

Перспективы использования цифровой модели железнодорожного пути в рамках планирования и организации работ

Е.Н. Тимофеев✉, А.А. Севостьянов

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия

✉egtini@vk.com

Резюме

Цифровая модель – это инструмент, который отображает виртуальный набор информации о реальных объектах или их комплексе. Применение этой модели охватывает широкий круг задач, в том числе в транспортной отрасли, в частности на железнодорожном транспорте. Статья содержит рекомендации, разработанные на данных, полученных с помощью аэрофотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов и специализированных программных комплексов. Эти сведения позволяют создать концепцию по внедрению цифровой модели в структурные подразделения ОАО «РЖД». В частности, определены методы и источники обновления базы данных, а также учтены изменения, актуализирующие состояние объектов инфраструктуры. Основными преимуществами использования цифровой модели являются возможности наглядного и интуитивного представления информации, что существенно облегчает выбор рационального решения специалистом. Такая модель позволяет не только визуализировать текущие состояния объектов, но и разрабатывать и тестировать различные сценарии оперативного вмешательства или предупреждения. Это помогает оптимизировать процесс работы, минимизировать вероятность возникновения проблем и повышать общую эффективность производственной деятельности. Рассмотрение конкретных примеров применения цифровых моделей в железнодорожной отрасли показывает, что они могут значительно улучшить качество и оперативность принятия решений. На определенном участке пути был проведен анализ данных, полученных с цифровой модели. По его результатам можно говорить о высокой эффективности этого инструмента. По итогам исследования были представлены сведения, которые имеют практическое значение и могут быть использованы для дальнейшего развития цифровых моделей в различных областях железнодорожного транспорта. Кроме того, цифровая модель открывает новые горизонты для улучшения процесса управления инфраструктурой, а выходные данные позволяют судить о ее пригодности для дальнейшей обработки и прогнозирования изменений. Системы мониторинга, основанные на цифровых моделях, могут стать важным инструментом для поддержания высокого уровня безопасности на железной дороге, а также для повышения эффективности логистических и управленческих процессов. В заключении подчеркивается, что инновационные подходы, в том числе применение цифровых моделей и беспилотных летательных аппаратов, играют ключевую роль в цифровизации железнодорожной отрасли. Исследования и разработки в этом направлении продолжают доказывать свою значимость и перспективность, создавая предпосылки для улучшения транспортных систем.

Ключевые слова

цифровая модель, инфраструктура, железнодорожный транспорт, аэрофотосъемка, контроль рисков, база данных

Для цитирования

Тимофеев Е.Н. Перспективы использования цифровой модели железнодорожного пути в рамках планирования и организации работ / Е.Н. Тимофеев, А.А. Севостьянов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 4 (84). С. 21–31. DOI 10.26731/1813-9108.2024.4(84).21-31.

Информация о статье

поступила в редакцию: 02.08.2024 г.; поступила после рецензирования: 05.12.2024 г.; принята к публикации: 06.12.2024 г.

Prospects for the use of a digital railway track model within the framework of planning and organization of works

E.N. Timofeev ✉, A.A. Sevost'yanov

Siberian Transport University, Novosibirsk, the Russian Federation

✉egtini@vk.com

Abstract

A digital model is a tool that displays a virtual set of information about real objects or their complex. The application of this model covers a wide range of tasks, including the transport industry, in particular rail transport. This article contains developed recommendations based on data obtained by means of aerial photography using unmanned vehicles and specialized software systems. These data allow to create a concept for the implementation of a digital model in the structural divisions of JSC «Russian Railways». In particular, the methods and sources of updating the database have been identified, as well as changes that update the state of infrastructure facilities have been taken into account. The main advantages of using a digital model are the

possibilities of visual and intuitive presentation of information, which greatly facilitates the choice of a rational solution by a specialist. Such a model allows not only to visualize the current conditions of objects, but also to develop and test various scenarios of operational intervention or prevention. This helps to optimize the work process, minimize the likelihood of problems and increase the overall efficiency of production activities. Consideration of specific examples of the use of digital models in the railway industry shows that they can significantly improve the quality and efficiency of decision-making. An analysis of the data obtained from the digital model was carried out on a specific section of the route. The evaluation showed the high efficiency of this tool. As a result of the research, data were presented that are of practical importance and can be used for further development of digital models in various fields of railway transport. In addition, the digital model opens up new horizons for improving the infrastructure management process. The output data allows us to judge the suitability for further processing and forecasting changes. Monitoring systems based on digital models can become an important tool for maintaining a high level of safety on the railway, as well as for improving the efficiency of logistics and management processes. In conclusion, it is emphasized that innovative approaches, including the use of digital models and unmanned aerial vehicles, play a key role in the digitalization of the railway industry. Modern technologies make it possible not only to increase safety and efficiency, but also to create conditions for sustainable infrastructure development. Research and development in this area continues to prove its importance and prospects, opening up new opportunities for improving transport systems.

Keywords

digital model, infrastructure, railway transport, aerial photography, risk control, database

For citation

Timofeev E.N., Sevost'yanov A.A. Perspektivy ispol'zovaniya tsifrovoy modeli zheleznodorozhnogo puti v ramkakh planirovaniya i organizatsii rabot [Prospects for the use of a digital railway track model within the framework of planning and organization of works]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, No. 4(84), pp. 21–31. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.4(84).21-31.

Article Info

Received: August 2, 2024; Revised: December 5, 2024; Accepted: December 6, 2024.

Введение

Цифровые технологии и инструменты активно внедряются в разные сферы во всем мире, в частности и в железнодорожную отрасль [1]. Эффективность управленческих решений при возникновении отказов и неисправностей напрямую зависит от оперативности получения информации. В Единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) хранится обширная база данных, однако в настоящее время она разрознена и может показаться агрессивной средой для пользователя на интуитивном уровне. На рис. 1 представлен пример разнообразности выходных форм.

Например, сведения о техническом состоянии подвижного состава хранятся отдельно от данных о состоянии путевой инфраструктуры (ЕК АСУИ СДМИ) [2]. В случае возникновения инцидента, например, вследствие пучин, требуется оперативный доступ к данным о пучинных местах, геометрии рельсовой колеи и выполненных работах. Однако лица, принимающие решения, не всегда имеют оперативный доступ к необходимой информации. В настоящее время работники структурных подразделений при натурных осмотрах ведут физические записи о пучинных местах и лентах предупреждения. Линейные участки расположены на достаточном

удалении как друг от друга, так и от технического отдела, где консолидируется вся информация об объектах инфраструктуры, что приводит к задержкам в получении информации. Для сокращения времени на принятие решений необходимо объединить разрозненные данные в ЕК АСУИ, обеспечить их оперативную доступность для лиц, принимающих решения, и снизить зависимость от использования физических носителей информации. Это позволит повысить эффективность организации работ по управлению техническим состоянием объектов инфраструктуры, что в конечном итоге сократит потери времени на принятие решений.

Мониторинг обслуживаемых участков железной дороги одна из важных задач, которая может быть решена за счет цифровых технологий. В частности, отслеживание изменений на участках, подверженных деформациям. Деформация земляного полотна может возникать по многим причинам: от изменения нагрузки до воздействия природных факторов. Цифровая модель деформирующегося участка дороги помогает определить возможные проблемы на нем, разработать меры по их предотвращению, а также редактировать модель и обновлять информацию при необходимости.

Обновление баз данных на цифровой модели железной дороги одна из важнейших за-

дач для обеспечения эффективного и безопасного функционирования железнодорожного транспорта [3]. База данных цифровых моделей дорог должна содержать информацию о параметрах верхнего и нижнего строения пути, конструктивных элементах, геодезической сети, нагрузках и деформациях участков, а также о

многих других факторах, влияющих на работу железной дороги. Обновление баз данных позволяет отслеживать изменения в условиях эксплуатации, принимать актуальные решения в области обслуживания и ремонта дороги, а также улучшать эффективность и безопасность железнодорожного транспорта в целом.

		Ведомость искусственных сооружений Па 01.01.20xx г.					
Условия эксплуатации	раздельные пункты						
	мосты и тоннели, переезды						
	продольный профиль						
	план линии						
	установленная скорость пасс./гр., км/ч						
	груз-сть (млн т брутто/1 км в год)/класс и спец-ия линии/класс и код группы						
	№ километра (длина нестандартного километра)						
		2	3	4			
Рельсы	пропущенный тоннаж, млн т брутто на 1 км	величина на 01.01.22 г.	527,3	527,3	341,9		
		протяженность на 01.01.22 г.	185	614	607	316	200
	тип рельсов, тип пути, категория рельсов, термоупрочнение, завод - изготовитель, год укладки	характеристики на 01.01.22 г.	K 88 K 88 K 99				
		характеристики на 01.01.23 г.	K 88 K 88 K 22				
	приведенный и боковой износ рельсов, мм (протяженность - в м нити)	приведенный боковой на 01.01.22 г.					
		протяженность на 01.01.22 г.	200				
		приведенный боковой на 01.01.23 г.					
		протяженность на 01.01.23 г.	200				
	число замененных в одиночном порядке дефектных и о/дефектных рельсов, шт. за год/с начала укладки	на 01.01.22 г.	0 / 1	0 / 13	0 / 6	0 / 6	
		на 01.01.23 г.	0 / 1	0 / 13	0 / 3	0 / 0	
число дефектных рельсов, шт./м нити	на 01.01.22 г.	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0		
	на 01.01.23 г.	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0		
Тип промежуточного скрепления / процент негодных на километре	тип на 01.01.22 г.	ДО ДО ДО					
	% на 01.01.22 г.	9	25	32	29	0	
	тип на 01.01.23 г.	ДО ДО КБ					
	% на 01.01.23 г.	9	25	32	24	0	
Эпюра, род шпал, количество шпал, переводных и мостовых брусев/ количество негодных, шт.	эпюра, род на 01.01.22 г.	1768/0 1897/0С212 1745/0С76					
	количество на 01.01.22 г.						
	эпюра, род на 01.01.23 г.	1768/0 1897/4С212 1745/2С76					
Балласт	род и толщина балласта	род, толщина на 01.01.22 г.					
		протяженность на 01.01.22 г.	200				
	загрязненность балласта более 30% / количество шпал с вылесками	загрязненность на 01.01.22 г.					
		протяженность на 01.01.22 г.	200				
Георешетка и разделительный слой	на 01.01.22 г.						
	на 01.01.23 г.						
Ремонты	год последнего капитального ремонта, реконструкции, строительства	88	88	22			
	вид и год последнего промежуточного ремонта	95					
	вид ремонта в отчетном году						
	потребность в ремонте на 2023 г.	0,80					
план ремонта на 2023, 2024, 2025 г.	0,00						

Рис. 1. Вывод информации о состоянии путевого хозяйства
Fig. 1. Output of information on track facilities status

Для обновления цифровой модели железной дороги на основе съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) нужны обоснования из-за высокой стоимости и трудозатратности процесса. Выполнение ремонтных работ – неотъемлемая часть операций для стабильного функционирования железнодорожного комплекса, и вследствие обновления материальной части требуется обновление цифрового облака для железной дороги, в результате чего мы сможем определить фактические границы проведения ремонта и в рамках жизненного цикла проанализировать изменения в комплексе объектов. Такие мероприятия важны для оценки эффективности реконструкции участков железнодорожного пути, выступающих «узким местом» по грузопотоку (например, участки Байкало-Амурской магистрали).

С целью мониторинга за деформациями из-за сезонных изменений, протекающих в грунтовой массе или балластном слое, необходимо обновление цифрового облака для обозначения положения откосов, чтобы иметь актуальные данные об участках, зарегистрированных в паспорте неустойчивого или деформирующегося земляного полотна (ПУ-9), и выполнять анализ и контроль изменений.

Цифровые модели могут служить эффективным инструментом для управления текущим содержанием железных дорог в объеме планирования площадных работ, а именно удаление растительности или снегоборьба, сведя планирование к моделированию распределения трудозатрат техническим отделом дистанции пути на выполнение технических операций. Ввиду виртуального пространства возможно проводить моделирование различных операционных сценариев, тем самым приняв наиболее оптимальное решение для выполнения необходимых работ [4].

Цель выполненной работы заключается в исследовании применения цифровой модели в железнодорожной отрасли на основе данных, полученных с помощью аэрофотосъемки посредством БПЛА и специализированных программных комплексов. Разработка рекомендаций по внедрению цифровой модели в структурные подразделения ОАО «РЖД» и выявление потенциала цифровых моделей для улучшения управления инфраструктурой и повышения общей эффективности производствен-

ной деятельности также включены в тему исследования.

Материалы и методы исследования

В процессе исследования проанализированы основные отчетные формы для формирования базы данных цифровой модели. По техническому паспорту дистанции пути определены основные характеристики путевого хозяйства, а именно с графической части перенесены иллюстрационные материалы, несущие информацию о состоянии всего верхнего строения пути, а также определено положение кривой с сохранение ее параметров. Взята информация из ПУ-9, вынесены области деформации и в свойства сохранены сведения о наименовании отступления. Из журналов искусственных сооружений, устроенных на исследуемом участке, сохранены основные технические характеристики – год устройства, материалы исполнения, величина водопропускного отверстия или размер «в свету» соответственно для труб и мостов.

Создание цифровой модели осуществлялось на основе процесса моделирования в специализированном программном продукте Metashape посредством натурной съемки, которая выполнена согласно технологическому процессу [5] и с соблюдением общих норм и требований охраны труда [6], что позволило произвести качественную съемку [7, 8]. В качестве основных документов использовались отчеты, содержащие информацию о техническом состоянии объектов, в частности путевого хозяйства, которые позволяют более эффективно управлять объектами инфраструктуры, выявлять проблемные места и принимать оперативные меры по их ликвидации. Данные отчеты построены на основе актуальных параметров, которые обновляются в реальном времени и содержат информацию о различных аспектах, связанных с работой объектов, например, о технических характеристиках, ремонтных работах и т.д.

Обновление базы данных цифровой модели обычно проводится по мере поступления новых сведений о состоянии объектов инфраструктуры. Они могут поступать из различных источников, в том числе по результатам регулярных обследований объектов или проведенных работ. Обновление может проводиться и в случае изменений в окружающей среде, которые могут повлиять на техническое состояние объектов.

Процесс обновления базы данных цифровой модели включает в себя обработку новой информации и ее внесение в базу с целью актуализации сведений о состоянии объектов инфраструктуры. Но стоит отметить не только обработку новых данных, но и проверку и анализ уже имеющейся информации, чтобы убедиться в ее точности и достоверности.

Прикладное применение в структурных подразделениях ОАО «РЖД»

В предыдущих работах рассматривался вопрос создания цифровой модели железнодорожного пути с использованием БПЛА [8]. Получение цифровой модели позволяет специалистам различных структурных подразделений наполнять и анализировать ее.

В контексте выполнения цифровизации железной дороги представляется возможным реализовать взаимосвязь с ЕК АСУИ, через которую осуществляется привязка с реальными объектами инфраструктуры. Это позволит специалистам различных подразделений, ответственных за тот или иной объект, иметь доступ к актуальной и полной информации о его состоянии [9].

Цифровая модель позволяет создать точную кривую, включая ее радиус, длину, возвышение и другие параметры [10], уже напрямую основываясь на координатном методе с погрешностью в долях сантиметров относительно глобальной системы координат [11, 12]. Возможность оперативного доступа к цифровой модели руководителя структурного подразделения позволяет повысить эффективность принятия решений с адресной привязкой к месту работы, наглядно отображая кривую [13], облегчая ее анализ и понимание. В настоящее время планирование текущего содержания и ремонта пути осуществляется на основе данных, которые поступают из различных источников: осмотры пути, измерения геометрических параметров пути и т.д. Эти сведения часто разрознены и не всегда оперативны [14].

Например, специалисты службы пути смогут использовать цифровую модель для планирования необходимых работ. На рис. 2 представлены выходные данные, которые сегодня представляют оперативную доступность, и данные, которые станут оперативно доступны после приведения модели.

Для зданий применительна практика цифровых моделей с этапов проектирования нового строительства или реконструкции оцифрованных сооружений [15]. Теперь же благодаря внедряющимся инструментам аэрофотосъемки специалисты службы дистанций гражданских сооружений могут с точностью определить объемы необходимого ресурса для выполнения ремонтных работ и также имеют возможность виртуального моделирования для оптимального размещения нового капитального строения или временного устройства. Предварительная визуализация скрытых инженерных коммуникаций снижает вероятность повреждений или сбоев в работе систем.

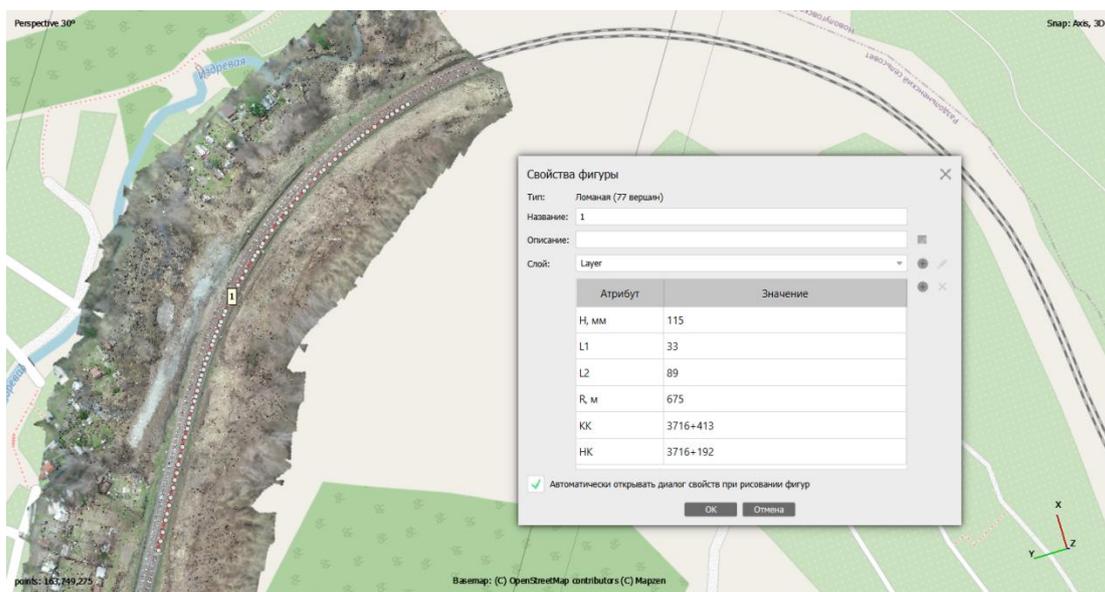
Таким образом, создание цифровой модели железнодорожного пути и ее интеграция в общую вероятную архитектуру ЕК АСУИ открывает широкие возможности для повышения эффективности управления и эксплуатации железнодорожной инфраструктуры. Специалисты различных подразделений смогут получить доступ к актуальной и полной информации о состоянии объектов, что позволит им принимать более обоснованные и оперативные решения.

Одной из ключевых задач дирекций диагностики и мониторинга является регулярная оценка состояния полосы отвода железных дорог. Для этого используются технологии дистанционного зондирования, среди которых все большее применение находят аэрофотосъемки и информация, получаемая для анализа после камеральной обработки. Эти данные имеют важнейшее значение для своевременного выявления и предотвращения опасных ситуаций, связанных с состоянием прилегающих территорий. Современные технологии позволяют решать эту задачу на качественно новом уровне, выполняя поверхностное изменение полосы отвода в границах области интереса в зависимости от периодичности выполненных съемок.

Традиционно оценка состояния полосы отвода осуществлялась на основе обследований, проводимых инженерами и техниками непосредственно на месте. Этот трудоемкий и ресурсоемкий подход зачастую не позволял обеспечить достаточную периодичность мониторинга, особенно на протяженных участках железных дорог. Кроме того, визуальный осмотр и точечные измерения не давали полной картины происходящих изменений, особенно на участках с труднодоступным рельефом.

Местоположение						Длина круговой кривой	R, м	H, мм
НК		КК		L1	L2			
км	м	км	м			м		
4	5	6	7	8	9	10	11	12
3716	192	3716	413	33	89	99	675	115

а



б

Рис. 2. Прикрепление кривых:
а – отчетная форма таблицы; б – цифровая кривая

Fig. 2. Attaching curves:

а – reported table form; б – digital curve

Применение технологий дистанционного зондирования Земли (аэрофотосъемки и спутниковой съемки) значительно расширяет возможности региональных центров диагностики и мониторинга (РЦДМ). Регулярное получение многоракурсных изображений полосы отвода позволяет выявлять и отслеживать даже незначительные изменения ее состояния. При этом точность и детализация данных съемки позволяют выполнять поверхностное изменение границ полосы отвода с высокой точностью. На рис. 3 представлена отчетная форма зарегистрированного деформационного участка и его цифровое представление, которое повышает доступ к участку и дает специалистам возможность виртуально обследовать его.

Ключевым преимуществом такого подхода является возможность проводить мониторинг в границах конкретных областей интереса, где существуют риски для безопасности железнодорожной инфраструктуры. Участки с оползневыми, селевыми или эрозионными процессами, зоны с высокой штормовой активностью и т.д. [16]. Детальные данные дистанционного зондирования позволяют своевременно выявлять изменения ситуации в этих критических зонах и оперативно реагировать на них.

Кроме того, накопление массива регулярных съемок одних и тех же участков полосы отвода дает возможность построения подробных трехмерных моделей местности с привязкой к пространственно-временным данным.

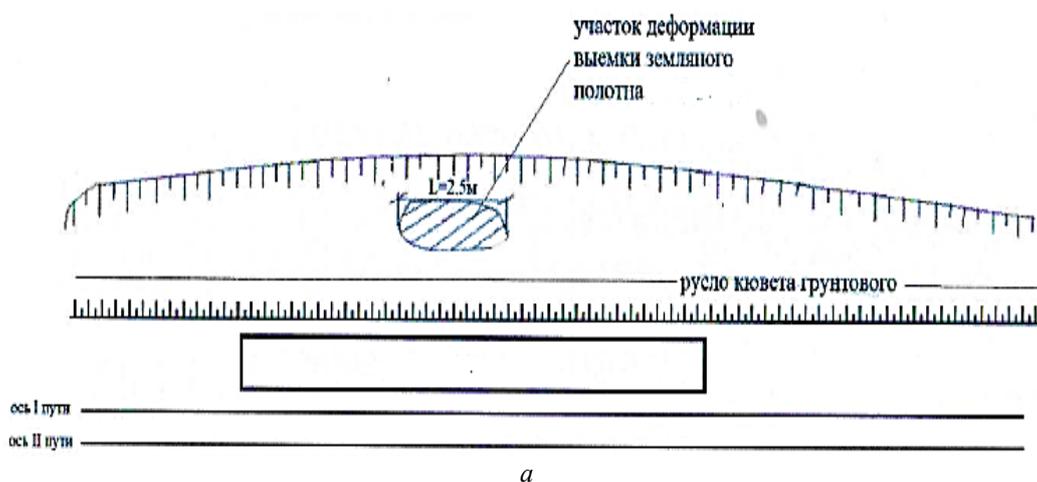
Это существенно повышает наглядность и эффективность анализа происходящих изменений.

Традиционные методы контроля состояния искусственных сооружений, таких как мосты, путепроводы, водопропускные трубы и т.д., заключались в периодических визуальных осмотрах и инструментальных измерениях. Этот трудоемкий и ресурсозатратный подход не всегда обеспечивал своевременное выявление развивающихся дефектов и деформаций. Кроме того, некоторые объекты расположены в труднодоступных местах.

На рис. 4 можно выполнять мониторинг проектно-высотного положения частей оголовка трубной части. Сравнение 3D-моделей, построенных по данным последовательных съемок,

позволяет выявлять даже незначительные смещения и деформации конструкций. Это дает возможность своевременно диагностировать развитие отклонений, оценивать их критичность и принимать необходимые меры для предотвращения аварийных ситуаций.

Особую ценность для структурных подразделений РЦДМ и дистанций инженерных сооружений представляет возможность дистанционного мониторинга объектов, расположенных в труднодоступных районах. Например, водопропускные трубы, расположенные в горных или заболоченных местностях, зачастую были вне зоны регулярного визуального контроля. Теперь, используя данные аэрофото-съемки и спутниковых снимков, специалисты



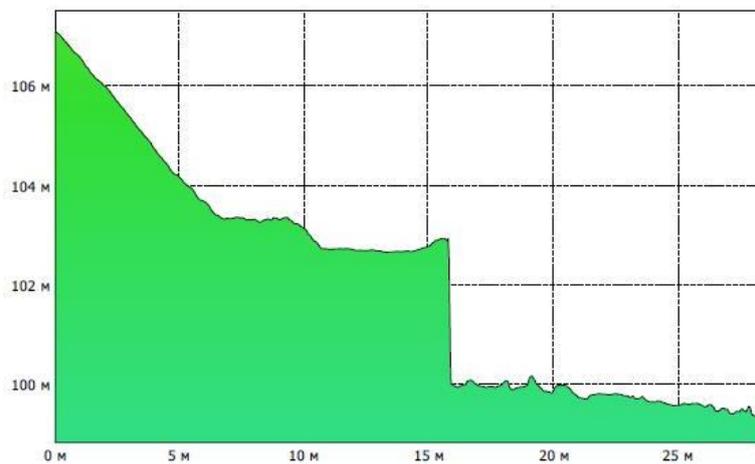
б

Рис. 3. Участок деформации:
а – карточка деформационного участка; *б* – цифровая модель

Fig. 3. Deformation area:
a – deformation area card; *b* – digital model



а



б

Рис. 4. Обследование искусственных сооружений:

а – цифровая модель проектно-высотного положения частей оголовка трубной части;

б – поперечный профиль места расположения оголовка трубной части

Fig. 4. Survey of artificial structures:

а – digital model of the design-height position of the parts of the pipe section head;

б – transverse profile of the location of the pipe section head

могут отслеживать состояние таких объектов, выявлять деформации, заиливание, зарастание растительностью и своевременно реагировать на возникающие проблемы.

Кроме того, накопление архива регулярных съемок инфраструктурных объектов позволяет создавать их подробные 3D-модели с привязкой к пространственно-временным данным. Это дает возможность не только оперативно отслеживать текущее состояние, но и анализировать динамику изменений за дли-

тельные периоды, в разные периоды сезонности года [17].

Результатом исследования является уточнение сфер применения цифровой модели для заинтересованных структурных подразделений в работе с цифровой моделью железнодорожного участка. Данный алгоритм обеспечивает возможность проведения эффективного мониторинга и обслуживания железных дорог с целью обеспечения безопасности и комфорта пассажиров и грузоперевозок. Данная разработка ориен-

тирована на научное исследование объектов в области технологии мониторинга на железнодорожном комплексе.

Периодическая съемка с БПЛА и создание цифровых моделей является важным инструментом для мониторинга изменений на территории объекта, его технического состояния, а также для выполнения ряда практических задач. Рекомендуется проводить плановые съемки в весенний и осенний сезоны. Весенняя съемка обычно проводится после схода снега, что позволяет получить актуальные данные о состоянии дороги и окружающей территории. Осенняя съемка проводится перед началом снегопадов и выводом дорог в зимний режим. Возможны съемки и в другие сезоны. Летом при съемке объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта можно получить важную информацию для путевого хозяйства, например, данные о состоянии зеленых насаждений вдоль железнодорожных путей, и понять, нуждается ли территория в дополнительной обработке и уборке. Зимняя съемка, в свою очередь, является более трудоемкой ввиду короткого светового дня и более быстрой разрядки батареи БПЛА, но материалы, полученные по итогу, могут служить основой для дальнейшего анализа снеготаносимости участков и величины снегового покрова, предоставляя тем самым дополнительную информацию по возможному укреплению или сооружению необходимых инженерных сооружений с целью предупреждения сезонных пучин и т.д.

Стоит сказать о внеплановых съемках, которые могут проводиться для профильных заданий, в частности после возникновения инцидентов, для уточнения информации по запросу об устройстве нижнего или верхнего строения пути с детализацией и геоинформационной привязанностью. Отметим, что беспилотные системы сегодня активно развиваются, вследствие чего необходимо автоматизировать идентификацию проблем безопасности с автоматическим обнаружением отступлений на основе накопленных баз данных [18].

Заключение

На основе проведенной работы по наполнению баз данных с железной дороги на цифровую модель согласно развитию корпоративных систем можно сделать вывод о возможности качественного изменения мониторинга ин-

фраструктуры. Создание подробных цифровых паспортов инфраструктурных объектов, включающих в себя цифровые модели, пространственно-временные данные об изменениях состояния, результаты диагностики и ремонтов, позволит структурным службам дорог перейти на качественно новый уровень управления и обслуживания.

Существуют проблемы в трудоемкости обработки данных по результатам съемки с БПЛА, тогда возникает проблема по наполнению цифровой модели, но в программном комплексе Metashape была выполнена привязка объектов согласно полученным базам данных и выполненным пролетам, и осуществленная привязка переносится с одного облака точек на другое, если геопространственные координаты совпадают. Отсюда создана цифровая модель с наполненной базой данных на основе реального объекта, а также определена сфера применения в зависимости от структурного подразделения ОАО «РЖД».

Цифровая паспортизация обеспечит целостную картину состояния объектов на всех этапах их жизненного цикла – от строительства до вывода из эксплуатации. Это поможет повысить эффективность планирования и проведения ремонтных работ, оптимизировать распределение ресурсов, а также обеспечить более оперативное реагирование на возникающие проблемы. Кроме того, собрание объемов информации в одну базу составит достоверность данных устройства инфраструктуры, что можно будет использовать как основу для передовых методов анализа и прогнозирования. Внедрение в обработку машинных алгоритмов обучения на основе полученной библиотеки позволит использовать рациональные алгоритмы обработки информации и дальнейшего ее применения.

При разработке были предложены новые способы получения сведений о состоянии реальных объектов на основе цифровой модели и методы прогнозирования влияния различных факторов, которые значительно упрощают процессы работы с объектом и повышают точность результатов. Это означает, что технологии, разработанные в рамках проекта, могут быть применены в различных сферах, где необходимо работать с объектами в реальном мире.

Таким образом, внедрение цифровых технологий и БПЛА в железнодорожной отрас-

ли может привести к значительному улучшению процессов работы, но только при соблюдении правил и мер безопасности. Необходимо продолжать деятельность в этом направлении, чтобы достичь максимальной эффективности и минимизировать риски.

Список литературы

1. Шевченко Д.В. Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте // Вестн. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 2021. Т. 80. № 2. С. 91–99.
2. Тарабрин В.Ф., Юрченко Е.В., Лохач А.В. ЕК АСУИ СДМИ – цифровая платформа для предиктивного анализа и управления состоянием железнодорожной инфраструктуры // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 6. С. 25–28.
3. Быков А.А., Челябинова К.В. Использование цифрового проекта пути и электронных карт при строительстве и ремонте железнодорожного пути // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 1. № 1. С. 92–98.
4. Суслов О.А., Федорова В.И. Цифровые двойники – перспективная основа планирования технического обслуживания железнодорожного пути // Наука 1520 ВНИИЖТ: загляни за горизонт : сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. Щербинка, 2021. С. 184–192.
5. Об утверждении правил по охране труда при техническом обслуживании и ремонте объектов инфраструктуры путевого комплекса ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» № 953/р от 08.04.2022 (ред. 14.03.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
6. Типовой технологический процесс № 81400065. Обследование земляного полотна и водоотводных сооружений с применением беспилотных летательных аппаратов : утв. заместителем начальника Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры № ЦДМ-41/п от 19.09.2022.
7. Revealing safety risks of unmanned aerial vehicles in construction / M. Namian, M.Khalid, G. Wang et al. // Transportation research record. 2021. Vol. 2675. Iss. 11. P. 334–347. DOI 10.1177/03611981211017134.
8. Тимофеев Е.Н., Севостьянов А.А., Сокольников А.В. Создание цифровой модели железнодорожного пути с использованием беспилотных летательных аппаратов // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ. 2024. № 1 (68). С. 73–82.
9. Давтян А.М., Дружинина Т.Я., Асалханова Т.Н. Перспективы развития мониторинга железнодорожной инфраструктуры с помощью беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2023 : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, посвящ. празднованию 100-летия отечеств. граждан. авиации. Иркутск, 2023. С. 249–254.
10. Романенко В.В., Рудковский И.В., Ародь Л.Н. Применение современных средств автоматизации для паспортизации кривых на Белорусской железной дороге // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп.: наука и транспорт. 2021. № 2 (43). С. 43–46.
11. Карпов И.Г., Лагерева С.Ю. Содержание рельсовой колеи по координатам // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 3. С. 7–9.
12. Карпов И.Г., Лагерева С.Ю., Асалханова Т.Н. Перспективы развития референтных сетей на железнодорожном транспорте // Вестник транспорта Поволжья. 2021. № 5 (89). С. 26–30.
13. Каташева А.П., Асалханова Т.Н., Осолков А.А. Сравнительный анализ планирования и фактического выполнения работ по текущему содержанию пути по Иркутск-Сортировочной дистанции пути // Молодая наука Сибири. 2020. № 2 (8). С. 73–80. URL: https://mnnv.irkgups.ru/sites/default/files/articles_pdf_files/katashева_асалханова.pdf (дата обращения 18.09.2024).
14. Давтян А.М., Асалханова Т.Н. Использование беспилотных авиационных систем на железнодорожном транспорте // Молодая наука Сибири. 2023. № 1 (19). С. 24–32. URL: <https://ojs.irkgups.ru/index.php/mns/article/view/1035/767> (дата обращения 20.09.2024).
15. Гончаровская В.П., Гулякин Д.В. Виртуальное строительство (цифровая модель здания) // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 98-11. С. 101–104.
16. Асалханова Т.Н., Полищук С.С. Обследование скально-обвальных участков Восточно-Сибирской железной дороги с помощью беспилотных летательных аппаратов // Вестник транспорта Поволжья. 2023. № 3 (99). С. 46–51.
17. Тимофеев Е.Н., Ефимов Н.В., Бакулина В.Е. Применение цифровой модели железной дороги на примере службы пути // Науч.-техн. и эконом. сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2023. Т. 1. С. 431–434.
18. Automated Identification and Qualitative Characterization of Safety Concerns Reported in UAV Software Platforms / A. Di Sorbo, F. Zampetti, C.A. Visaggio et al. // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. 2023. Vol. 32. Iss. 3. DOI 10.1145/3564821.

References

1. Shevchenko D.V. Metodologiya postroeniya tsifrovyykh dvoynikov na zheleznodorozhnom transporte [Methodology of the digital twin construction on the railway transport]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific and Research Institute of the Railway Transport], 2021, Vol. 80, no 2, pp. 91–99.
2. Tarabrin V.F., Yurchenko E.V., Lokhach A.V. EK ASUI SDMI – tsifrovaya platforma dlya prediktivnogo analiza i upravleniya sostoyaniem zheleznodorozhnoi infrastruktury [Unified corporate automated infrastructure management system infrastructure diagnostics and monitoring system – a digital platform for predictive analysis and management of the railway infrastructure condition]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and Track Facilities], 2022, no 6, pp. 25–28.
3. Bykov A.A., Chelyadinova K.V. Ispol'zovanie tsifrovogo proekta puti i elektronnykh kart pri stroitel'stve i remonte zheleznodorozhnogo puti [Use of digital track design and electronic maps in construction and repair of railway track]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], 2019, Vol. 1, no 1, pp. 92–98.
4. Suslov O.A., Fedorova V.I. Tsifrovyye dvoyniki – perspektivnaya osnova planirovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnogo puti [Digital twins – a promising basis for railway track maintenance planning]. *Sbornik materialov I*

Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka 1520 VNIIZhT: zaglyani za gorizont» [Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference «Science 1520 : Look beyond the horizon»]. Shcherbinka, 2021, pp. 184–192.

5. Rasporyazhenie OAO «RZhD» «Ob utverzhenii pravil po okhrane truda pri tekhnicheskome obsluzhivanii i remonte ob'ektov infrastruktury putevogo kompleksa OAO «RZhD» № 953/r ot 08.04.2022 (red. 14.03.2023) [Order of JSC «Russian Railways» no 953/r dated April 8, 2022 (ed. March 14, 2023)].

6. Tipovoi tekhnologicheskii protsess № 81400065. Obsledovanie zemlyanogo polotna i vodootvodnykh sooruzhenii s primeneniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov : utv. zamestitelem nachal'nika Direktsii diagnostiki i monitoringa infrastruktury № TsDM-41/p ot 19.09.2022 [Standard technological process No 81400065. Inspection of the roadbed and drainage structures using unmanned aerial vehicles: approved by the Deputy head of the Directorate of Diagnostics and Monitoring of Infrastructure No TsDM-41/p dated September 19, 2022].

7. Namian M., Khalid M., Wang G., Turkan Y. Revealing safety risks of unmanned aerial vehicles in construction // Transportation research record, 2021, Vol. 2675, iss. 11, pp. 334–347. DOI 10.1177/03611981211017134.

8. Timofeev E.N., Sevost'yanov A.A., Sokol'nikov A.V. Sozdanie tsifrovoi modeli zheleznodorozhnogo puti s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Creation of a digital model of a railway track using unmanned aerial vehicles]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of Siberian State Transport University], 2024, no 1 (68), pp. 73–82.

9. Davtyan A.M., Druzhinina T.Ya., Asalkhanova T.N. Diagnostika i monitoring zheleznodorozhnoi infrastruktury s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Diagnostics and monitoring of railway infrastructure using unmanned aerial vehicles]. *Materialy XVI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i aspirantov, posvyashchennoi prazdnovaniyu 100-letiya otechestvennoi grazhdanskoj aviatsii «Aktual'nye problemy razvitiya aviatsionnoi tekhniki i metodov ee ekspluatatsii – 2023»* [Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates, dedicated to the celebration of the 100th anniversary of Russian civil aviation «Actual problems of development of aviation technology and methods of its operation – 2023»]. Irkutsk, 2023, pp. 249–254.

10. Romanenko V.V., Rudkovskii I.V., Arod' L.N. Primenenie sovremennykh sredstv avtomatizatsii dlya pasportizatsii krivyykh na Belorusskoi zheleznoi doroge [The use of modern automation tools for curve certification on the Belarusian Railway]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport* [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport], 2021, no 2 (43), pp. 43–46.

11. Karpov I.G., Lagerev S.Yu. Soderzhanie rel'sovoi kolei po koordinatam [Rail track maintenance by coordinates]. *Put' i putevye khozyaistvo* [Track and Track Facilities], 2022, no 3, pp. 7–9.

12. Karpov I.G., Lagerev S.Yu., Asalkhanova T.N. Perspektivy razvitiya referentsnykh setei na zheleznodorozhnom transporte [Prospects of the reference networks development on the railway transport]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of the Volga Region Transport], 2021, no 5 (89), pp. 26–30.

13. Katasheva A.P., Asalkhanova T.N., Oskolkov A.A. Sravnitel'nyi analiz planirovaniya i fakticheskogo vypolneniya rabot po tekushchemu soderzhaniyu puti po Irkutsk-Sortirovochnoi distantsii puti [Comparative analysis of planning and actual performance of works on current track maintenance at Irkutsk-Sortirovochnaya track distance]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2020, no 2 (8), pp. 73–80.

14. Davtyan A.M., Asalkhanova T.N. Ispol'zovanie bespilotnykh aviatsionnykh sistem na zheleznodorozhnom transporte [Use of unmanned aircraft systems on railway transport]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2023, no 1 (19), pp. 24–32.

15. Goncharovskaya V.P., Gulyakin D.V. Virtual'noe stroitel'stvo (tsifrovaya model' zdaniya) [Virtual construction (digital model of building)]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Tendencies of science and education development. and education], 2023, no 98-11, pp. 101–104.

16. Asalkhanova T.N., Polishchuk S.S. Obsledovanie skal'no-obval'nykh uchastkov Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Survey of the rocky-rocky sections of the East Siberian railway with the help of unmanned aerial vehicles]. *Vestnik Transporta Povolzh'ya* [Bulletin of the Volga Region Transport], 2023, no 3 (99), pp. 46–51.

17. Timofeev E.N., Efimov N.V., Bakulina V.E. Primenenie tsifrovoi modeli zheleznoi dorogi na primere sluzhby puti [Application of the digital model of the railway on the example of the p service]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of the APR countries in the XXI century], 2023, Vol. 1, pp. 431–434.

18. Di Sorbo A., F. Zampetti, C.A. Visaggio, Di Penta M., Panichella S. Automated Identification and Qualitative Characterization of Safety Concerns Reported in UAV Software Platforms // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 2023, Vol. 32, iss. 3. DOI: 10.1145/3564821.

Информация об авторах

Тимофеев Егор Николаевич, аспирант кафедры инженерной геодезии, инженер научно-исследовательской лаборатории диагностики дорожных одежд и земляного полотна, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: egtini@vk.com.

Севостьянов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: seva2233@yandex.ru.

Information about the authors

Egor N. Timofeev, Ph.D. Student of the Department of Engineering Geodesy, Engineer of Scientific Research Laboratory of Diagnostics of Roadbeds and Ground Bed, Siberian Transport University, Novosibirsk; e-mail: egtini@vk.com.

Alexander A. Sevost'yanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Track and Track Facilities, Siberian Transport University, Novosibirsk, e-mail: seva2233@yandex.ru.