

Технические науки. Строительство

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2026-06>

УДК: 624.21

МРНТИ: 73.31.13

Диагностика автодорожных мостовых переходов с применением технологии лазерного сканирования

*¹ Утепбергенов Ж.Е., ¹ Аманов Ж.А., ¹ Қасымхан Н.А., ¹ Белов А.Г.

¹ Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, Алматы, Казахстан

*Автор-корреспондент e-mail: zhan_mostovik@mail.ru

Поступила: 12 апреля 2026 Рецензирование: 05 мая 2026 Принята в печать: 05 июня 2026	Аннотация Автодорожные мостовые сооружения требуют регулярной диагностики для обеспечения безопасности движения и своевременного планирования ремонтных мероприятий. Целью исследования являлась оценка эффективности применения технологии лазерного сканирования при обследовании мостового перехода и подходов к нему. В работе использованы беспилотный авиационный комплекс DJI Matrice 350 RTK, мобильный лазерный сканер, технологии LiDAR, RTK-позиционирования и фотограмметрической обработки пространственных данных. В результате обследования были сформированы ортофотоплан, облако точек и трехмерная цифровая модель мостового сооружения. Выполнена автоматизированная идентификация и классификация дефектов покрытия, включая поперечные, продольные, температурные и локальные трещины, с определением их геометрических характеристик и координатного положения. Полученные цифровые материалы обеспечили формирование базы данных повреждений и возможность последующего мониторинга технического состояния объекта. Проведенное исследование показало, что интеграция воздушного и наземного лазерного сканирования повышает объективность инженерной диагностики, сокращает сроки обследования и создает основу для цифрового управления жизненным циклом мостовых сооружений. Ключевые слова: мостовые сооружения; лазерное сканирование; LiDAR; беспилотные летательные аппараты; диагностика мостов; цифровая модель;
Утепбергенов Ж.Е.	Информация об авторах: Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0820-8355 . E-mail: zhan_mostovik@mail.ru
Аманов Ж.А.	Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-4230-2731. E-mail: Zhanbolat1307@mail.ru
Қасымхан Н.А.	Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-6391-7886. E-mail: Kasymkhan97@mail.ru
Белов А.Г.	К.т.н., ассоциированный профессор Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2258-4134 E-mail: below_aleksei@mail.ru

Техникалық ғылымдар. Құрылыс

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2026-06>

ӘОЖ: 624.21

GTAMP: 73.31.13

Автомобиль жолы көпір өткелдерінің техникалық жай-күйін лазерлік сканерлеу технологиясы негізінде диагностикалау***¹ Утепбергенов Ж.Е., ¹ Аманов Ж.А., ¹ Қасымхан Н.А., ¹ Белов А.Г.**¹ Л.Б.Гончаров атындағы Қазақ автомобиль жол институты, Алматы, Қазақстан* Хат алмасу үшін автор (корреспондент-автор): assel_enu@mail.ru

Қабылданды: 12 сәуір, 2026 Рецензиялау: 05 мамыр, 2026 Баспаға қабылданды: 05 маусым, 2026	Түйіндеме Автомобиль жолы көпірлері қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету және жөндеу жұмыстарын тиімді жоспарлау үшін жүйелі техникалық диагностикалауды қажет етеді. Зерттеудің мақсаты – көпір өткелі мен оған жалғасатын жолдарды тексеруде лазерлік сканерлеу технологиясының тиімділігін бағалау. Зерттеу барысында DJI Matrice 350 RTK пилотсыз ұшу аппараты, мобильді лазерлік сканер, LiDAR технологиясы, RTK-позициялау және фотограмметриялық өңдеу әдістері қолданылды. Нәтижесінде зерттелген нысанның ортофотожоспары, нүктелер бұлты және үшөлшемді цифрлық моделі құрылды. Жол жабынының көлденең, бойлық, температуралық және жергілікті жарықтары автоматты түрде анықталып, жіктеліп, олардың геометриялық параметрлері мен кеңістіктік координаттары белгіленді. Алынған цифрлық материалдар ақаулардың бірыңғай деректер қорын қалыптастыруға және көпірдің техникалық жай-күйін кейінгі мониторингтеуге мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері әуе және жерүсті лазерлік сканерлеуді біріктіру инженерлік диагностиканың дәлдігін арттырып, тексеру уақытын қысқартып, көпір құрылыстарын цифрлық басқарудың негізін қалыптастыратынын көрсетті. Түйін сөздер: көпір құрылыстары; лазерлік сканерлеу; LiDAR; пилотсыз ұшу аппараты; көпір диагностикасы; цифрлық модель;
Утепбергенов Ж.Е	Авторлар туралы ақпарат: Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0820-8355, E-mail: zhan_mostovik@mail.ru
Аманов Ж.А.	Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-4230-2731, E-mail: Zhanbolat1307@mail.ru
Қасымхан Н.А.	Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-6391-7886, E-mail: Kasymkhan97@mail.ru
Белов А.Г.	Т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2258-4134. E-mail: below_aleksei@mail.ru

Technical sciences: Construction

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2026-06>

UDC: 624.21

IRSTI: 73.31.13

Laser scanning-based diagnostics of highway bridge crossings***¹ Utepbergenov Zh., ¹ Amanov Zh., ¹ Kasymhan N. ¹ Belov A.**¹ L.B. Goncharov Kazakh Automobile and Road Academy, Almaty, Kazakhstan*Corresponding author e-mail: assel_enu@mail.ru

Received: 12 April, 2026 Under review 05 May, 2026 Accepted for publication: 05 June, 2026	Abstract Highway bridge structures require regular condition assessment to ensure traffic safety and support timely maintenance planning. This study aimed to evaluate the effectiveness of laser scanning technology for the inspection of a highway bridge crossing and its approaches. The methodology combined a DJI Matrice 350 RTK unmanned aerial vehicle, a handheld laser scanner, LiDAR technology, RTK positioning, and photogrammetric processing of spatial data. As a result, an orthophoto map, a dense point cloud, and a three-dimensional digital model of the bridge were generated. Automated detection and classification of pavement defects, including transverse, longitudinal, thermal, and local cracks, were performed with the determination of their geometric characteristics and spatial coordinates. The generated digital datasets enabled the creation of a georeferenced defect database suitable for long-term structural condition monitoring. The findings demonstrate that integrating aerial and terrestrial laser scanning significantly improves the accuracy and objectivity of bridge inspections, reduces survey time, and provides a reliable digital foundation for bridge asset management and lifecycle monitoring. Keywords: highway bridges; laser scanning; LiDAR; unmanned aerial vehicle; bridge inspection; digital model;
Utepbergenov Zh.	Information about authors: Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-0820-8355 . E-mail: zhan_mostovik@mail.ru
Amanov Zh.	Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-4230-2731. E-mail: Zhanbolat1307@mail.ru
Kasymhan N.	Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-6391-7886. E-mail: Kasymkhan97@mail.ru
Belov A.	PHD Associate professor, Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2258-4134. E-mail: below_aleksei@mail.ru

1. Введение

Автодорожные мостовые сооружения являются одним из наиболее ответственных элементов транспортной инфраструктуры, поскольку обеспечивают непрерывность движения, безопасность перевозок и устойчивое функционирование дорожной сети [1]. В условиях роста интенсивности транспортных потоков, увеличения нагрузок от большегрузного транспорта и воздействия климатических факторов вопросы своевременной диагностики мостов приобретают особую научную и практическую значимость. Нарушение эксплуатационного состояния мостового полотна, подходов, деформационных швов, водоотводных элементов и несущих конструкций может приводить не только к снижению комфорта и безопасности движения, но и к ускоренному развитию повреждений, требующих значительных затрат на последующее восстановление [2,3].

Актуальность проблемы особенно возрастает для мостового фонда Республики Казахстан, значительная часть которого была построена во второй половине XX века и эксплуатируется в условиях длительного воздействия природно-климатических и транспортных нагрузок [4]. Для таких сооружений характерны процессы старения материалов, накопления дефектов покрытия, разрушения гидроизоляции, образования трещин, локальных деформаций и повреждений в зонах сопряжения моста с подходами. При этом именно состояние покрытия мостового сооружения и подходов к нему во многом определяет возможность проникновения влаги к нижерасположенным конструкциям, развитие коррозионных процессов и снижение долговечности элементов моста [5,6].

Традиционные методы обследования мостов, основанные преимущественно на визуальном осмотре, фотофиксации и выборочных инструментальных измерениях, остаются важной частью инженерной диагностики [7-9]. Однако они обладают рядом ограничений: зависят от субъективной оценки специалиста, требуют значительных трудозатрат, не всегда обеспечивают полную пространственную привязку дефектов и затрудняют сопоставление результатов повторных обследований. Кроме того, при обследовании мостов и подходов необходимо учитывать протяжённость объекта, сложность доступа к отдельным конструктивным элементам, влияние дорожного движения и необходимость оперативного получения достоверной информации.

В этих условиях перспективным направлением является применение цифровых технологий диагностики, включая беспилотные летательные аппараты, лазерное сканирование, фотограмметрию, геодезическую RTK-привязку, формирование облаков точек, ортофотопланов и трёхмерных моделей объектов. Использование таких технологий позволяет получать детализированную пространственную информацию о состоянии мостового перехода, фиксировать дефекты покрытия и конструктивных элементов в цифровом виде, определять их геометрические параметры, координатное положение и выполнять последующий сравнительный анализ. В отличие от разрозненной визуальной фиксации, цифровая модель создаёт основу для формирования дефектных ведомостей, мониторинга динамики повреждений и планирования ремонтных мероприятий [10,11].

Несмотря на активное развитие лазерного сканирования и беспилотных методов обследования транспортной инфраструктуры, вопросы их практического применения для диагностики мостового полотна и подходов к мостовым сооружениям требуют дальнейшего уточнения. В частности, актуальными остаются задачи определения возможностей воздушного и мобильного лазерного сканирования при выявлении трещин и поверхностных дефектов покрытия, оценки применимости ортофотопланов и облаков точек для классификации повреждений, а также интеграции полученных данных в цифровую модель мостового перехода [12].

Целью настоящего исследования является обоснование и практическая проверка возможности применения технологии лазерного сканирования для диагностики покрытия автодорожного мостового перехода и подходов к нему с формированием цифровых пространственных материалов обследования.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: выполнить обследование автодорожного мостового перехода с применением беспилотного авиационного комплекса и лазерно-сканирующего оборудования; получить пространственные данные, ортофотоплан и трёхмерную модель обследуемого участка; выявить и классифицировать дефекты покрытия моста и подходов; определить геометрические параметры повреждений; оценить практическую применимость полученных цифровых данных для последующего мониторинга и планирования ремонтных работ.

Научно-практическая значимость исследования заключается в демонстрации возможности перехода от традиционного описательного обследования к цифровому формату диагностики мостового перехода. Полученные результаты могут быть использованы при разработке цифровых дефектных ведомостей, актуализации паспортов мостовых сооружений, организации повторного мониторинга, оценке динамики развития трещин и обосновании приоритетности ремонтных мероприятий. Применение предложенного подхода способствует повышению объективности обследований, сокращению сроков полевых и камеральных работ, а также развитию цифровых систем управления эксплуатацией мостов и автомобильных дорог.

2. Материалы и методы

Объектом исследования является автодорожный мост через реку Аксай на км 48+900 автомобильной дороги KZ05-10 «Алматы – Төңкеріс – Байсерке – Междуреченское» (рис.1). Предметом исследования выступает технология диагностики состояния покрытия мостового сооружения и подходов к нему на основе лазерного сканирования, беспилотной съёмки и цифровой обработки пространственных данных.



Рисунок 1. Мост через р. Аксай на км 48+900 автомобильной дороги KZ05-10.
Общий вид проезжей части моста и подходов [материал автора]

Для получения пространственных данных применялся беспилотный авиационный комплекс DJI Matrice 350 RTK (рис.2), оснащённый высокоточной системой спутникового позиционирования RTK и лазерным сканером LiDAR. Комплекс предназначен для инженерных обследований объектов транспортной инфраструктуры и обеспечивает выполнение аэрофотосъёмки, лазерного сканирования и геодезической привязки с сантиметровой точностью [13].



Рисунок 2. Подготовка беспилотного комплекса DJI Matrice 350 RTK к выполнению полевых работ [материал автора]

Дополнительно использовался мобильный ручной лазерный сканер DJI, позволяющий выполнять детальное обследование труднодоступных участков мостового сооружения, включая опоры, пролётные строения и подмостовое пространство. Совместное использование воздушного и наземного сканирования обеспечило получение единой высокоточной пространственной модели обследуемого объекта [14].

Согласно техническим характеристикам применяемого оборудования, средняя точность определения координат составляла $\pm 1-2$ см в плане и $\pm 2-3$ см по высоте, тогда как пространственное разрешение ортофотоплана достигало 2–5 см/пиксель. Плотность сформированного облака точек обеспечивала фиксацию мелких элементов дорожной инфраструктуры и дефектов покрытия.

Исследование проводилось в несколько последовательных этапов. На первом этапе выполнялась подготовка объекта обследования, включавшая выбор района работ, планирование маршрутов полёта беспилотного летательного аппарата, настройку оборудования и организацию геодезической привязки посредством RTK-навигации.

На втором этапе осуществлялось воздушное лазерное сканирование мостового перехода. Полёт выполнялся на высоте 40–60 м при скорости движения беспилотного комплекса 1–2 м/с. Во время полёта одновременно регистрировались лазерные отражения, формирующие пространственное облако точек, и цифровые фотографии высокого разрешения, используемые впоследствии для создания ортофотоплана и текстурирования трёхмерной модели.

На третьем этапе выполнялось мобильное лазерное сканирование элементов мостового сооружения в подмостовой зоне. Данный этап позволил получить дополнительную информацию о геометрии конструкций, выявить локальные повреждения опор, пролётных строений и других элементов, недоступных для качественной регистрации с воздуха. Интеграция данных воздушного и наземного сканирования обеспечила построение единой пространственной модели мостового сооружения.

Полученные данные лазерного сканирования обрабатывались в специализированном программном обеспечении для фотограмметрии и обработки облаков точек. На основе зарегистрированных измерений были сформированы:

- ортофотоплан обследуемой территории;
- цифровая модель автомобильной дороги и подходов к мосту;
- пространственное облако точек;
- трёхмерная модель мостового сооружения.

Обработка данных включала объединение результатов воздушного и наземного сканирования, фильтрацию шумов, геодезическое выравнивание облаков точек, построение

цифровой модели поверхности и текстурированной трёхмерной модели объекта. Полный цикл камеральной обработки составил около трёх часов, что значительно сократило сроки получения результатов обследования по сравнению с традиционными методами инструментального контроля.

Оценка технического состояния покрытия выполнялась путём визуально-инструментальной интерпретации ортофотопланов и пространственного облака точек. Анализ проводился с использованием разработанной классификации дефектов покрытия, предусматривающей разделение повреждений на поперечные, продольные, температурные и локальные трещины с последующей цветовой идентификацией каждого типа [15].

Для повышения эффективности обработки пространственных данных использовались алгоритмы искусственного интеллекта, обеспечивающие автоматизированное распознавание дефектов покрытия и их пространственную классификацию. Для каждого выявленного повреждения определялись его координатное положение, протяжённость, ширина раскрытия и принадлежность к соответствующему классу дефектов [16,17].

Полученные результаты сопоставлялись с цифровой моделью мостового перехода, что позволило сформировать пространственную базу данных дефектов и обеспечить возможность последующего мониторинга изменения технического состояния покрытия при повторных обследованиях.

3. Результаты

В результате выполнения воздушного и наземного лазерного сканирования была получена совокупность пространственных данных, включающая ортофотоплан обследуемой территории, цифровую модель автомобильной дороги, трёхмерную модель мостового сооружения и детализированное облако точек. Полученные материалы обеспечили комплексное цифровое представление обследуемого мостового перехода и стали основой для последующего анализа технического состояния покрытия и конструктивных элементов.

Первым результатом обработки данных стало построение ортофотоплана обследуемой территории (рисунок 3), сформированного на основе аэрофотосъёмки и данных лазерного сканирования. Ортофотоплан позволил получить высокоточное изображение мостового перехода и прилегающей территории, пригодное для последующей пространственной привязки выявляемых дефектов.



Рисунок 3. Ортофотоплан обследуемой территории [материал автора]

На основе ортофотоплана была сформирована цифровая модель автомобильной дороги, включающая проезжую часть моста и подходы к нему (рисунок 4). Полученная модель позволила выполнить анализ геометрии покрытия, оценить взаимное расположение элементов транспортной инфраструктуры и обеспечить пространственную основу для дальнейшей идентификации повреждений.



Рисунок 4. Цифровая модель мостового перехода [материал автора]

Следующим этапом обработки стало построение трехмерной модели мостового сооружения по данным воздушного лазерного сканирования (рисунок 5). Пространственная модель воспроизводит геометрию мостового перехода, обеспечивая возможность детального анализа конструктивных элементов и их пространственного положения.

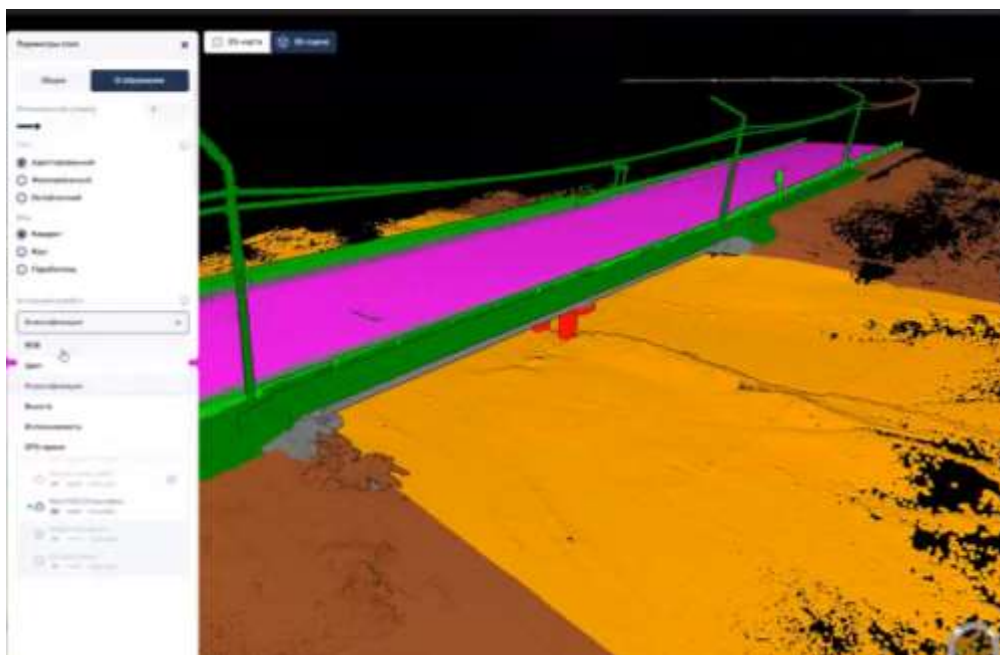


Рисунок 5. Трехмерная модель мостового сооружения [материал автора]

Для обследования труднодоступных элементов моста использовался мобильный лазерный сканер, позволивший выполнить инструментальный контроль подмостового пространства, опор и пролетного строения (рисунок 6). Совместное использование воздушного и наземного лазерного сканирования обеспечило формирование единой цифровой модели объекта без потери пространственной точности.



Рисунок 6. Инструментальное обследование мостового сооружения с использованием мобильного лазерного сканирования [материал автора]

Полученная цифровая модель стала основой для анализа технического состояния покрытия мостового сооружения и подходов к нему. По результатам обработки пространственных данных были выявлены характерные дефекты покрытия, включающие поперечные, продольные, температурные и локальные трещины различной протяженности и ширины раскрытия.

Автоматизированная обработка результатов лазерного сканирования позволила классифицировать выявленные дефекты по разработанной системе цветовой идентификации. Количественная характеристика повреждений представлена в таблице 2. Наиболее распространенными оказались поперечные трещины общей протяженностью около 45 пог. м при ширине раскрытия 2–3 мм. Температурные трещины имели ширину раскрытия 3–6 мм и суммарную длину около 17 м. Локальные трещины различного направления характеризовались шириной раскрытия 1–2 мм и общей протяженностью 6,3 м, а продольные трещины — шириной раскрытия 2–3 мм и общей длиной 7,5 м.

Пространственная привязка дефектов к цифровой модели позволила определить их координатное положение относительно конструктивных элементов мостового сооружения и сформировать электронную базу данных повреждений для последующего мониторинга технического состояния объекта.

Для визуализации результатов автоматизированной обработки пространственных данных были сформированы карты локализации дефектов покрытия, на которых повреждения отображаются в соответствии с принятой классификацией. Пример распознавания дефектов покрытия и участков износа дорожной разметки представлен на рисунке 7.



Рисунок 7. Пример фиксации дефектов покрытия и износа дорожной разметки на обследуемом участке [материал автора]

Анализ полученных данных показал, что наибольшее количество повреждений сосредоточено в зоне проезжей части мостового сооружения и на участках сопряжения моста с подходами. Помимо трещин различного типа были выявлены локальные нарушения эксплуатационного состояния покрытия, включая участки износа дорожной разметки и зоны, характеризующиеся неоднородностью структуры покрытия.

На рисунке 8 представлены результаты обследования подходов к мостовому переходу, на которых зафиксированы дефекты дорожного покрытия, требующие дальнейшего инструментального контроля и учета при планировании ремонтно-восстановительных мероприятий.

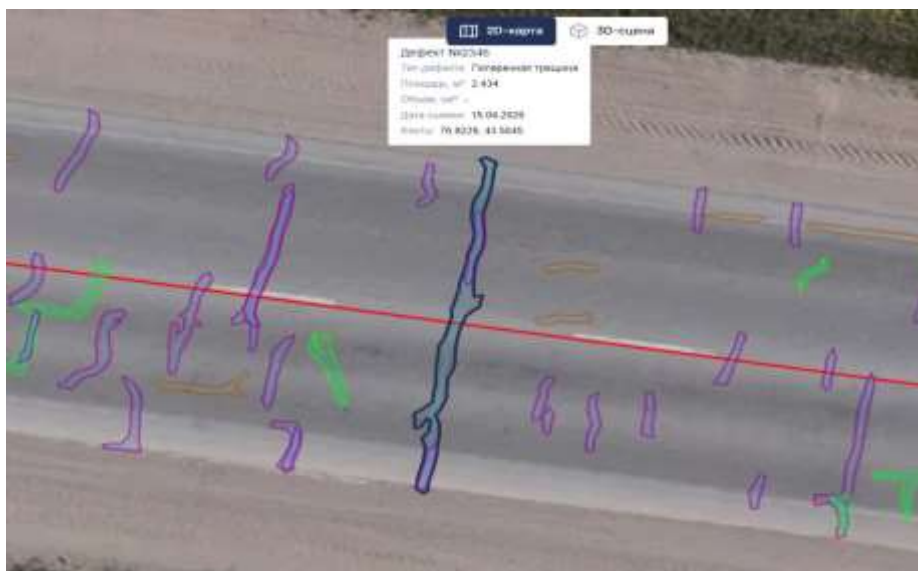


Рисунок 8. Дефекты проезжей части на подходах к мостовому переходу [материал автора]

Полученные результаты подтвердили возможность комплексной цифровой фиксации технического состояния мостового сооружения и прилегающих участков автомобильной дороги. Использование пространственно привязанных данных позволило определить расположение каждого выявленного дефекта, установить его геометрические характеристики и сформировать цифровую базу данных повреждений. Созданные

цифровые материалы могут использоваться для накопления информации о техническом состоянии мостовых сооружений, проведения повторных обследований и последующего сопоставления результатов мониторинга в различные периоды эксплуатации.

Для количественной оценки результатов обследования все выявленные повреждения были систематизированы по типу дефекта, ширине раскрытия и общей протяженности. Автоматизированная обработка данных лазерного сканирования позволила выполнить их классификацию с использованием цветовой идентификации, что обеспечило удобство визуального анализа и последующей обработки результатов.

Таблица 2. Классификация выявленных дефектов покрытия

№	Тип дефекта	Ширина раскрытия, мм	Длина, пог. м	Цвет
1	Поперечные трещины	2–3	45	Фиолетовый
2	Температурные трещины	3–6	17	Синий
3	Локальные трещины различного направления	1–2	6,3	Зелёный
4	Продольные трещины	2–3	7,5	Оранжевый

Анализ представленных данных показывает, что наиболее распространёнными повреждениями обследуемого объекта являются поперечные трещины, суммарная протяжённость которых составила около 45 пог. м. Температурные трещины характеризовались наибольшей шириной раскрытия (до 6 мм), тогда как локальные и продольные трещины имели меньшую протяжённость и раскрытие. Пространственная привязка каждого дефекта к цифровой модели позволила определить его координатное положение относительно конструктивных элементов мостового сооружения и сформировать электронную базу данных повреждений для последующего мониторинга технического состояния объекта.

Полученные результаты подтверждают возможность комплексной цифровой фиксации технического состояния мостового сооружения и подходов к нему. Сформированные ортофотопланы, облака точек и трёхмерная модель обеспечивают не только документирование текущего состояния объекта, но и создают основу для выполнения повторных обследований, оценки динамики развития дефектов и планирования ремонтно-восстановительных мероприятий.

4. Обсуждение

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения технологии лазерного сканирования в сочетании с беспилотными авиационными системами для обследования автодорожных мостовых сооружений. В отличие от традиционных методов визуального осмотра, основанных преимущественно на субъективной оценке специалиста, предложенный подход обеспечивает получение объективной пространственной информации о техническом состоянии мостового полотна и подходов с высокой степенью детализации.

Использование воздушного и наземного лазерного сканирования позволило сформировать единую цифровую модель мостового перехода, объединяющую ортофотоплан, облако точек и трехмерное представление объекта. Такой комплексный подход обеспечивает не только фиксацию существующих дефектов, но и возможность их пространственной локализации, определения геометрических параметров и последующего сопоставления результатов повторных обследований. Это существенно расширяет возможности мониторинга технического состояния мостов по сравнению с традиционными методами диагностики [18].

Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшую эффективность технология демонстрирует при обследовании протяжённых объектов транспортной инфраструктуры, где требуется оперативное получение большого объёма пространственной информации без ограничения движения транспорта. Одновременно применение мобильного лазерного сканирования позволяет обследовать труднодоступные элементы мостового сооружения, включая подмостовое пространство, опоры и пролётные строения, что повышает полноту инженерной диагностики.

Особое значение имеет возможность автоматизированной обработки пространственных данных с использованием алгоритмов распознавания дефектов. Применение цифровой классификации повреждений позволило унифицировать процесс оценки технического состояния покрытия, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить воспроизводимость результатов обследований. При этом координатная привязка каждого дефекта создаёт предпосылки для формирования цифровых дефектных ведомостей и организации долговременного мониторинга изменения технического состояния мостовых сооружений.

Несмотря на полученные преимущества, рассматриваемая технология имеет ряд ограничений. Качество распознавания дефектов зависит от плотности облака точек, точности геодезической привязки, условий освещённости, состояния поверхности покрытия и параметров съёмки. Дефекты с небольшой шириной раскрытия или скрытые повреждения конструкций могут требовать дополнительной проверки посредством визуального обследования либо применения специализированных методов неразрушающего контроля. Следовательно, лазерное сканирование целесообразно рассматривать не как полную замену традиционных методов обследования, а как эффективный инструмент их цифрового развития и комплексного инженерного сопровождения.

Практическая значимость выполненного исследования заключается в возможности использования полученных цифровых моделей при эксплуатации мостовых сооружений. Сформированные ортофотопланы, облака точек и трёхмерные модели могут быть интегрированы в цифровые системы управления мостовыми сооружениями, использоваться для ведения электронных паспортов объектов, формирования дефектных ведомостей, планирования ремонтных мероприятий и оценки динамики развития повреждений. Это особенно актуально в условиях цифровой трансформации дорожной отрасли Республики Казахстан и внедрения технологий информационного моделирования транспортной инфраструктуры.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием методов автоматического распознавания дефектов на основе технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и компьютерного зрения, а также с интеграцией результатов лазерного сканирования в цифровые двойники мостовых сооружений. Это позволит перейти от периодических обследований к системе непрерывного мониторинга технического состояния объектов транспортной инфраструктуры и повысить эффективность принятия решений при их эксплуатации и ремонте.

5. Заключение

В ходе исследования была подтверждена возможность эффективного применения технологии воздушного и наземного лазерного сканирования для диагностики автодорожных мостовых сооружений и подходов к ним. Использование беспилотного авиационного комплекса, мобильного лазерного сканера и современных методов обработки пространственных данных позволило сформировать цифровую модель мостового перехода, включающую ортофотоплан, облако точек и трёхмерное представление объекта.

По результатам обследования были выявлены и классифицированы основные виды дефектов покрытия, включая поперечные, продольные, температурные и локальные

трещины. Пространственная привязка повреждений обеспечила возможность определения их геометрических параметров и точного расположения относительно конструктивных элементов мостового сооружения, что повышает объективность оценки технического состояния объекта.

Исследование показало, что применение технологии лазерного сканирования позволяет существенно повысить информативность инженерных обследований за счёт получения высокоточных пространственных данных, сократить сроки выполнения полевых и камеральных работ, а также создать цифровую основу для документирования технического состояния мостовых сооружений. Интеграция результатов воздушного и мобильного сканирования обеспечивает комплексное обследование как проезжей части, так и труднодоступных элементов моста.

Практическая значимость выполненной работы заключается в возможности использования полученных цифровых материалов для формирования электронных дефектных ведомостей, ведения цифровых паспортов мостовых сооружений, организации мониторинга изменения технического состояния объектов и обоснования приоритетности ремонтно-восстановительных мероприятий. Предложенный подход может быть рекомендован для внедрения в практику обследования мостовых сооружений на автомобильных дорогах Республики Казахстан.

Перспективы дальнейших исследований связаны с совершенствованием алгоритмов автоматического распознавания дефектов на основе технологий искусственного интеллекта, повышением точности обработки облаков точек, а также интеграцией результатов лазерного сканирования в системы информационного моделирования и цифровые двойники транспортной инфраструктуры, что позволит обеспечить более эффективное управление жизненным циклом мостовых сооружений.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Утепбергенов Ж.Е., Аманов Ж.А., Қасымхан Н.А., Белов А.Г. Диагностика автодорожных мостовых переходов с применением технологии лазерного сканирования // Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2026; 2 (14), 38-53. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2026-06>

Cite this article as: Utepbergenov Zh., 1Amanov Zh., 1Kasymhan N. 1 Belov A. Diagnostika avtodorojnyh mostovykh perehodov s primeneniem tehnologii lazernogo skanirovaniya [Laser scanning-based diagnostics of highway bridge crossings]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2026; 2 (14), 38-53. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2026-06>

Литература

1. Kheirkhahan, N., Bellantuono, L., Amoroso, N., Cilli, R., De Biase, L., Lucaferri, V., Monaco, A., Ormando, C., Pantaleo, E., Pomarico, D., Tangaro, S., Tofani, A., & Bellotti, R. (2025). Data-driven assessment of Apulian road network resilience: Bridge unavailability and inner municipality isolation impact. *PLOS One*, 20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0333308>
2. Balijepalli, P. R. B., Soykan, B., & Hasti, V. R. (2026). Traffic and weather driven hybrid digital twin for bridge monitoring. *ArXiv*, abs/2603.14028. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2603.14028>
3. Ibrahim, A., Abdelkhalek, S., Zayed, T. M., Qureshi, A. H., & Abdelkader, E. M. (2024). A Comprehensive Review of the Key Deterioration Factors of Concrete Bridge Decks. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings14113425>
4. Atakhanova, Z., & Baigaliyeva, M. (2025). Kazakhstan's Infrastructure Programs and Urban Sustainability Analysis of Astana. *Urban Science*. <https://doi.org/10.3390/urbansci9040100>

5. Di Criscio, F., Pedone, L., & Pampanin, S. (2026). A defect-based framework for predictive life-cycle assessment of corroded RC bridges. *Procedia Structural Integrity*. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2025.12.252>
6. Ozyildirim, H., Nair, H., & Sharifi, M. (2024). Practical Approaches to Long-Lasting Bridge Decks. *Transportation Research Record*, 2678, 791 - 797. <https://doi.org/10.1177/03611981241242367>
7. Abdelkader, E. M., Zayed, T., & Faris, N. (2023). Synthesized Evaluation of Reinforced Concrete Bridge Defects, Their Non-Destructive Inspection and Analysis Methods: A Systematic Review and Bibliometric Analysis of the Past Three Decades. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13030800>
8. Luo, K., Kong, X., Zhang, J., Hu, J., Li, J., & Tang, H. (2023). Computer Vision-Based Bridge Inspection and Monitoring: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23187863>
9. Ruggieri, S., Cardellicchio, A., Nettis, A., Renó, V., & Uva, G. (2025). Using Attention for Improving Defect Detection in Existing RC Bridges. *IEEE Access*, 13, 18994-19015. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3532832>
10. Mohammadi, M., Rashidi, M., Mousavi, V., Karami, A., Yu, Y., & Samali, B. (2021). Quality Evaluation of Digital Twins Generated Based on UAV Photogrammetry and TLS: Bridge Case Study. *Remote. Sens.*, 13, 3499. <https://doi.org/10.3390/rs13173499>
11. Hosamo, H., & Hosamo, M. (2022). Digital Twin Technology for Bridge Maintenance using 3D Laser Scanning: A Review. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/2194949>
12. Cui, M., Yan, Y., Feng, D., Wu, G., & Zhu, Z. (2025). A Bridge Crack Detection and Localization Approach for Unmanned Aerial Systems Using Adapted YOLOX and UWB Sensors. *Structural Control and Health Monitoring*. <https://doi.org/10.1155/stc/3621939>
13. Tamimi, R., & Toth, C. (2024). Accuracy Assessment of UAV LiDAR Compared to Traditional Total Station for Geospatial Data Collection in Land Surveying Contexts. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-2-2024-421-2024>
14. Li, J., Peng, Y., Tang, Z., & Li, Z. (2023). Three-Dimensional Reconstruction of Railway Bridges Based on Unmanned Aerial Vehicle–Terrestrial Laser Scanner Point Cloud Fusion. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13112841>
15. Ibrahim, H. B., Salah, M., Zarzoura, F. H., & El-Mewafi, M. (2023). Smart monitoring of road pavement deformations from UAV images by using machine learning. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01315-2>
16. Dabous, S. A., Gacem, M. A., Zeiada, W., Hamad, K., & Al-Ruzouq, R. (2025). Artificial intelligence applications in pavement infrastructure damage detection with automated three-dimensional imaging – A systematic review. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.11.081>
17. Chen, C., Chandra, S., & Seo, H. (2022). Automatic Pavement Defect Detection and Classification Using RGB-Thermal Images Based on Hierarchical Residual Attention Network. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22. <https://doi.org/10.3390/s22155781>
18. Li, J., Peng, Y., Tang, Z., & Li, Z. (2023). Three-Dimensional Reconstruction of Railway Bridges Based on Unmanned Aerial Vehicle–Terrestrial Laser Scanner Point Cloud Fusion. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13112841>

References

1. Kheirkhahan, N., Bellantuono, L., Amoroso, N., Cilli, R., De Biase, L., Lucaferri, V., Monaco, A., Ormando, C., Pantaleo, E., Pomarico, D., Tangaro, S., Tofani, A., & Bellotti, R. (2025). Data-driven assessment of Apulian road network resilience: Bridge unavailability and inner municipality isolation impact. *PLOS One*, 20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0333308>
2. Balijepalli, P. R. B., Soykan, B., & Hasti, V. R. (2026). Traffic and weather driven hybrid digital twin for bridge monitoring. *ArXiv*, abs/2603.14028. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2603.14028>
3. Ibrahim, A., Abdelkhalek, S., Zayed, T. M., Qureshi, A. H., & Abdelkader, E. M. (2024). A Comprehensive Review of the Key Deterioration Factors of Concrete Bridge Decks. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings14113425>
4. Atakhanova, Z., & Baigaliyeva, M. (2025). Kazakhstan's Infrastructure Programs and Urban Sustainability Analysis of Astana. *Urban Science*. <https://doi.org/10.3390/urbansci9040100>
5. Di Criscio, F., Pedone, L., & Pampanin, S. (2026). A defect-based framework for predictive life-cycle assessment of corroded RC bridges. *Procedia Structural Integrity*. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2025.12.252>
6. Ozyildirim, H., Nair, H., & Sharifi, M. (2024). Practical Approaches to Long-Lasting Bridge Decks. *Transportation Research Record*, 2678, 791 - 797. <https://doi.org/10.1177/03611981241242367>
7. Abdelkader, E. M., Zayed, T., & Faris, N. (2023). Synthesized Evaluation of Reinforced Concrete Bridge Defects, Their Non-Destructive Inspection and Analysis Methods: A Systematic Review and Bibliometric Analysis of the Past Three Decades. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13030800>
8. Luo, K., Kong, X., Zhang, J., Hu, J., Li, J., & Tang, H. (2023). Computer Vision-Based Bridge Inspection and Monitoring: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23187863>
9. Ruggieri, S., Cardellicchio, A., Nettis, A., Renó, V., & Uva, G. (2025). Using Attention for Improving Defect Detection in Existing RC Bridges. *IEEE Access*, 13, 18994-19015. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3532832>
10. Mohammadi, M., Rashidi, M., Mousavi, V., Karami, A., Yu, Y., & Samali, B. (2021). Quality Evaluation of Digital Twins Generated Based on UAV Photogrammetry and TLS: Bridge Case Study. *Remote. Sens.*, 13, 3499. <https://doi.org/10.3390/rs13173499>
11. Hosamo, H., & Hosamo, M. (2022). Digital Twin Technology for Bridge Maintenance using 3D Laser Scanning: A Review. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/2194949>
12. Cui, M., Yan, Y., Feng, D., Wu, G., & Zhu, Z. (2025). A Bridge Crack Detection and Localization Approach for Unmanned Aerial Systems Using Adapted YOLOX and UWB Sensors. *Structural Control and Health Monitoring*. <https://doi.org/10.1155/stc/3621939>
13. Tamimi, R., & Toth, C. (2024). Accuracy Assessment of UAV LiDAR Compared to Traditional Total Station for Geospatial Data Collection in Land Surveying Contexts. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-2-2024-421-2024>
14. Li, J., Peng, Y., Tang, Z., & Li, Z. (2023). Three-Dimensional Reconstruction of Railway Bridges Based on Unmanned Aerial Vehicle–Terrestrial Laser Scanner Point Cloud Fusion. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13112841>

-
15. Ibrahim, H. B., Salah, M., Zarzoura, F. H., & El-Mewafi, M. (2023). Smart monitoring of road pavement deformations from UAV images by using machine learning. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01315-2>
 16. Dabous, S. A., Gacem, M. A., Zeiada, W., Hamad, K., & Al-Ruzouq, R. (2025). Artificial intelligence applications in pavement infrastructure damage detection with automated three-dimensional imaging – A systematic review. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.11.081>
 17. Chen, C., Chandra, S., & Seo, H. (2022). Automatic Pavement Defect Detection and Classification Using RGB-Thermal Images Based on Hierarchical Residual Attention Network. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22. <https://doi.org/10.3390/s22155781>
 18. Li, J., Peng, Y., Tang, Z., & Li, Z. (2023). Three-Dimensional Reconstruction of Railway Bridges Based on Unmanned Aerial Vehicle–Terrestrial Laser Scanner Point Cloud Fusion. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13112841>