

УДК 656.2:625.1:004.8

***СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА***

Язареева Д.Р.

Студент,

Российский университет транспорта,

Москва, Россия

Шмаль В.Н.

к.т.н., доцент,

Российский университет транспорта,

Москва, Россия

Аннотация

С развитием науки и технологий искусственный интеллект становится неотъемлемой частью различных отраслей. В железнодорожном транспорте внедрение технологий искусственного интеллекта открывает новые возможности для комплексной диагностики инфраструктуры. Целью данной статьи является изучение применения технологий искусственного интеллекта для эффективной диагностики железнодорожной инфраструктуры, что способствует повышению безопасности и надежности движения. В статье анализируются отклонения характеристик реального оборудования от идеальной модели, а также приведен пример расчета вероятности отказов.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, искусственный интеллект, диагностика, безопасность движения, надежность, расчет отказов.

***SYSTEMS OF COMPLEX DIAGNOSTICS OF RAILWAY
INFRASTRUCTURE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE***

Yazareeva D.R.

Student,

Institute of Management and Information Technologies

Russian University of Transport (MIIT),

Moscow, Russia

Shmal V.N.

*PhD, Associate Professor of the Department of Operational Management and Safety
in Transport,*

Russian University of Transport (MIIT),

Moscow, Russia

Annotation

With the rapid advancement of science and technology, artificial intelligence is increasingly being utilized across various fields. In railway transport, the integration of artificial intelligence technologies offers innovative solutions for comprehensive infrastructure diagnostics. This article aims to explore the application of artificial intelligence technologies for the effective diagnosis of railway infrastructure to ensure safety and operational continuity. The study examines deviations in the characteristics of real equipment from the ideal model and provides an example of failure probability calculations.

Keywords: railway infrastructure, artificial intelligence, diagnostics, traffic safety, reliability, failure calculation.

Являясь важной частью национальной экономики, железнодорожный транспорт, его безопасность и надежность имеют большое значение для социально-экономического развития. Железнодорожная инфраструктура включает множество критических элементов, таких как пути, стрелочные

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

переводы и контактные сети, которые требуют регулярного контроля и диагностики [9]. Надежность и безопасность перевозок напрямую зависят от своевременного выявления неисправностей и прогнозирования их возникновения.

Традиционные методы диагностики, основанные на ручных измерениях и визуальных осмотрах, характеризуются высокой трудоемкостью, субъективностью и отсутствием систематического подхода. Новые технологии искусственного интеллекта (ИИ), интегрированные с автоматизированными измерительными системами, позволяют оценивать состояние инфраструктуры, а также существенно повысить эффективность мониторинга и прогнозирования состояния инфраструктуры [2;3;5].

Основными ограничениями традиционных методов являются:

1. Сложность обработки большого объема разнородных данных;
2. Низкая точность из-за человеческого фактора;
3. Отсутствие автоматизации при прогнозировании износа и планировании ремонтных работ.

Для геометрии пути часто используют отклонения от идеальной модели [1;4]. Пусть измерения дают положение пути $y_{изм}(x)$, а теоретическое значение $y_{теор}(x)$ рассчитывается как:

$$y_{теор}(x) = y_0 + \frac{v^2}{gR}x,$$

где v — скорость поезда, $g = 9.81 м/с^2$ — ускорение свободного падения, R — радиус кривизны.

Отклонения измеряются как:

$$\Delta y(x) = y_{изм}(x) - y_{теор}(x).$$

Если $|\Delta y(x)|$ превышает допустимое значение $|\Delta y_{\text{доп}}$ это сигнализирует о необходимости ремонта:

$$|\Delta y_{\text{доп}}| = \frac{1}{2} \left(\frac{l}{R} \right).$$

где l — длина колесной базы транспортного средства.

Для объектов с постоянной интенсивностью отказов λ вероятность безотказной работы описывается экспоненциальной функцией:

$$R(t) = e^{-\lambda t},$$

где $R(t)$ — надежность системы, t — время эксплуатации.

Соответственно, вероятность отказа:

$$P_{\text{отказ}}(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Среднее время до отказа (T) для экспоненциального распределения:

$$T = \frac{1}{\lambda}.$$

При необходимости учитывать влияние возраста оборудования интенсивность отказов может изменяться во времени [8]. В этом случае используется распределение Вейбулла:

$$P_{\text{отказ}}(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^k},$$

где θ — параметр масштаба (характерное время), k — параметр формы.

Если $k = 1$, формула сводится к экспоненциальному распределению. Для $k > 1$ вероятность отказов возрастает с течением времени, что характерно для изнашивающихся объектов.

Среднее время до отказа для Вейбулловского распределения:

$$T = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right);$$

где $\Gamma(x)$ — гамма-функция.

Пример расчета отказов.

Пусть $\lambda = 0.01$ отказов в месяц. Для экспоненциального распределения вероятность отказа через год ($t = 12$) составляет:

$$P_{\text{отказ}}(12) = 1 - e^{-0.01 \cdot 12} \approx 0.113.$$

Для Вейбулловского распределения с $k = 2$ и $\theta = 20$ месяцев вероятность отказа за год:

$$P_{\text{отказ}}(12) = 1 - e^{-\left(\frac{12}{20}\right)^2} \approx 0.336.$$

Контроль геометрии пути базируется на измерении параметров, таких как ширина колеи $d(x)$, поперечный профиль пути и уровень наклона.

1. Измерение ширины колеи:

$$\Delta d(x) = d_{\text{изм}}(x) - d_{\text{норм}}$$

где $d_{\text{норм}} = 1520_{\text{мм}}$ для стандартной колеи.

2. Контроль отклонений от уровня:

$$\Delta h(x) = h_{\text{изм}}(x) - h_{\text{норм}}(x).$$

где $h_{\text{изм}}(x)$ — измеренная высота рельса, $h_{\text{норм}}(x)$ — нормативное значение.

3. Стандартное отклонение параметров:

Для оценки качества пути вычисляется стандартное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta y_i - \overline{\Delta y})^2},$$

где n — число измерений, $\overline{\Delta y}$ — среднее отклонение.

Если σ превышает допустимый уровень $\sigma_{\text{дон}}$, это сигнализирует о нарушении нормативов.

Современные системы комплексной диагностики обеспечивают:

1. Прогнозирование неисправностей – использование алгоритмов ИИ позволяет рассчитать вероятность отказов с учетом текущего состояния и накопленных данных;
2. Мгновенную обработку данных – лазерные сканеры, GPS и камеры интегрируются в единую систему, предоставляя информацию в реальном времени;
3. Точность измерений – автоматические системы исключают влияние человеческого фактора [6;7].

Внедрение систем комплексной диагностики, основанных на ИИ и автоматизации, обеспечивает новый уровень контроля железнодорожной инфраструктуры. Эти системы позволяют интегрировать данные, прогнозировать неисправности и оптимизировать планирование ремонтных работ.

Библиографический список:

1. Интеллектуальные технологии в эксплуатационной работе на железнодорожном транспорте / Р. А. Ефимов, И. Н. Шапкин, В. Н. Шмаль, П. А. Минаков. – Москва : ФГБУ ДПО "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2024. – 272 с. – EDN NJYDYH.

2. Каспаров И. В., Попель А. А. Направления применения искусственного интеллекта в области железнодорожного транспорта //Актуальные проблемы современного транспорта. – 2022. – №. 1. – С. 27-34.

3. Максимова Е. С., Шмаль В. Н. Развитие теории управления рисками //Т-Сотт-Телекоммуникации и Транспорт. – 2022. – Т. 16. – №. 2. – С. 39-46.

4. Павлов, С. С. Применение элементов искусственного интеллекта в решении прикладных задач : Учебник / С. С. Павлов, В. Н. Шмаль. – Екатеринбург : Общество с ограниченной ответственностью «Издательские решения», 2022. – 198 с. – ISBN 978-5-0059-3954-8. – EDN YCMBVTD.

5. Томилов М. В. Развитие цифровой среды на железнодорожном транспорте // ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТРАНСПОРТА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ: Материалы международной научно-практической конференции. Институт управления и цифровых технологий. Кафедра «Цифровые технологии управления транспортными процессами». Москва, 2022 – 2022. – С. 172.

6. Цариков В. А., Кравченко Н. Н. Особенности автоматизированной системы комплексной диагностики железнодорожной инфраструктуры «эксперт» // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ: Материалы VI Республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов – С. 173.

7. Щербаков М. В. Модели и методы проактивной поддержки принятия решений при управлении техническим состоянием оборудования: дисс., Волгоград. – 2020.

8. Шешель, А. В. Оптимизация технологии работы технических станций на цифровых технологиях / А. В. Шешель, В. Н. Шмаль // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки : Труды международной научно-практической конференции, Москва, 17 ноября 2023

года. – Москва: ЗАО "Университетская книга", 2023. – С. 100-103. – EDN NUUUJR.

9. Интеллектуальные технологии в эксплуатационной работе на железнодорожном транспорте / Р. А. Ефимов, И. Н. Шапкин, В. Н. Шмаль, П. А. Минаков. – Москва : ФГБУ ДПО "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2024. – 272 с. – EDN NJYDYH.

Оригинальность 75%