

Научная статья

Original article

УДК 656.11:351.811.121

doi: 10.55186/2413046X_2024_9_6_279

**ПАСПОРТИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДВОЙНИКОВ
CERTIFICATION OF HIGHWAYS USING DIGITAL TECHNOLOGIES
AND TWINS**



***Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий от 30 сентября 2022 г №075-15-2022-1195.*

***Acknowledgments.** The research was carried out with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies dated September 30, 2022 No. 075-15-2022-1195.*

Комарова Анастасия Анатольевна, начальник отдела кадастровых работ и цифровой обработки данных Центра геодезии, аэросъемки и кадастровых работ Института цифры, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, РФ, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Красная, 6. E-mail: a.komarova@i-digit.ru

Акулов Анатолий Олегович, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры менеджмента им. И.П. Поварича, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, РФ, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Красная, 6. E-mail: akuanatolij@yandex.ru

Komarova Anastasia Anatolyevna, Head of the Department of Cadastral Works and Digital Data Processing of the Center for Geodesy, Aerial Photography and Cadastral Works of the Institute of Digitalization, Kemerovo State University, 650000, Russian Federation, Kemerovo Region – Kuzbass, Kemerovo, Krasnaya str., 6. E-mail: a.komarova@i-digit.ru

Akulov Anatoly Olegovich, Cand. of Econ. Sciences, Associate Professor of the Department of Management named after. I.P. Povarich, Kemerovo State University, 650000, Russian Federation, Kemerovo region – Kuzbass, Kemerovo, Krasnaya str., 6. E-mail: akuanatolij@yandex.ru

Аннотация. Большие масштабы автодорожного хозяйства России требуют использования цифровых технологий, создания цифровых двойников для повышения качества управления, при этом следует учитывать ограниченность ресурсов. Цель исследования – разработка и апробация подхода к паспортизации автомобильных дорог на основе создания цифровых двойников с учетом российских нормативных требований. В работе получены цифровые двойники автодорог на основе данных фотосъемки, лазерного сканирования с использованием передвижной дорожной лаборатории. Качество, точность, полнота информации цифровых двойников отвечают российским нормативным требованиям, что позволяет сформировать технические паспорта для постановки объектов на кадастровый учет. Использование цифровых двойников по сравнению с полевым обследованием автодорог имеет в 1,5-2,0 раза более низкую себестоимость, обеспечивает сокращение сроков исполнения работ в 2,5-3,0 раза.

Abstract. The large scale of the Russian road sector requires the use of digital technologies, the creation of digital twins to improve the quality of management, while limited resources should be taken into account. The purpose of the study is to develop and test an approach to the certification of highways based on the creation of digital twins, taking into account Russian regulatory requirements. In this work,

digital twins of roads were obtained based on photographic data and laser scanning using a mobile road laboratory. The quality, accuracy, and completeness of digital twin information meet a Russian regulatory requirement, which makes it possible to generate technical passports for registering objects for cadastral registration. The use of digital twins, compared to field inspection of roads, has a 1.5-2.0 times lower cost and reduces the time required for completing work by 2.5-3.0 times.

Ключевые слова: кадастровый учет, технический паспорт, автодороги, цифровые технологии, цифровой двойник, дорожная лаборатория

Keywords: cadastral registration, technical passport, roads, digital technologies, digital twin, road laboratory

Введение. Обзор литературы

Для России как самой крупной в мире страны по площади, со значительными расстояниями, сравнительно низкой плотностью населения, хозяйственной деятельности, важнейшим стратегическим вопросом, как перспективного развития, так и обеспечения безопасности, является рациональная эксплуатация транспортной инфраструктуры. Важнейшее место в ее составе занимают автомобильные дороги, поскольку на соответствующий вид транспорта приходится более 70% перевозок грузов в стране [1, с. 473], а также более 22% пассажирооборота (автобусы и троллейбусы) [1, с. 477]. Только в собственности граждан находится более 47 млн. легковых машин, большая часть которых ежедневно использует те или иные автодороги [1, с. 479].

В Послании Президента РФ В.В. Путина Федеральному Собранию РФ в 2024 г. было указано, что «Развитие ... региона в целом обеспечивает транспортная инфраструктура. В предстоящие годы особый акцент сделаем на развитии именно региональных дорог» [2]. На 2024-2028 гг. Правительством РФ существенно расширены планы дорожного строительства (380 проектов на общую сумму более 14 трлн. руб.) [3]. Безусловно, как строительство новых дорог, так и рациональная

эксплуатация существующих требуют адекватного информационного обеспечения принятия решений, включая своевременное официальное оформление, внесение в соответствующие базы данных всех объектов данной сферы.

С организационно-управленческой и правовой точек зрения речь идет о таких действиях, как постановка дорог на кадастровый учет (как вновь вводимых, так и фактически существующих, но официально не оформленных), паспортизация эксплуатируемых дорог, включая диагностику состояния покрытия. Отметим, что в России до сих пор насчитывается значительная протяженность автомобильных дорог, не поставленных на кадастровый учет, реально существующих, но не оформленных официально [4]. Права собственности на такие дороги не определены, что исключает финансирование содержания и ремонтов из публичных средств.

Требуется проведение их технической паспортизации, постановка на кадастровый учет, проведение ремонтных работ, что подтверждается судебной практикой, возлагающей на органы местного самоуправления соответствующие обязанности. Причем ссылка на недостаточность бюджетных средств не принимается судами во внимание [5], хотя объективно подавляющее большинство муниципальных образований России не имеют должного финансового потенциала. Даже мониторинг, диагностика технического состояния, дефектов официально оформленных дорог требует значительных средств.

В данной ситуации авторы полагают перспективным самое широкое использование для паспортизации, диагностики автомобильных дорог цифровых технологий, создания цифровых двойников. Практика их применения для решения самых разных научно-технических и прикладных задач, начиная от мониторинга температуры угольных складов [6], заканчивая отслеживанием состояния посевов [7], свидетельствует о наличии значительных конкурентных преимуществ. Применительно к задаче

паспортизации автомобильных дорог их можно сформулировать следующим образом.

Во-первых, сбор и обработка информации с использованием таких средств, как фотокамера, видеокамера, тепловизор, лазерный сканер, размещенных на транспортном средстве (часто – на беспилотном) в цифровом формате имеет существенно более низкую себестоимость по сравнению с полевыми работами, проведением измерений традиционными аналоговыми техническими устройствами. Кроме того, данные, полученные один раз в цифровом формате, могут далее использоваться многократно, комбинироваться с цифровой информацией, полученной из других источников. Значительно снижаются как сугубо финансовые расходы, так и затраты времени, уменьшается или устраняется потребность в специалистах с определенной квалификацией. Это позволяет с тем же объемом ресурсов значительно улучшить качество информационного обеспечения управления, принятия решений.

Во-вторых, при любом полевом обследовании объекта возникает проблема квалификации, мотивации, добросовестности исполнителей, сплошной контроль деятельности которых, как правило, невозможен. Как известно, любым специалистом в процессе профессиональной деятельности могут быть допущены и допускаются те или иные субъективные ошибки. Еще более важно, что результаты сбора информации могут быть искажены вследствие недобросовестности исполнителя, продиктованной оппортунизмом [8, с. 97].

Так, например, при проведении строительных изысканий геодезисты, чтобы сократить свою нагрузку, сэкономить время, могут фактически не подниматься на какие-либо возвышенности, а вносить приближенную информацию «на глаз». Сбор информации с использованием современных цифровых средств практически исключает зависимость от поведения человека-исполнителя. Отметим также, что обследование автомобильных

дорог с высокой интенсивностью движения создает определенные риски для участников полевых работ, которые могут попасть в дорожно-транспортное происшествие.

Следовательно, внедрение цифровых технологий, создание цифровых двойников автомобильных дорог может дать возможность в условиях ограниченности ресурсов достаточно быстро получать полную и точную информацию с минимальными затратами. Это, в свою очередь, позволит органам власти, местного самоуправления, своевременно устранять наиболее существенные недостатки в состоянии автодорог, более качественно планировать плановые ремонты, а также информировать пользователей автотранспорта о состоянии инфраструктуры. Вместе с тем, внедрение цифровых технологий в паспортизацию автомобильных дорог находится на начальной стадии и изучено только в ограниченной степени.

В существующих работах исследуется по преимуществу использование цифровых технологий для мониторинга транспортных потоков, рационализации управления дорожным движением, повышения его безопасности [9, 10, 11]. Среди немногочисленных исследований по созданию цифровых двойников автодорог можно выделить работу [12], где применяются акустические данные в формате WAV, отражающие колебания при взаимодействии колеса с дорогой. Обработка данной информации с применением искусственного интеллекта позволяет определить тип дорожного покрытия, выявить его повреждения, влияющие на безопасность.

В [13] для похожих целей применялись изображения в форматах JPG, JPEG, полученные со смартфонов, устанавливаемых на приборных панелях автомобилей. Распознавание образов типичных повреждений дорожного покрытия с помощью нейронной сети показало достаточную точность моделей автодорог для принятия решений о ремонтах. При этом создание цифровых двойников при эксплуатации дорог достоверно дешевле полевых обследований [14]. Однако данные исследования ориентированы только на

выявление дефектов дорожного покрытия, их применение для полноценной паспортизации автодорог невозможно, т.к. необходим большой объем дополнительной информации. Кроме того, зарубежные работы, естественно, не могут учитывать особенности российской нормативно-правовой базы.

В нашей стране также наблюдается проникновение цифровых технологий в сферу дорожной деятельности, в частности, в управление безопасностью движения, потоками транспорта, а также при проектировании и строительстве новых объектов. Например, в 2023 г. начата работа по созданию цифрового двойника трассы М-11 «Нева» с учетом обеспечения безопасного движения высокоавтоматизированных транспортных средств [15]. Разработан, но на момент выполнения исследования официально не утвержден Национальный стандарт РФ по созданию цифровых моделей автодорог [16].

Однако в российской научной литературе практически не представлены разработки и технологии создания цифровых двойников автодорог, отвечающих нормативным требованиям, обеспечивающих возможность их паспортизации, постановки на учет. Исходя из сказанного, цель исследования – разработка и апробация подхода к паспортизации автомобильных дорог на основе создания цифровых двойников с учетом российских нормативных требований.

Материалы и методы исследования

Работы по созданию цифровых двойников автомобильных дорог выполнялись с использованием передвижной дорожной лаборатории КП-514-RDT, оснащенной комплексом средств измерения (производство АО «СНПЦ РДТ», Россия) на базе грузопассажирского микроавтобуса. Общий вид лаборатории представлен на рисунке 1.

Лаборатория позволяет проводить видеосъемку дорожного полотна, а также лазерное сканирование объектов. Для лазерного сканирования использовались сканеры АГМ-МС3.200 (ООО «АГМ Системы», Россия);

«AlphaUni 10» («СНС Navigation», Китайская Народная Республика). Лаборатория зарегистрирована в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (№75052-19). Проводимые измерения соответствуют требованиям ГОСТ 33388-2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации».



Рис. 1. Общий вид передвижной дорожной лаборатории КП-514-RDT, использованной в исследовании

Для обработки данных, построения цифровых двойников использованы программа «IndorRoad. Эксплуатация автомобильных дорог» (ООО «ИндорСофт», Россия), а также разработанная в Институте цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (КемГУ) программа для ЭВМ «Система управления мониторингом состояния объектов жилищно-коммунального хозяйства (теплотрасс, благоустройства (газоны, городские парки, леса), зданий (кровля, фасады), в части модуля управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог» (авторы А.О. Рада, Н.Ю. Коньков, Д.И. Шумелёв, П.С. Попов, А.Е. Еремеев, К.В.

Результаты и обсуждение

В ходе выполнения работ на первом этапе были получены трехмерные модели дорог, отражающие их общий вид и все инфраструктурные объекты (светофоры, дорожные знаки, пешеходные переходы, сигнальные столбы, искусственное освещение, тротуары, бордюры и др.). В качестве картографической подложки для отображения модели дороги использованы полученные ранее в Институте цифры КемГУ ортофотопланы (высокоточные, трехмерные цифровые двойники местности). Пример отображения дороги на ортофотоплане приведен на рисунке 2.



Рисунок 2. Пример графической визуализации контура автомобильной дороги на ортофотоплане после обработки изображения

Как видно из данных рис. 2, полученный цифровой двойник позволяет определить границы, геодезические координаты участка дороги, а также содержит информацию о наличии дорожных знаков, пешеходных переходов, объектов дорожной инфраструктуры. Данные цифровые двойники дают возможность определить координаты характерных точек контуров

сооружений автомобильных дорог фотограмметрическим способом, с точностью, отвечающей требованиям нормативных документов.

В частности, соблюдается требование Приказа Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23 октября 2020 г. №П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машиноместа». В соответствии с ним средняя квадратическая погрешность определения координат (местоположения) характерных точек на земельных участках, отнесенных к землям населенных пунктов, не должна превышать 0,10 м.

Построение цифрового двойника на следующем этапе работ дает возможность сформировать технический паспорт автодороги, отвечающий действующим требованиям для принятия объекта на кадастровый учет. Рассмотрим в качестве примера результаты паспортизации автомобильной дороги муниципального значения 32-207-ОП-МР-707, «улица Луговая, село Ягуново, Кемеровский муниципальный округ, Кемеровская область – Кузбасс». Получен следующий ортофотоплан, показывающий расположение дороги (рисунок 3).

По результатам камеральной обработки данных фотосъемки и наземного лазерного сканирования были определены характеристики данной дороги, включаемые в технический паспорт в соответствии с требованиями нормативных документов. В частности, определена протяженность дороги (0,455 км), тип покрытия (асфальтобетон на всем протяжении), присвоена четвертая категория, определена ширина земляного полотна, ширина проезжей части по участкам (на 329 м – до 4,0 м, на 126 м – от 4,5 до 5,9 м). Установлено отсутствие радиусов кривых и уклонов, не отвечающих

требованиям строительных норм и правил для данной категории дороги. Составлена ведомость укрепления обочин. Построен точный линейный график рассматриваемой дороги, который подтверждает корректность расчета всех указанных выше данных.



Рисунок 3. Схема автомобильной дороги муниципального значения 32-207-ОП-МР-707, «улица Луговая, село Ягуново, Кемеровский муниципальный округ, Кемеровская область – Кузбасс»

Результаты работы подтверждают, что цифровые данные, полученные путем фотосъемки, лазерного сканирования дают возможность сформировать паспорт автомобильной дороги, отвечающий всем нормативным

требованиям. Во многих случаях обнаруживалось, что информация о дорогах, уже имевшаяся у органов местного самоуправления, искажена, либо не является полной. Часто требуется уточнение тех или иных сведений о типе дорожного покрытия, ширине проезжей части или обочин и т.п. Построение цифровых двойников, таким образом, обеспечивает качественную паспортизацию дорог, как для постановки на кадастровый учет, так и для информационного обеспечения управления, принятия решений.

По итогам паспортизации были актуализированы данные о категориях, классах автодорог. Они, в свою очередь, необходимы, чтобы установить, какие дороги относятся к объектам капитального строительства и требуют постановки на кадастровый учет. В частности, гравийные, щебеночные дороги, в настоящее время согласно позиции судов и органов власти, не относятся к сооружениям, не подлежат государственной регистрации как объекты недвижимости. Соответственно, цифровая паспортизация дала возможность оперативно определить номенклатуру дорог, по которым необходимы кадастровые работы и постановка на учет, определить объем расходов на эти цели.

Использование цифровых технологий и двойников при сохранении необходимого уровня точности и качества информации также ведет к сокращению финансовых и временных затрат. В том числе это достигается за счет использования одних и тех же данных (в частности, характерных точек контуров сооружений, полученных фотограмметрическим методом) как для кадастровых работ, так и для собственно паспортизации. В качестве примера рассмотрим стоимость работ по паспортизации автомобильных дорог одного из небольших населенных пунктов, расположенных в сельской местности в Кемеровской области – Кузбассе.

Необходимый объем работ характеризуется следующими данными. Площадь населенного пункта составляет 518 га, в нем насчитывается 27 единиц автодорог общего пользования протяженностью 21334 м. При этом

11 автодорог общей протяженностью 12799 м имеют асфальтобетонное покрытие, относятся к объектам капитального строительства. 16 автомобильных дорог общей протяженностью 8535 м не относятся к объектами капитального строительства, поскольку являются грунтовыми, либо имеют покрытие щебнем, песчано-гравийной смесью и т.п.

Сравниваются два варианта проведения работ. Первый вариант – традиционные инженерно-геодезические изыскания с проведением съемки дорог на местности с использованием тахеометров, лазерных рулеток, уровней, реек, нивелиров. Второй вариант – комбинирование паспортизации с использованием данных, полученных от передвижной дорожной лаборатории КП-514-RDT и определения положения на местности характерных точек контура сооружения (в данном случае – автодороги) фотограмметрическим методом (по изображениям). Сметные расчеты стоимости и длительности проведения работ привели к следующим выводам.

При проведении работ по традиционной технологии (съемка полотна дороги на местности, расходы на организацию и ликвидацию работ, заработную плату с отчислениями, транспортные расходы) сметная стоимость составила 425,6 тыс. руб., не учитывая плановой прибыли исполнителя. Длительность полевых и камеральных работ в сумме составляет минимум 10 дней. При этом существующие программные продукты для обработки данных полевых работ (например, создания технических паспортов) совместимы только с теми форматами данных, которые можно получить от передвижных дорожных лабораторий. Поэтому исполнителю при камеральной обработке потребуется использовать какую-либо графическую программу (например, «AutoCAD») с ручным внесением данных съемки, а технический паспорт и другие документы оформлять с использованием офисных программ. Это может дополнительно значительно увеличить длительность оформления документов времени.

По второму варианту, когда проводится создание ортофотопланов,

определяется положение характерных точек автодороги фотограмметрическим методом, на основе чего автоматически формируются технические паспорта, суммарные расходы по сметному расчету составят в общей сложности 250,6 тыс. руб. Длительность работ – около 4 дней. При этом на фотограмметрические работы потребуется 101,4 тыс. руб., они будут выполнены за 1 день, на создание цифровых двойников и паспортизацию – 149,3 тыс. руб. и 3 дня.

Таким образом, использование цифровых технологий обуславливает ускорение работ в 2,5-3,0 раза при снижении финансовых расходов в 1,5-2,0 раза. Использование цифровых двойников автодорог для их паспортизации и постановки на кадастровый учет будет иметь существенный положительный эффект как при вводе новых объектов по национальному проекту «Безопасные и качественные дороги», так и при инвентаризации, паспортизации существующих объектов в условиях дефицита ресурсов у органов местного самоуправления.

Выводы

1. Применение цифровых технологий для создания двойников автодорог позволяет получить весь необходимый объем данных для составления технических паспортов с учетом требований российских нормативных документов. Это достигается путем фотосъемки и лазерного сканирования автодорог, по результатам которых формируется цифровой двойник, включающий все сведения, нужные для паспортизации. Точность кадастровых работ и паспортизации при этом отвечает установленным нормам.
2. Использование цифровых технологий и двойников автодорог дает возможность снижения затрат на проведение паспортизации в 1,5-2,0 раза за счет меньшей сметной стоимости. Кроме того, значительно сокращается длительность оформления технических паспортов и иной документации (в 2,5-3,0 раза). Это особенно важно в условиях объективной ограниченности

ресурсов большинства муниципальных образований и регионов России.

3. Применение цифровых двойников обусловит существенное ускорение паспортизации автодорог, права собственности на которые не определены, их постановку на кадастровый учет. Значительно улучшится информационное обеспечение принятия решений органами местного самоуправления, органами государственной власти за счет использования наиболее качественных оперативных данных.

Список источников

1. Российский статистический ежегодник. 2023. М.: Росстат, 2023. 701 с.
2. Послание Президента РФ Федеральному Собранию РФ от 29.02.2024 г. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_471111/.
3. Перечень мероприятий по осуществлению дорожной деятельности в 2024-2028 годах в отношении автомобильных дорог общего пользования федерального значения, находящихся в оперативном управлении подведомственных Росавтодору федеральных казенных учреждений. Утв. распоряжением Правительства РФ от 25.12.2023 г. №3907-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/DgZgA4B1mUMeGNbHwsYcXCd1Msb6lFvD.pdf>.
4. Моляренко О.А. Бесхозные автомобильные дороги в России // ЭКО. 2017. № 4. С. 88–109.
5. Акулов А.О., Кононова С.А. Развитие правового регулирования контроля автодорог в условиях внедрения цифровых технологий // Уголь. 2023. № S12. С. 124–129.
6. Prosekov A.Yu., Rada A.O., Kuznetsov A.D., Timofeev A.E., Osintseva M.A. Environmental monitoring of endogenous fires based on thermal imaging and 3D mapping from an unmanned aerial vehicle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 981. Article no. 042016.
7. Gokool S., Mahomed M., Kunz R., Clulow A., Sibanda M., Naiken V., Chetty K., Mabhaudhi T. Crop monitoring in smallholder farms using unmanned aerial

vehicles to facilitate precision agriculture practices: a scoping review and bibliometric analysis // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 4. Article no. 3557.

8. Уильямсон О.И. Экономические институты капитализма: фирмы, рынки, «отношенческая» контракция. СПб.: Лениздат, 1996. 702 с.

9. Singh R., Sharma R., Akram S., Gehlot A., Buddhi D., Malik P., Arya R. Highway 4.0: Digitalization of highways for vulnerable road safety development with intelligent IoT sensors and machine learning // Safety Science. 2021. Vol. 143. Article ID 105407.

10. Tripathi A., Dadi G.B., Nassereddine H., Sturgill R.E., Mitchell A. assessing technology implementation success for highway construction and asset management // Sensors. 2023. Vol. 23. No. 7. Article ID 3671.

11. Li Y., Zhang W. Traffic flow digital twin generation for highway scenario based on radar-camera paired fusion // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Article ID 642.

12. Jagatheesaperumal S.K., Bibri S.E., Ganesan S., Jeyaraman P. Artificial Intelligence for road quality assessment in smart cities: a machine learning approach to acoustic data analysis // Computational Urban Science. 2023. Vol. 3. Article ID: 28.

13. Ruseruka C., Mwakalonge J., Comert G., Siuhi S., Perkins J. Road condition monitoring using vehicle built-in cameras and GPS sensors: a deep learning approach // Vehicles. 2023. Vol. 5. No. 3. P. 931–948.

14. Kano E., Tachibana S., Tsuda K. Analyzing the impact of digital technologies on the productivity of road maintenance operations // Procedia Computer Science. 2022. Vol 207. P. 1623–1632.

15. РОСДОРНИИ создаст цифровой двойник автомобильной дороги М-11 «Нева». URL: <https://rosdornii.ru/press-center/news/novosti/rosdornii-sozdast-tsifrovoy-dvoynik-avtomobilnoy-dorogi-m-11-neva/>.

16. Дороги автомобильные общего пользования. Цифровая модель автомобильных дорог. Методы сбора и обработки данных. ГОСТ Р (Проект,

https://ancb.ru/files/ck/1686829251_Proekt_GOST_R_Cifrovaya_model_avtomobilnyh_dorog.pdf

References

1. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik. 2023 [Russian Statistical Year Book. 2023]. Moscow, Rosstat, 2023, 701 p. (In Russian).
2. Poslanie Prezidenta RF Federal'nomu Sobraniju RF ot 29.02.2024 [Address of the President of the Russian Federation to the Federal Assembly of the Russian Federation, 02.29.2024]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_471111/
3. Perechen, meroprijatij po osushhestvleniju dorozhnoj dejatel'nosti v 2024-2028 godah v otnoshenii avtomobil'nyh dorog obshhego pol'zovanija federal'nogo znachenija, nahodjashhihsja v operativnom upravlenii podvedomstvennyh Rosavtodoru federal'nyh kazennyh uchrezhdenij. Utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 25 dekabrya 2023 g. №3907-r. [List of measures for the implementation of road activities in 2024-2028 in relation to public roads of federal significance, which are under the operational management of federal government agencies subordinate to Rosavtodor. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated December 25, 2023 No. 3907-r.]. URL: <http://static.government.ru/media/files/DgZgA4B1mUMeGNbHwsYcXCd1Msb6lFvD.pdf>. (In Russian).
4. Molyarenko O.A. Ownerless roads in Russia. ECO. 2017; 47(4): 88–109. (In Russian).
5. Akulov A.O., Kononova S.A. Development of legal regulation of road control in the context of the introduction of digital technologies. Ugol'. 2023; (S12): 124–129. (In Russian).
6. Prosekov A.Yu., Rada A.O., Kuznetsov A.D., Timofeev A.E., Osintseva M.A. Environmental monitoring of endogenous fires based on thermal imaging and 3D

mapping from an unmanned aerial vehicle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022; 981: 042016.

7. Gokool S., Mahomed M., Kunz R., Clulow A., Sibanda M., Naiken V., Chetty K., Mabhaudhi T. Crop monitoring in smallholder farms using unmanned aerial vehicles to facilitate precision agriculture practices: a scoping review and bibliometric analysis. Sustainability. 2023; 15(4): 3557.

8. Williamson O.I. Economic institutions of capitalism: firms, markets, “relational” contracting. St. Petersburg, Lenizdat, 1996, 702 p. (In Russian).

9. Singh R., Sharma R., Akram S., Gehlot A., Buddhi D., Malik P., Arya R. Highway 4.0: Digitalization of highways for vulnerable road safety development with intelligent IoT sensors and machine learning. Safety Science. 2021; 143: 105407.

10. Tripathi A., Dadi G.B., Nassereddine H., Sturgill R.E., Mitchell A. assessing technology implementation success for highway construction and asset management. Sensors. 2023; 23(7): 3671.

11. Li Y., Zhang W. Traffic flow digital twin generation for highway scenario based on radar-camera paired fusion. Scientific Reports. 2023; 13: 642.

12. Jagatheesaperumal S.K., Bibri S.E., Ganesan S., Jeyaraman P. Artificial Intelligence for road quality assessment in smart cities: a machine learning approach to acoustic data analysis. Computational Urban Science. 2023; 3: 28.

13. Ruseruka C., Mwakalonge J., Comert G., Siuhi S., Perkins J. Road condition monitoring using vehicle built-in cameras and GPS sensors: a deep learning approach. Vehicles. 2023; 5(3): 931–948.

14. Kano E., Tachibana S., Tsuda K. Analyzing the impact of digital technologies on the productivity of road maintenance operations. Procedia Computer Science. 2022; 207: 1623–1632.

15. ROSDORNII will create a digital twin of the M-11 Neva highway. URL: <https://rosdornii.ru/press-center/news/novosti/rosdornii-sozdast-tsifrovoy-dvoynik-avtomobilnoy-dorogi-m-11-neva/> (In Russian).

16. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Cifrovaja model' avtomobil'nyh dorog. Metody sbora i obrabotki dannyh. GOST R (Proekt, pervaja redakcija) [Public roads. Digital twins of highways. Methods of data collection and processing. GOST R (Draft, first edition)]. URL: https://ancb.ru/files/ck/1686829251_Proekt_GOST_R_Cifrovaya_model_avtomobilnyh_dorog.pdf. (In Russian).

© Комарова А.А., Акулов А.О., 2024. *Московский экономический журнал*, 2024, № 6.