V. Efimov – Candidate of Engineering, Associate Professor, Director of the Siberian Research Institute of Bridges at Siberian Transport University, Associate Professor of the Bridges Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 14.04.2026; одобрена после рецензирования 21.05.2026; принята к публикации 26.06.2026.

The article was submitted 14.04.2026; approved after reviewing 21.05.2026; accepted for publication 26.06.2026.