

Построение цифровых двойников железнодорожного пути с помощью мобильных средств диагностики

Т.Н. Асалханова✉, А.М. Давтян

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉asalk-tatyana@yandex.ru

Резюме

В соответствии с государственной программой Российской Федерации «Национальная система пространственных данных», утвержденной постановлением Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148 с целью реализации стратегических направлений развития инновационных технико-технологических решений по использованию пространственных данных и координатных методов управления в производственной деятельности ОАО «РЖД», принята стратегия по цифровой трансформации компании до 2025 г. Стратегия нацелена на эффективное функционирование, модернизацию и инновационное развитие железнодорожного транспорта. Одно из направлений развития в области цифровой трансформации – это моделирование объектов путевой инфраструктуры в режиме реального времени, т.е. построение цифровых моделей железнодорожного пути на основе данных, полученных с мобильных средств диагностики. В статье представлены результаты изучения нормативных документов по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами, методы расшифровки путеизмерительных лент, типы путеизмерителей, контролируемые параметры железнодорожного пути, а также подходы к имитационному моделированию реальных объектов путевой инфраструктуры с помощью внедряемых инновационных технологий диагностики и мониторинга, прогнозирования поведения элементов железнодорожного пути при различных нагрузках в автоматизированной системе управления инфраструктурой. Кроме того, рассмотрен математический аппарат, применяемый для прогнозирования состояния рельсовой колеи по показаниям диагностических комплексов путеизмерителей. Использование современных технологий, внедряемых с помощью мобильных средств диагностики, позволяет решить такие задачи, как совершенствование контроля за содержанием железнодорожного пути, обеспечение комплексной его диагностики, анализ параметров и прогнозирование состояния элементов верхнего строения пути, своевременное устранение выявленных отступлений и неисправностей геометрии рельсовой колеи в режиме параллельной расшифровки, снижение повторов пропусков дефектов, повышение безопасности движения подвижного состава.

Ключевые слова

мобильные средства диагностики, железнодорожный путь, путеизмерительно-диагностический комплекс, цифровой двойник

Для цитирования

Асалханова Т.Н. Построение цифровых двойников железнодорожного пути с помощью мобильных средств диагностики / Т.Н. Асалханова, А.М. Давтян // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 4 (80). С. 54–64. DOI 10.26731/1813-9108.2023.4(80).54-64.

Информация о статье

поступила в редакцию: 26.10.2023 г.; поступила после рецензирования: 24.11.2023 г.; принята к публикации: 27.11.2023 г.

Construction of railway track digital twins using mobile diagnostic tools

T.N. Asalkhanova✉, A.M. Davtyan

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉asalk-tatyana@yandex.ru

Abstract

In accordance with the state program of the Russian Federation «National Spatial Data System», which was approved by the Decree of the Government of the Russian Federation No 2148 dated December 1, 2021 and in order to implement strategic directions for the development of innovative technical and technological solutions for the use of spatial data and coordinate management methods in the production activities of JSC «Russian Railways», a strategy for the digital transformation of the company until 2025 was adopted. The strategy is aimed at the effective functioning, modernization and innovative development of railway transport. One of the directions of development in the field of digital transformation is the modeling of the railway infrastructure objects in real time, i.e. the construction of digital models of the railway track based on data obtained from mobile diagnostic tools. The article presents the results of the study of normative documents on the assessment of the state of the track gauge by track measuring means, methods of decoding track measuring tapes, types of track measuring devices and controlled railway track parameters, as well as approaches to simulation modeling of real objects of track infrastructure using innovative diagnostics and monitoring technologies and forecasting the behavior of elements of the railway track under various loads in an automated

system infrastructure management. A mathematical apparatus is also considered, which is used to predict the state of the track gauge according to the indications of the diagnostic complexes of the track measuring devices. The use of modern technologies implemented by means of mobile diagnostic tools allows to solve such tasks as improving control over the maintenance of the railway track, providing comprehensive diagnostics of its condition, analyzing parameters and predicting the state of the elements of the track's upper structure, timely elimination of identified deviations and malfunctions of the rail track geometry in parallel decoding mode, reducing the number of omitted defects and improving the safety of rolling stock traffic.

Keywords

mobile diagnostic tools, railway track, track measuring and diagnostic complex, digital twin

For citation

Asalkhanova T.N., Davtyan A.M. Postroenie tsifrovyykh dvoynikov zheleznodorozhnogo puti s pomoshch'yu mobil'nykh sredstv diagnostiki [Construction of railway track digital twins using mobile diagnostic tools]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 4(80), pp. 54–64. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.4(80).54-64.

Article Info

Received: October 26, 2023; Revised: November 24, 2023; Accepted: November 27, 2023.

Введение

В Долгосрочной программе развития холдинга ОАО «РЖД» ключевыми инициативами в области инфраструктуры определены подготовка ее объектов для обеспечения пропуски тяжелых поездов, установление гарантийных участков безопасного проследования грузовых поездов увеличенной протяженности, формирование полигонной модели работы путевых машин и диагностических комплексов [1]. Для этих целей в холдинге началось внедрение цифровых технологий и имитационного моделирования железнодорожного пути [2, 3].

Железнодорожный путь относится к инфраструктуре путевого хозяйства холдинга, в которую входят верхнее строение пути, земляное полотно, искусственные сооружения.

Рельсовая колея является одним из элементов верхнего строения пути и объектом, непосредственно взаимодействующим с подвижным составом. От ее технического состояния напрямую зависит безопасность движения поездов с установленными скоростями и затраты на текущее содержание и ремонтно-путевые работы. Неисправности рельсовой колеи могут быть вызваны не только отказами элементов ее конструкции, но и неисправностями земляного полотна и искусственных сооружений [4]. Поэтому диагностике и мониторингу железнодорожного пути уделяется огромное внимание, так как данные, полученные с измерительных средств, позволяют смоделировать реальный объект с учетом фактического воздействия со стороны различных сил и факторов с использованием высокоточных методов координатно-временного обеспечения [5].

Техническое обслуживание и ремонт путевой инфраструктуры выполняется по регламенту с периодичностью, утвержденной в нормативных документах ОАО «РЖД», но такой подход имеет ряд ограничений, связанных с невозможностью максимально и равномерно использовать ресурсы конструкции объектов инфраструктуры, а также выявлять риски возникновения или повторов отказов технических средств. Таким образом, существует потребность в комплексном цифровом инструменте, который помог бы эффективно планировать и организовывать процесс технического обслуживания и ремонта путевой инфраструктуры в зависимости от реального состояния конструкций и объектов, в том числе с возможностью применения инструментов имитационного моделирования [6].

Целью данной статьи является определение подходов к построению цифрового двойника (ЦД) железнодорожного пути. Одним из возможных инструментов в решении этого вопроса могут быть современные технологии, используемые в настоящее время в средствах диагностики и мониторинга.

Анализ средств диагностики и мониторинга объектов путевой инфраструктуры на Восточно-Сибирской железной дороге

Под ЦД понимается система, которая состоит из цифровой модели элемента железнодорожного пути с построением двусторонних информационных связей с другими составными частями объектов путевой инфраструктуры. ЦД должен разрабатываться и применяться на всех

стадиях жизненного цикла объектов инфраструктуры [5, 7].

В соответствии с нормативными документами холдинга ОАО «РЖД» в путевом хозяйстве действует многоуровневая система диагностики и контроля (мониторинга) железнодорожного пути, включающая в себя следующие мероприятия:

- комиссионные осмотры объектов железнодорожного пути, организуемые руководителями различного уровня;

- периодические натурные измерения объектов железнодорожного пути с использованием ручных средств измерения (путевых шаблонов, ручных тележек, линеек, рулеток и др.);

- периодические диагностические исследования объектов пути под реальной нагрузкой с использованием вагонов-лабораторий (путеизмерительных, дефектоскопных), оснащенных диагностическими комплексами «Интеграл», «Эра» [8, 10, 11].

В настоящее время в Иркутском региональном центре диагностики и мониторинга (РЦДМ) эксплуатируются несколько диагностических комплексов, которые позволяют построить ЦД на основе реальных данных. Одним из таких комплексов является самоходный универсальный путеизмерительно-диагностический комплекс (СУПДК) «Север».

К основным функциям данного комплекса относятся:

- контроль геометрических параметров рельсовой колеи;

- оценка в баллах состояния пути по геометрическим параметрам;

- обработка дополнительных параметров (скорость, расстояние, время);

- обработка параметров привязки к исследуемому участку пути (координат километровых столбов, переездов, стрелочных переводов);

- документирование сверхоперативной информации об обнаруженных местах пути с грубыми и опасными отступлениями с одновременной выдачей звукового и светового сигнала, индикацией на мониторе;

- документирование оперативной информации в объеме, достаточном для принятия мер по обеспечению безопасности движения поездов, а также для планирования путевых работ текущего содержания пути;

- ультразвуковая и магнитная дефектоскопия;

- лазерное трехмерное сканирование;

- георадиолокационная диагностика;

- документирование нормативно-отчетной информации в пределах границ административного деления дистанции [12].



Рис. 1. Самоходный универсальный путеизмерительно-диагностический комплекс «Север»

Fig. 1. Self-propelled universal track measuring and diagnostic complex «North»

Самоходный универсальный путеизмерительно-диагностический комплекс «Север»

Комплекс «Север» специально разработан не только для работы в южных и центральных регионах нашей страны, но и в условиях Крайнего Севера. СУПДК может одновременно осуществлять на ходу как диагностирование рельсового хозяйства, так и контроль геометрических параметров колеи главных и приемоотправочных путей. Еще одно предназначение самоходного комплекса – это доставка работников дистанций пути к месту работ.

СУПДК имеет длину 23,5 м, что в 2 раза больше других комплексов и является более комфортабельным для специалистов РЦДМ. Помимо двух кабин машинистов и рабочего салона в нем имеется все, что необходимо для отдыха персонала: три жилых купе, кухня-

столовая, душ с горячей водой (рис. 1) [12].

В аппаратной, разделенной прозрачной перегородкой на две части, установлены два аппаратно-программных комплекса, столы и сиденья для сопровождающих, зона оперативного контроля (перед задними окнами), организационно-техническое автоматизированное рабочее место (ОТ АРМ) в зоне аналитической обработки, аудио- и видеосистемы, позволяющие визуально наблюдать поверхности головки рельсов и колесной пары на мониторах. Видео-запись выполняется с привязкой к записи параметров измерения, поэтому может быть организован просмотр локальных мест отступлений при анализе данных измерений. В мастерской установлены шкафы для рабочей пневматической системы, системы электроснабжения (СЭС), зарядного устройства, блоков радио-

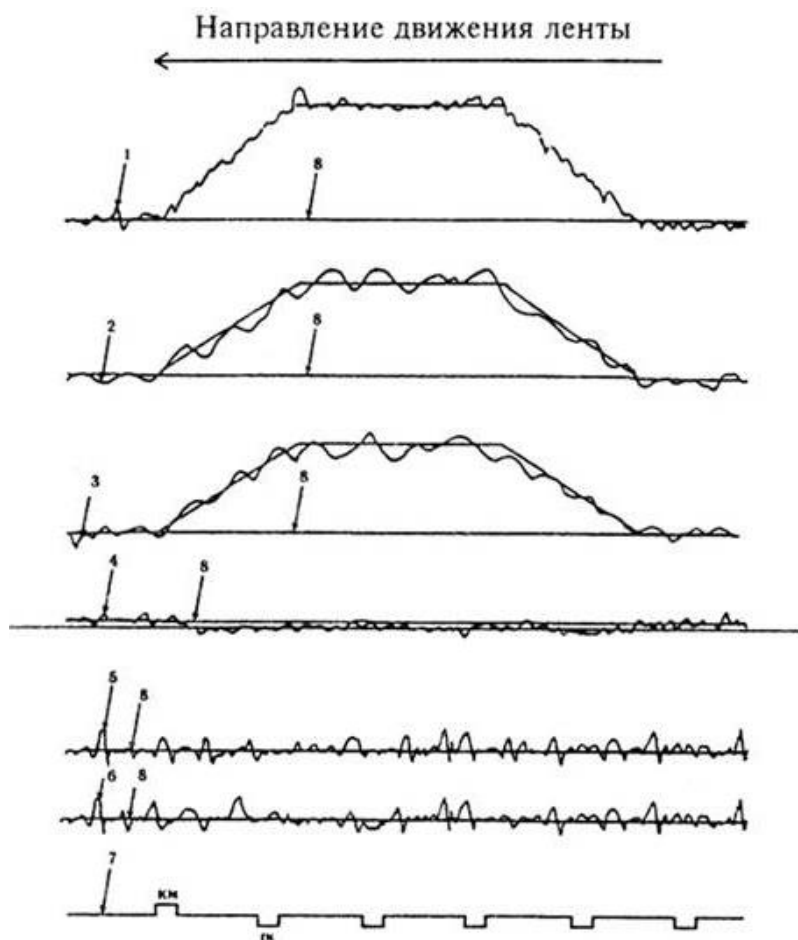


Рис. 2. Образец путеизмерительной ленты с записями:

1 – уровень; 2, 3 – положение в плане правой и левой рельсовых нитей; 4 – ширина колеи; 5, 6 – просадка по правой и левой рельсовым нитям; 7 – расположение пикетов и километров; 8 – нулевые линии

Fig. 2. A sample of a track measuring tape with entries:

1 – level; 2, 3 – position of the right and left rail threads in the plan; 4 – track width; 5, 6 – drawdown on the right and left rail threads; 7 – location of pickets and kilometers; 8 – zero lines

станции, одежды, запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП), а также верстак для выполнения некоторых ремонтных работ. Для удобства наблюдения и технического обслуживания большинство измерительных механизмов с датчиками расположены снизу кузова вагона.

На путеизмерительных вагонах, оборудованных бортовыми автоматизированными системами (БАС), контролируемые параметры рельсовой колеи записываются на путеизмерительную ленту в масштабе: продольный – 1:2 000; уровень – 1:2; просадки – 1:1; ширина колеи – 1:1; отклонения рельсовых нитей в плане – 1:2. Образец путеизмерительной ленты представлен на рис. 2.

Построение цифрового двойника железнодорожного пути на основании путеизмерительных лент с помощью диагностических комплексов

В нашей стране и холдинге ОАО «РЖД» приняты руководящие документы, которые позволяют стандартизировать процессы имитационного моделирования ЦД [13–15]. Принятый в компании подход к построению ЦД определяет четыре основных блока для их создания – статичные объекты (например, верхнее строение пути), динамичные (например, локомотивы), процессы (например, управленческие) и параметры внешней среды. Наличие этих элементов, дополненных алгоритмами пересчета показателей,

позволит моделировать различные сценарии и прогнозировать будущее состояние железнодорожного пути и объектов инфраструктуры. Так, с помощью представления ЦД путевой инфраструктуры можно выявить аномалии в процессах технического обслуживания и достичь различных функциональных целей, таких как управление в режиме реального времени, аналитика в автономном режиме, проверка работоспособности, предиктивное обслуживание, синхронизированный мониторинг/оповещения, анализ больших данных, машинное обучение и т.д. [13].

Для формирования ЦД объектов железнодорожной инфраструктуры широко используются данные от диагностических комплексов (ДКИ) «Интеграл» и «Эра». Согласно распоряжению ОАО «РЖД» «Инструкция по оценке состояния инфраструктуры с использованием новых диагностических средств комплексной диагностики инфраструктуры ОАО «РЖД» от 5 декабря 2011 г. № 2615р, диагностические комплексы «Эра» и «Интеграл» являются средствами комплексной диагностики и мониторинга сетевого и дорожного уровня параметров фактического состояния объектов железнодорожной инфраструктуры, включая объекты хозяйств пути, энергетики и электроснабжения, железнодорожной автоматики и телемеханики. Такие диагностические программные комплексы предназначены для одновременного контроля более 100 характеристик фактического состояния объектов инфраструктуры, которые

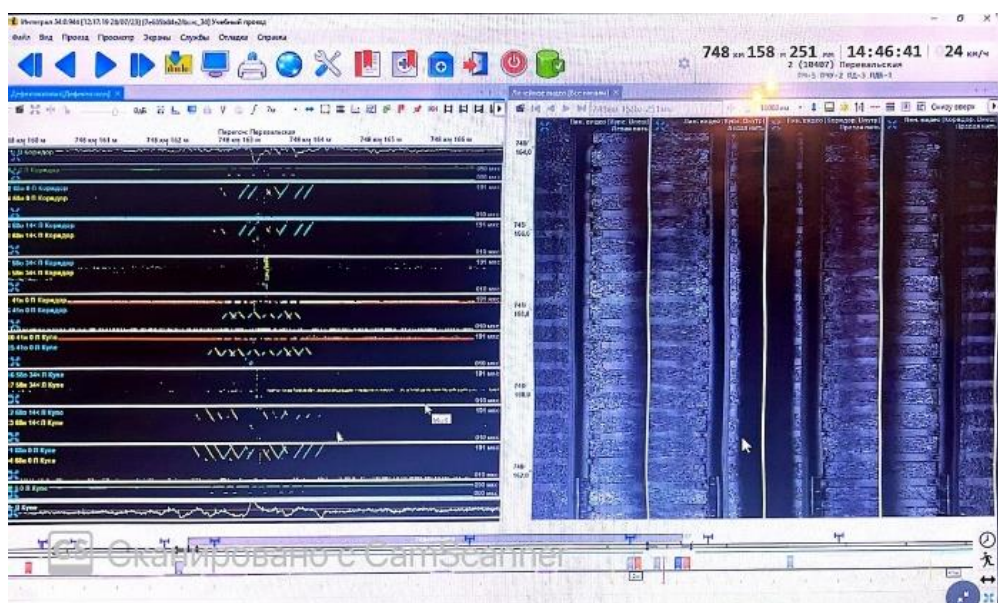


Рис. 3. Измерительная информация диагностического комплекса инфраструктуры «Интеграл»
Fig. 3. Measurement information of the diagnostic infrastructure complex «Integral»

ранее проверялись вручную или узкоспециализированными диагностическими средствами разных служб ОАО «РЖД».

Измерительная информация для дальнейшего анализа, оценки и прогнозирования технического состояния железнодорожного пути и его элементов от ДКИ «Интеграл» представлена на рис. 3.

На основании данных, полученных с ДКИ, строятся 3D-модели объектов железнодорожной инфраструктуры. Например, стрелочный перевод с указанием отклонений от норм содержания по некоторым параметрам: критическое расстояние в крестовине, ширина колеи, взаимное расположение остряков и рамных рельсов (рис. 4).

С учетом изложенного, имитационное моделирование и построение 3D-моделей является необходимой и эффективной технологией для анализа состояния железнодорожного пути, оценки жизненного цикла элементов путевого хозяйства, прогнозирования возможностей появления неисправностей пути. Но для повышения эффективности работы имитационного моделирования пути все равно необходимо рассчитать прогнозные значения, чтобы спланировать и устранить потенциально опасные неисправности на основе полученных значений и закономерностей прогнозирования [16].

Математический процесс прогнозирования состояния рельсовой колеи по показаниям вагона путеизмерителя

На примере СУПДК «Север» рассмотрим математический аппарат прогнозирования со-

стояния рельсовой колеи. Благодаря установленным системам измерения параметров пути, ультразвуковой и магнитной дефектоскопии, лазерного трехмерного сканирования и визуального контроля можно получать достоверную картину путевого инфраструктур. С помощью оборудования записывается состояние рельсовой колеи как непрерывный случайный процесс в пространстве, оценивая состояние участка пути в виде комплексного показателя в диагностическом программном обеспечении «Интеграл», в частности балльной оценки превышений амплитуд неровностей рельсовой колеи, определенных допусками содержания железнодорожного пути по нормативным документам [6].

По результатам прохода по участку L путеизмерительный вагон выдает некоторую интегральную оценку участка пути B (балльная оценка участка или количество отступлений на участке, или скользящее среднее). За N проходов вагона путеизмерителя по выбранному участку пути совокупность этих оценок B_i можно представить как выборочную реализацию временного ряда $B(N)$ от N проходов вагона путеизмерителя:

$$B(N) = M + \zeta,$$

где M – модель процесса изменения состояния пути на участке во времени (от пропущенного тоннажа); ζ – характеризует влияние различных факторов (погрешность средств диагностики, установленных на вагоне, ошибки оператора и т.п.) и генерируется случайным неавтокоррелированным процессом с нулевым математическим ожиданием и конечной дисперсией случайных возмущений.

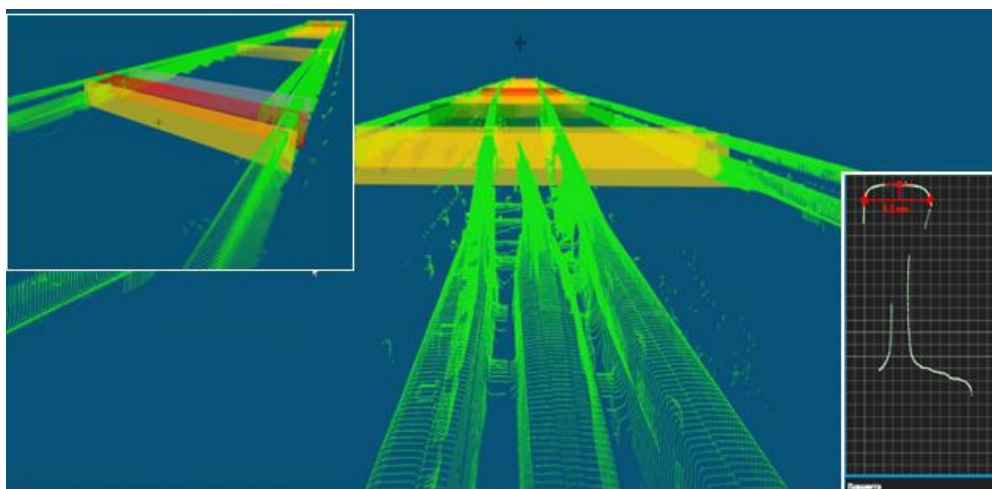


Рис. 4. 3D-модель стрелочного перевода с обозначением отклонений от норм содержания
 Fig. 4. 3D model of the switch with the designation of deviations from the content standards

Для учета влияния работ по техническому обслуживанию железнодорожного пути между проходами вагона путеизмерителя в математической модели определено, что коэффициенты модели должны приспособляться к непрерывно меняющимся условиям эксплуатации железнодорожного пути.

Для анализа законов распределения случайных величин и их числовых характеристик применительно к оценке состояния железнодорожного пути используются бета-распределение B , гамма-распределение G и распределения Гумбеля для минимальных значений – G_{\min} .

Физико-вероятностное обоснование использования распределения случайной величины при анализе надежности железнодорожного пути и путевых машин, механизмов, подвижного состава для технического обслуживания железнодорожного пути представлено в таблице [9, 10, 17].

Исходя из этого, моделирование процесса прогнозирования появления дефектов железнодорожного пути можно принять как бета-распределение B , и как частный случай нормального распределения; гамма-распределения G ; но наиболее эффективным будет применение распределения Гумбеля для минимальных значений G_{\min} .

Использование единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (система диагностики и мониторинга инфраструктуры)

В соответствии с нормативными документами ОАО «РЖД» продолжается инновационное развитие системы диагностики и мониторинга физических активов холдинга, регламентированы правила оценки состояния инфраструктуры при обследовании железнодорожного пути и комплексной оценки технического состояния с помощью мобильных средств диа-

Физико-вероятностное обоснование использования случайной величины
Physical and probabilistic justification of the use of a random variable

Распределение	Рекомендуемое распределение	Рекомендуемое применение
	Физико-вероятностная модель	Применение для ж/д пути
Гамма-распределение G Gamma-distribution G	Наработка до пересечения допустимого уровня компактным случайным процессом с сильным перемешиванием, с монотонными реализациями и с линейным законом изменения математического ожидания Operating time until the admissible level is crossed by a compact random process with strong mixing, with monotonic implementations and with a linear law of change in the mathematical expectation	Распределение времени, необходимого для появления (b) событий с постоянной интенсивностью λ . Пример, наработка до предельно допустимого износа, зависящего от условий эксплуатации в кривых, величина зазоров в рельсовых стыках и т.д. Distribution of the time required for the occurrence of (b) events with constant intensity λ . Example, operating time up to the maximum permissible wear, depending on operating conditions in curves, the size of gaps in rail joints, etc.
Бета-распределение B Beta-distribution B	Случайная величина, зависящая от большого числа случайных малосущественных факторов при наличии нескольких существенных факторов, распределена примерно по бета закону A random variable, depending on a large number of random unimportant factors in the presence of several significant factors, distributed approximately according to the beta law	Оценка доли выявленных дефектных элементов верхнего строения пути (рельсов, шпал, креплений и т.д.) в единицу времени. Время технического обслуживания на ремонтном предприятии Estimation of the proportion of identified defective elements of the upper track structure (rails, sleepers, fastenings, etc.) per unit of time. Maintenance time at a repair facility.
Гумбеля G для минимальных значений, G_{\min} Gumbel G for minimum values, G_{\min}	Распределение значения независимых случайных величин, имеющих вид экспоненты Distribution of the value of independent random variables having the form of an exponent	Независимые случайные величины длительности безотказной работы отдельных элементов распределены по нормальному закону Independent random variables of the duration of failure-free operation of individual elements distributed according to the normal law

гностики (МСД) на базе ДКИ, специализированных МСД состояния объектов хозяйств пути и сооружений (съёмные дефектоскопные тележки, электронные путевые шаблоны, беспилотные летательные аппараты), которые являются основными источниками информации для контроля объектов железнодорожной инфраструктуры в целом. Данные средства позволяют обеспечить привязку исследуемых объектов к железнодорожной путевой и геодезической системе координат (ГЛОНАСС/GPS), а также производить одновременный контроль параметров: геометрии рельсовой колеи (ГРК) – основные параметры, положение пути в плане и продольном профиле, длинные неровности, а также параметров рельсов (короткие неровности, стыковые зазоры, фактические профили головок рельсов, наклон поверхности катания, подуклонка, износы головок рельсов, намагниченность рельсов); верхнего строения пути и земляного полотна (параметры очертания балластной призмы и земляного полотна, георадиозондирование, выявление нестабильных участков балластной призмы и земляного полотна, рельсошпальной

решетки); габаритов приближения строений, мостов, туннелей и величины междупутного расстояния [18–20].

Информация с путеизмерительных средств в режиме онлайн передается в единую корпоративную автоматизированную систему управления инфраструктурой (система диагностики и мониторинга инфраструктуры) (ЕК АСУИ СДМИ) – информационно-аналитическую систему комплексной диагностики и мониторинга железнодорожной инфраструктуры. Система предназначена для анализа и прогнозирования состояния объектов инфраструктуры. Внедрение сквозных цифровых технологий и нейросетей в ЕК АСУИ СДМИ позволяют сформировать цифровую платформу для построения имитационных моделей объектов инфраструктуры [21].

Архитектура ЕК АСУИ СДМИ и интеграционные процессы с системным комплексом ЕК АСУИ показаны на рис. 5.

Результаты обработки информации, которые получают на борту ДКИ, передаются в систему ЕК АСУИ СДМИ, далее в системе

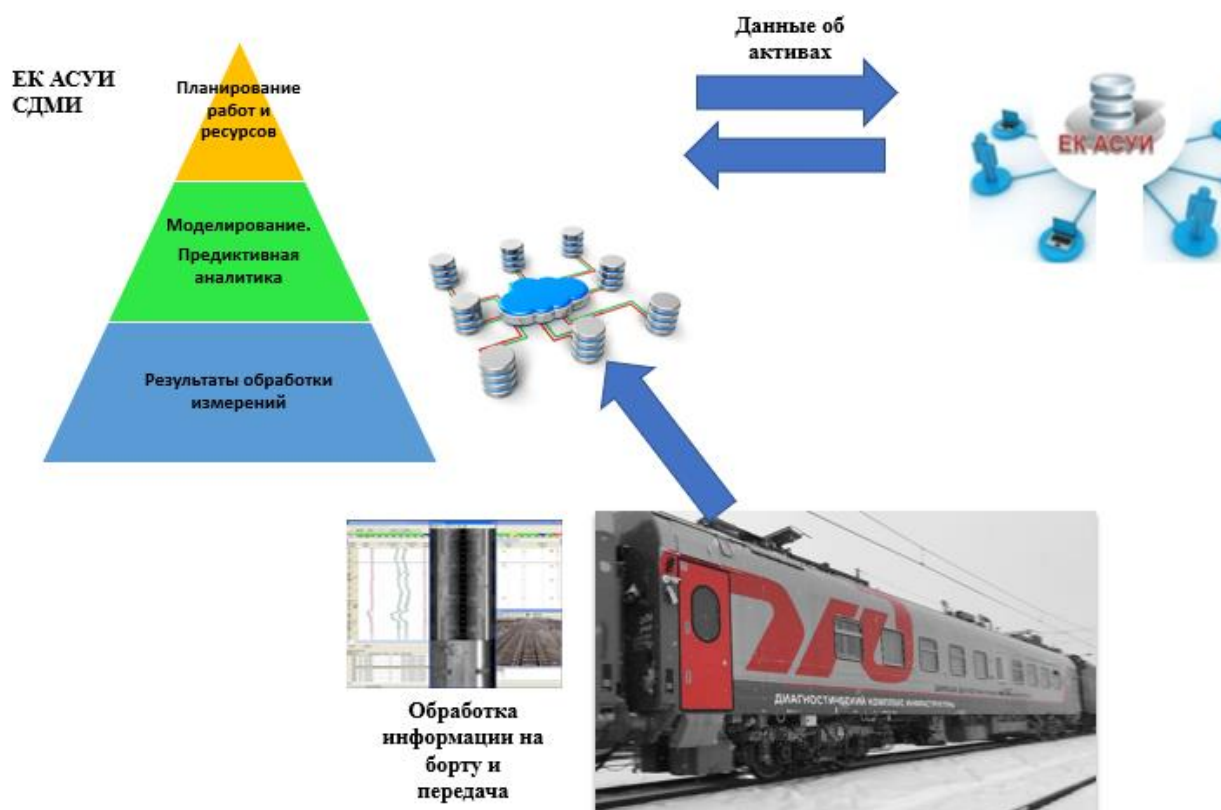


Рис. 5. Функциональная архитектура единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (система диагностики и мониторинга инфраструктуры)

Fig. 5. Functional architecture of the unified corporate automated infrastructure management system (infrastructure diagnostics and monitoring system)

производится моделирование элементов пути и 3D-модель может быть применена при прогнозе эксплуатационного ресурса объектов инфраструктуры, планировании текущего содержания пути и ремонтов, функционировании систем мониторинга.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что построение цифровых двойников на основе данных, полученных с путеизмерительных диагностических комплексов, поможет усовершенствовать работу мобильных и съемных средств диагностики, обеспечить своевременное и точное прогнозирование появления дефектов рельса, отступлений от нормативных показателей и других неисправностей, связанных с верхним строением пути, земляным полотном, объектами железнодорожной инфраструктуры и тем самым обеспечить безопасность движения поездов.

Внедрение инновационных технологий значительно помогает в совершенствовании пу-

теизмерительных комплексов, что предполагает увеличение их рабочих скоростей, установку нового современного оборудования, повышение точности измерения параметров и увеличение числа получаемых параметров, оснащение путеизмерительных вагонов аппаратурой автоматизированной обработки, хранения и передачи полученной информации. В перспективе, согласно Концепции развития систем диагностики и мониторинга объектов путевого хозяйства на период до 2025 г., на сети железных дорог вагоны-путеизмерители должны быть оснащены автономной системой диагностики и диагностическими комплексами [5, 19, 20].

До 2030 г. прогнозируется еще больший прогресс в области имитационного моделирования и построения цифровых двойников железнодорожного пути с помощью диагностических путеизмерительных комплексов, беспилотных летальных аппаратов и других средств диагностики железнодорожной инфраструктуры.

Список литературы

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 19.03.2019 № 466 (ред. 13.10.2022). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
2. О реализации стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года : распоряжение ОАО «РЖД» от 31.07.2020 № 1640/р (ред. 31.03.2021). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
3. Об утверждении дорожной карты научно-технического сопровождения внедрения системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства ОАО «РЖД» с использованием технологии информационного моделирования : распоряжение ОАО «РЖД» от 29.01.2020 № 161/р (ред. 11.04.2022). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
4. Об утверждении инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов : распоряжение ОАО «РЖД» от 28.02.2020 № 436/р (ред. 29.06.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
5. Об утверждении концепции внедрения геоинформационных технологий, в том числе высокоточных методов координатно-временного обеспечения, в производственные процессы строительства, эксплуатации, ремонта и диагностики инфраструктуры, организации движения, управления тяговыми ресурсами : распоряжение ОАО «РЖД» от 30.12.2020 г. № 2976/р. Доступ из справ.-правовой системы «АСПИЖТ» в локальной сети.
6. Об утверждении и введении в действие инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 16.11.2016 № 2288р (ред. 26.05.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
7. Об утверждении положения о порядке верификации программных средств компьютерного моделирования в ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 02.06.2023 № 1326/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
8. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ Минтранса России № 250 от 23.06.2022. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
9. Общие требования к системе менеджмента безопасности движения на железнодорожном транспорте в международном сообщении государств - участников Содружества : утв. протоколом Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 23.06.2023 № 78. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
10. Об утверждении технических требований к конструкции железнодорожного пути и системе его технического обслуживания, обеспечивающей наработку пропущенного тоннажа 2,5 млрд. тонн брутто : распоряжение ОАО «РЖД» от 13.04.2023 № 931/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
11. Об утверждении инструкции по автоматизированному определению, анализу, оценке и использованию в ЕК АСУИ дополнительных параметров устройства и состояния объектов железнодорожного пути, контролируемых диагностическими комплексами ЭРА и ИНТЕГРАЛ : распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2013 № 3009р (ред. 31.12.2015). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
12. Скоростные и высокоскоростные диагностические комплексы инфраструктуры // Твема : сайт. URL: <https://www.tvema.ru/sites/default/files/pdf/629.pdf> (дата обращения 16.10.2023).

13. Об утверждении временной концепции технологии цифрового двойника инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 09.06.2021 № 1281/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
14. ГОСТР 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Введ. 2022–01–01. М. : Российский институт стандартизации, 2021. 15 с.
15. Зуев Д.В., Бочкарёв С.В. Цифровой двойник инфраструктуры ОАО «РЖД» // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 11. С. 11–14.
16. Суслов О.А., Федорова В.И. Цифровые двойники – перспективная основа планирования технического обслуживания железнодорожного пути // Наука 1520 : загляни за горизонт : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Щербинка, 2021. С. 184–192.
17. Сычев П.В. Совершенствование системы технического обслуживания железнодорожного пути на основе моделирования закономерностей его изменения и автоматизации процессов производства : дис. ... канд. техн. наук. М., 2020. 220 с.
18. Об утверждении правил оценки состояния инфраструктуры ОАО «РЖД» (хозяйств пути и сооружений, железнодорожного электроснабжения и железнодорожной автоматики и телемеханики) : распоряжение ОАО «РЖД» № 159/р от 27.01.2022 (ред. 21.06.2023). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
19. Об утверждении концепции развития и реформирования подходов в области диагностирования и мониторинга физических активов ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» № 1896/р от 22.07.2022. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
20. Об утверждении методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности : распоряжение ОАО «РЖД» № 2706р от 22.12.2017. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
21. 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.

References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 19.03.2019 № 466 (red. 13.10.2022) «Dolgosrochnaya programma razvitiya ОАО «RZHD» do 2025 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation. Federation dated March 19, 2019 No 466 (ed. October 13, 2022) «Long-term development program of JSC «Russian Railways» until 2025»].
2. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 31.07.2020 g. № 1640/r «O realizatsii strategii tsifrovoy transformatsii ОАО «RZHD» do 2025 goda» (red. 31.03.2021) [Order of JSC «Russian Railways» dated July 31, 2020 No 1640/r «On the implementation of the Digital Transformation Strategy of JSC «Russian Railways» until 2025» (ed. March 31, 2021)].
3. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 29.01.2020 g. № 161/r «Ob utverzhenii dorozhnoi karty nauchno-tekhnicheskogo so-provozhdeniya vnedreniya sistemy upravleniya zhiznennym tsiklom ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva ОАО «RZHD» s ispol'zovaniem tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya» (red. 11.04.2022) [Order of JSC «Russian Railways» dated January 29, 2020 No 161/r «On approval of the roadmap of scientific and technical support for the implementation of the life cycle management system of capital construction facilities of JSC «Russian Railways» using information modeling technology» (ed. April 11, 2022)].
4. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 28.02.2020 g. № 436/r «Ob utverzhenii instruksii po otsenke sostoyaniya rel'sovoi kolei puteizmeritel'nymi sredstvami i meram po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov» (red. 29.06.2023) [Order of JSC «Russian Railways» dated February 28, 2020 No 436/r «On approval of the instructions for assessing the condition of the track gauge by track measuring means and measures to ensure the safety of train traffic» (ed. June 29, 2023)].
5. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 30.12.2020 g. № 2976/r «Ob utverzhenii kontseptsii vnedreniya geoinformatsionnykh tekhnologii, v tom chisle vysokotochnykh metodov koordinatno-vremennogo obespecheniya, v proizvodstvennye protsessy stroitel'stva, ekspluatatsii, remonta i diagnostiki infrastruktury, organizatsii dvizheniya, upravleniya tyagovymi resursami» [Order of JSC «Russian Railways» dated December 30, 2020 No 2976/r «On approval of the concept of introduction of geoinformation technologies, including high-precision methods of coordinate-time support, in the production processes of construction, operation, repair and diagnostics of infrastructure, traffic management, traction resources management»].
6. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 14.11.2016 g. № 2288r (red. 26.05.2023) «Ob utverzhenii i vvedenii v deistvie instruksii po tekushchemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti» [Order of JSC «Russian Railways» dated November 14, 2016 No 2288r «On the approval and implementation of the instructions for the current maintenance of the railway track» (ed. May 26, 2023)].
7. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 02.06.2023 g. № 1326/r «Ob utverzhenii polozheniya o poryadke verifikatsii programnykh sredstv komp'yuternogo modelirovaniya v ОАО «RZHD» [Order of JSC «Russian Railways» dated June 2, 2023 No 1326/r «About the approval of the regulation on the procedure for verification of computer modeling software in JSC «Russian Railways»].
8. Prikaz Mintransa Rossii № 250 ot 23.06.2022 «Ob utverzhenii Pravil tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiiskoi Federatsii» [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No 250 dated June 23, 2022 «On approval of the Rules of Technical Operation of Railways of the Russian Federation»].
9. Obshchie trebovaniya k sisteme menedzhmenta bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte v mezhdunarodnom soobshchenii gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva: utv. protokolom Soveta po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva ot 23.06.2023 № 78 [General requirements for the railway traffic safety management system in international traffic of the Commonwealth Member States : approved by the Protocol of the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States dated 23.06.2023 No 78].
10. Rasporyazhenie ОАО «RZHD» ot 13.04.2023 № 931/r «Ob utverzhenii tekhnicheskikh trebovaniy k konstruksii zheleznodorozhnogo puti i sisteme ego tekhnicheskogo obsluzhivaniya, obespechivayushchei narabotku propushchennogo ton-nazha 2,5 mlrd. tonn brutto» [Order of JSC «Russian Railways» dated April 13, 2023 No 931/r «On the approval of technical

requirements for the construction of the railway track and its maintenance system, ensuring the operating time of the missed tonnage of 2,5 billion gross tons»].

11. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 31.12.2013 g. № 3009r «Ob utverzhdenii instruktsii po avtomatizirovannomu opredeleniyu, analizu, otsenke i ispol'zovaniyu v EK ASUI dopolnitel'nykh parametrov ustroistva i sostoyaniya ob'ektov zheleznodorozhnogo puti, kontroliruemyykh diagnosticheskimi kompleksami ERA i INTEGRAL» (red. 31.12.2015) [Order of JSC «Russian Railways» dated December 31, 2013 No 3009r «On approval of the instructions for automated determination, analysis, evaluation and use in the unified corporate automated infrastructure management system of additional parameters of the device and condition of railway track facilities controlled by ERA and INTEGRAL diagnostic complexes» (ed. December 31, 2015)].

12. Skorostnye i vysokoskorostnye diagnosticheskie komplekсы инфраструктуры (Elektronnyi resurs) [High-speed and high-speed diagnostic infrastructure complexes (Electronic resource)]. Available at: <https://www.tvema.ru/sites/default/files/pdf/629.pdf> (Accessed October 16, 2023).

13. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 09.06.2021 № 1281/r «Ob utverzhdenii vremennoi kontseptsii tekhnologii tsifrovogo dvoynika infrastruktornogo kompleksa OAO «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» dated June 9, 2021 No 1281/r «On the approval of the temporary concept of the digital twin technology of the infrastructure complex of JSC «Russian Railways»].

14. GOSTR 57700.37-2021 Komp'yuternye modeli i modelirovanie. Tsifrovye dvoyniki izdelii. Obshchie polozheniya [State Standard R 57700.37-2021 Computer models and simulation. Digital twins of products. General provisions]. Moscow: Rossiiskii institut standartizatsii Publ., 2021. 15 p.

15. Zuev D.V., Bochkarev S.V. Tsifrovoy dvoynik infrastruktury OAO «RZhD» [Digital twin of the infrastructure of JSC «Russian Railways»]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics], 2020, no. 11, pp. 11–14.

16. Suslov O.A., Fedorova V.I. Tsifrovye dvoyniki – perspektivnaya osnova planirovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnogo puti [Digital doubles – a promising basis for planning maintenance of a railway track]. *Materialy I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka 1520: zaglyani za gorizont»* [Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference «Nauka 1520: look beyond the horizon»]. Shcherbinka, 2021, pp. 184–192.

17. Sychev P.V. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnogo puti na osnove modelirovaniya zakonornostei ego izmeneniya i avtomatizatsii protsessov proizvodstva [Improvement of the railway track maintenance system based on modeling patterns of its change and automation of production processes]. Ph.D.'s thesis. Moscow, 2020. 220 p.

18. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 159/r ot 27.01.2022 «Ob utverzhdenii pravil otsenki sostoyaniya infrastruktury OAO «RZhD» (khozyaistv puti i sooruzhenii, zheleznodorozhnogo elektrosnabzheniya i zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki)» (red. 21.06.2023) [Order of JSC «Russian Railways» No 159/r dated January 27, 2022 «On approval of the rules for assessing the state of the infrastructure of JSC «Russian Railways» (track farms and structures, railway power supply and railway automation and telemechanics)» (ed. June 21, 2023)].

19. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 1896/r ot 22.07.2022 «Ob utverzhdenii kontseptsii razvitiya i reformirovaniya podkhodov v oblasti diagnostirovaniya i monitoringa fizicheskikh aktivov OAO «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» No 1896/r dated July 22, 2022 «On approval of the concept of development and reform of approaches in the field of diagnostics and monitoring of physical assets of JSC «Russian Railways»].

20. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 2706r ot 22.12.2017 «Ob utverzhdenii metodiki otsenki vozdeistviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyam obespecheniya nadezhnosti» [Order of JSC «Russian Railways» No 2706r dated December 22, 2017 «On approval of the methodology for assessing the impact of rolling stock on the track under the conditions of ensuring reliability»].

21. 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.

Информация об авторах

Асалханова Татьяна Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: asalk-tatyana@yandex.ru.

Давтян Артур Мартикович, аспирант кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: artur.davtyan.2000@list.ru.

Information about the authors

Tat'yana N. Asalkhanova, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: asalk-tatyana@yandex.ru.

Artur M. Davtyan, Ph.D. Student of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: artur.davtyan.2000@list.ru.