УДК 656.212

РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МЕСТ С ПОНИЖЕННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИЙ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

© 2026 В.А. Надежкин, С.А. Надежкина

Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 12.01.2026

В представленной работе рассматривается актуальный вопрос повышения точности диагностирования компонент железнодорожной инфраструктуры за счет применения программных средств. Так, в статье объектом исследования является процесс локализации места с пониженной проводимостью рельсовой линии по причине возникающих дестабилизирующих воздействий. Вследствие несвоевременного детектирования подобного дефекта появляется серьезная угроза для безопасности движения поездов. Соответственно, авторами работы предложен комбинированный подход, интегрирующий анализ влияния возмущающих влияний на параметры рельсовой линии в режиме реального времени и корреляционный анализ изменений параметров четырехполюсника рельсовой линии посредством диагностической модели в среде программирования Python. В результате проведенного исследования установлено, что предложенный способ позволяет с высокой точностью позиционировать место с пониженной проводимостью.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура, позиционирование, рельсовая линия, безопасность движения поездов, диагностическая модель, динамические параметры, излом рельса, информационные технологии.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2(2)-356-362
EDN: BONOWD

ВВЕДЕНИЕ

Утвержденные на сегодняшний день нормативные документы по поддержанию показателей безопасности и эффективной организаций перевозочного процесса и безотказного функционирования компонент железнодорожной инфраструктуры приводят к актуальному вопросу, а именно, важности разработки высокоточных способов диагностики и непрерывного мониторинга состояния целостности железнодорожного пути [1]. Так, вследствие простоев и возникающих задержек подвижного состава из-за непредвиденных отказов компонент железнодорожной инфраструктуры возрастает показатель износа элементов пути. Согласно технологии обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики [2], большинство способов удостоверения отсутствия неисправностей на участке рельсовой линии производится ручными методами, т.е. не за счет непрерывного автоматического мониторинга состояния компонент железнодорожной автоматики и телемеханики, что, в свою очередь, существенно снижает степень достоверности получаемой информации о текущем контрольном состоянии [3]. Соответственно, одним из таких наиболее опасных дефектов, последствие которого приводит к серьезным задержкам поездов, считается излом рельса. Периодический характер отслеживания текущего состояния рельсовых линии не позволяет своевременно обнаружить факт излома, а также точно определить его местоположение без необходимости немедленного выезда эксплуатационного персонала для устранения дефекта.

Эффективным решением актуальной проблемы является проведение анализа динамических параметров рельсовой линии, а также разработка методики позиционирования места излома на основе комплексного анализа этих дестабилизирующих возмущений [4].

Исходя из этого, цель исследования заключается в том, чтобы повысить оперативность и достоверность диагностирования отказов, возникающих по причине влияния дестабилизирующих воздействий, приводящих к повышению сопротивления стыковых соединителей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На сегодняшний день, согласно представленного на рисунке 1 распределения отказов рельсовой линии отображенных в виде диаграммы Парето, где по оси ординат указано количество отказов, на такой элемент, как токопроводящие стыки, приходится порядка 25 % от всего количества отказов [6].

Надежкин Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте». E-mail: v.nadezhkin@samgups.ru
Надежкина Снежана Андреевна, преподаватель кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте». E-mail: s.nadejkina@samgups.ru

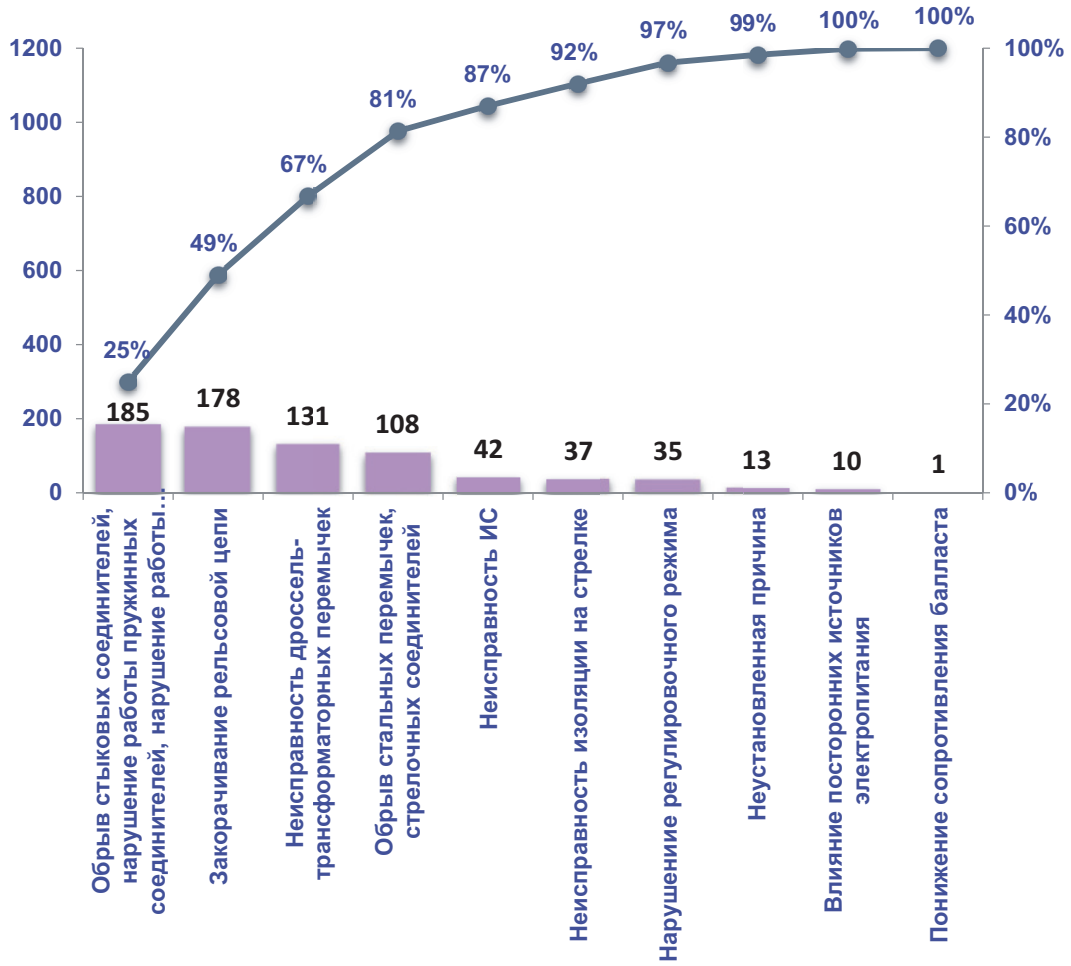

Рис. 1 – Диаграмма актуальных отказов рельсовой линии по элементам за 2024 г.

Для достижения поставленной цели предлагается разработка модуля функционального диагностирования, который, в свою очередь, направлен на устранение погрешностей, получаемых непосредственно при проведении ручных изменений [5]. Так, процесс функционального диагностирования состояний сопротивлений токопроводящих стыков, как компонента рельсовой линии, реализуется за счет периода эксплуатации рельсовых цепей, когда «на ее вход поступает только напряжение источника опроса рельсовых линий для точного определения состояний рельсовых линий, т.е. свободны, неисправны или заняты» [7]. Выражения для токов и напряжений в начале и в конце рельсовой линии представляются следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = y_{11}S_1A_1 + y_{11}C_1A_2 + y_{12}S_2A_3 + y_{12}C_2A_4; \\ \dot{I}_2 = y_{21}S_1A_1 + y_{21}C_1A_2 + y_{22}S_2A_3 + y_{22}C_2A_4; \\ \dot{U}_1 = C_1A_1 + S_1A_2 + C_2A_3 + S_2A_4; \\ \dot{U}_2 = h_1C_1A_1 + h_1S_1A_2 + h_2C_2A_3 + h_2S_2A_4; \end{cases} \quad (1)$$

где $\dot{I}_1, \dot{I}_2$ – комплексные действующие значения токов в начале (индекс 1) и в конце (индекс 2) рассматриваемого участка рельсовой линии;

$\dot{U}_1, \dot{U}_2$ – комплексные действующие значения напряжений между рельсами в начале и в конце участка;

$y_{11}, y_{12}, y_{21}, y_{22}$ – элементы матрицы собственных и взаимных проводимостей (Y-матрицы) для участка линии или подключенных к нему устройств;

h_1, h_2 – переходные коэффициенты;

A_1, A_2, A_3, A_4 –амплитуды прямой и обратной волн напряжения и тока в линии;

$S_1 = \operatorname{sh}\gamma_1 l;\ C_1 = \operatorname{ch}\gamma_1 l;\ S_2 = \operatorname{sh}\gamma_2 l;\ C_2 = \operatorname{ch}\gamma_2 l$ – гиперболические функции;

l – длина рельсовой линии.

Процедура технического диагностирования и непрерывного мониторинга текущего состояния токопроводящих стыков распределенных каждые 25 метров по всей длине рельсовой линии осуществляется посредством сравнения конкретного состояния объекта в данных эксплуатируемых условиях с пространством исправного состояния, т.е. нормативным значением стыков.

Представленное на рис. 2 решение поставленной задачи позволяет своевременно и с низкой вероятностью ошибки определить ухудшение текущего значения при нормальном функционировании элементов рельсовой линии и непосредственно на основе этой информации принять соответствующие меры по восстановлению работоспособности всей системы [8].

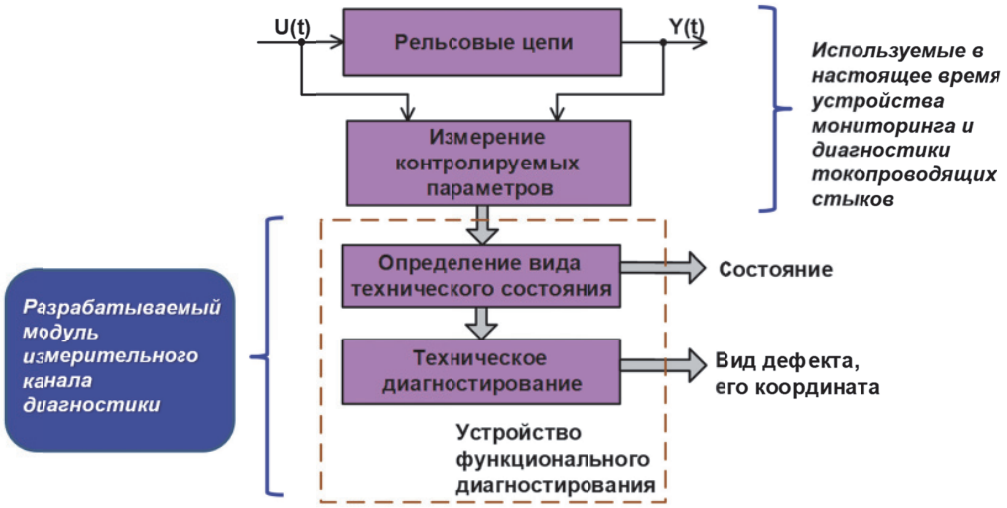

Рис. 2 – Процедура технического диагностирования текущего состояния распределенных токопроводящих стыков

Так, при нормативном состоянии токопроводящих стыков, т.е. исправно работающих, реализуется процесс непрерывного прогноза ресурса эксплуатируемого объекта.

В случае, когда достигается равенство пространства исправного состояния токопроводящего стыка с текущим нормативным значением, осуществляется процесс диагностирования объекта, начинаются поиски причины появления ухудшения нормативных показателей.

При условии, когда показатель текущего контрольного диагностируемого значения объекта становится критическим, происходит процесс определения места отказа, и, соответственно, проводятся работы по приведению стыка в исправное работоспособное состояние.

Для реализации предлагаемого решения, т. е. возможности детектирования координаты конкретного неисправного стыка и выявления их предотказного состояния, предлагается в тестовом варианте осуществить позиционирования одного токопроводящего стыка, вышедшего из строя по причине изменения динамических показателей рельсовой линии [9].

Так, для создания диагностической модели позиционирования неисправного токопроводящего стыка, необходимо синтезировать алгоритм, который по измеренным данным будет вычислять расстояние до дефектного стыка на основе матрицы А-параметров четырехполюсника (1.2) [10], множества информативных признаков $X_i = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, где X_i – образ состояний рельсовой линии в *i*-й момент времени, $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$ – информативные признаки, а также первичных параметров r_o, L_o, g_o, C_o.

$$A = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{ch}\gamma l & Z_B \operatorname{sh}\gamma l \\ \operatorname{sh}\gamma l / Z_B & \operatorname{ch}\gamma l \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где A, B, C, D — параметры четырехполюсника рельсовой линии;

γ — коэффициент распространения в рельсовой линии;

γl — произведение коэффициента распространения на длину линии;

Z_B — волновое сопротивление рельсовой линии;

$\operatorname{ch}\gamma l$, $\operatorname{sh}\gamma l$ — гиперболические косинус и синус от аргумента γl;

l — длина рельсовой линии.

Матрица (1.2) представляет собой текущие контрольные состояния рельсовой линии в нормальном режиме функционирования. Она, в свою очередь, представляется в виде симметричного четырехполюсника, для которого справедливо соотношение $A = D = \operatorname{ch}\gamma l$.

В рельсовой линии для создания комплексной диагностической модели для позиционирования неисправного токопроводящего стыка используются следующие динамические параметры [11, 12]:

$$\begin{cases} Z_0 = r_0 + j\omega L_0 = Z_0 e^{j\varphi_{Z0}}; \\ Y_0 = g_0 + j\omega C_0 = Y_0 e^{j\varphi_{Y0}}; \\ Z = r + j\omega L = Ze^{j\varphi_Z}; \\ Y = g + j\omega C = Ye^{j\varphi_Y}, \end{cases} \quad (3)$$

где Z_0, Y_0 — комплексное сопротивление и проводимость для первичной или основной линии;

r_0 — активное сопротивление рельс (Ом/км);

L_0 —индуктивность рельс (Гн/км);

$j\omega L_0$—индуктивное сопротивление, растущее с частотой;

g_0 — активная проводимость изоляции рельсовой линии (См/км);

C_0 — погонная ёмкость (Ф/км). Ёмкость между двумя рельсами;

$j\omega C_0$—ёмкостная проводимость;

φ_{Z0} , φ_{Y0} , φ_Z , φ_Y — аргументы (фазы) соответствующих комплексных величин.

Соответственно, составим программу на языке программирования Python с использованием библиотек Matplotlib и NumPy, учитывая все представленные выше динамические параметры рельсовой линии, общую длину участка примем равной 2,5 км, а также расстояние между распределенными токопроводящими стыками 25 м, и общее количество стыков равным 101.

Разработанная программа состоит из нескольких взаимосвязанных модулей, обеспечивающих полный цикл анализа - от вычисления параметров до визуального представления результатов диагностики [13].

```
# Отмечаем все стыки
joints_x = np.arange(0, total_length + joint_spacing, joint_spacing)
for i, x in enumerate(joints_x[:-1]):
    if i + 1 == faulty_joint_number:
        # Неисправный стык - красный
        ax1.plot(x, 0, 'ro', markersize=8, markeredgecolor='red',
                 markerfacecolor='red', label='Неисправный стык' if i == 0 else "")
    else:
        # Исправные стыки - зеленые
        ax1.plot(x, 0, 'go', markersize=6, markeredgecolor='green',
                 markerfacecolor='lightgreen', label='Исправные стыки' if i == 0 else "")
```

Рис. 3 – Фрагмент кода, реализующий визуализацию неисправного токопроводящего стыка

На рисунке 3 представлен фрагмент кода для вывода схематического отображения токопроводящих стыков на участке пути с выделением неисправного соединения.

```
# Отображаем параметры
y_pos = 0.8
for param, value in parameters.items():
    ax2.text(0.1, y_pos, f'{param}: {value}', fontsize=12,
             bbox=dict(boxstyle="round,pad=0.3", facecolor="lightblue", alpha=0.7))
    y_pos -= 0.12

# График изменения сопротивления в области неисправности
x_detailed = np.linspace(max(0, (faulty_joint_number - 3) * joint_spacing),
                         min(total_length, (faulty_joint_number + 2) * joint_spacing), 100)

# Моделируем аномалию сопротивления вокруг неисправного стыка
resistance = 1 + 0.5 * np.exp(
    -(x_detailed - (faulty_joint_number - 1) * joint_spacing) ** 2 / (2 * (joint_spacing / 3) ** 2))

ax2_inset = ax2.inset_axes([0.55, 0.1, 0.4, 0.7])
ax2_inset.plot(x_detailed, resistance, 'b-', linewidth=2, label='Сопротивление')
ax2_inset.axvline(x=(faulty_joint_number - 1) * joint_spacing, color='red', linestyle='--',
```

Рис. 4 – Фрагмент программного кода, реализующего функцию «анализ зоны неисправности токопроводящего стыка»

Данная часть программного кода (рис.4) реализует комплексную визуализацию диагностической информации о неисправном токопроводящем стыке с применением гауссовой функции для моделирования пика сопротивления, предоставляя детальные технические параметры и графический анализ аномалии сопротивления.

На рисунке 5 реализуется часть кода, отвечающая за анализ неисправностей токопроводящих стыков, сочетающую графическое представление с алгоритмической диагностикой.

```
ax2_inset = ax2.inset_axes([0.55, 0.1, 0.4, 0.7])
ax2_inset.plot(x_detailed, resistance, 'b-', linewidth=2, label='Сопротивление')
ax2_inset.axvline(x=(faulty_joint_number - 1) * joint_spacing, color='red', linestyle='--',
                  label='Неисправный стык')
ax2_inset.set_xlabel('Расстояние, м', fontsize=10)
ax2_inset.set_ylabel('Относительное сопротивление', fontsize=10)
ax2_inset.set_title('Изменение сопротивления в зоне неисправности', fontsize=11)
ax2_inset.legend()
ax2_inset.grid(True, alpha=0.3)
```

Рис. 5 – Часть программного кода, реализующего детальною визуализацию аномалий сопротивления

Результатом программы служит следующий график (рис. 6):

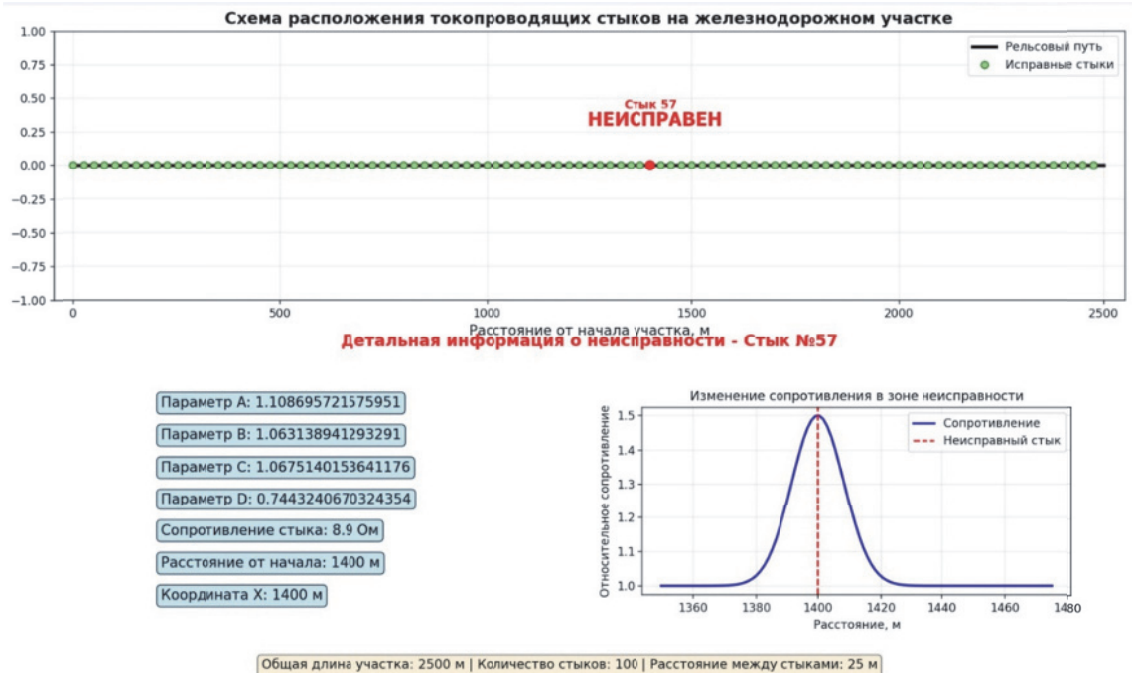

Рис. 6 – Вывод информации о неисправном токопроводящем стыке

На рисунке представлена схематическая модель участка длиной 2500 м с равномерно распределенными токопроводящими стыками. Исправные соединения обозначены зелеными маркерами, тогда как неисправный стык выделен красным цветом и увеличенным размером маркера для акцентирования внимания. Для удобства идентификации пронумерованы неисправный стык и его ближайшие соседи. Надпись «НЕИСПРАВЕН» дополнительно указывает на дефектное соединение. Координатная сетка позволяет точно определить местоположение каждого стыка относительно начала участка. Параметры рельсовой линии для данной конкретной модели были получены из системы технического диагностирования и мониторинга железнодорожной автоматики и телемеханики и введены вручную. Однако данная модель разработана как прототип для интеграции в модуль измерительного канала сопротивления токопроводящих стыков, где в штатном режиме аналогичные данные с систем мониторинга будут поступать и обрабатываться напрямую, без ручного вмешательства. Таким образом, визуализация не только обеспечивает быструю идентификацию зоны неисправности, но и служит основой для отладки алгоритмов будущей автоматической системы диагностирования и мониторинга рельсовой линии, предназначенной для оперативного выявления дефектов и планирования ремонтных работ по фактическому состоянию.

На схеме отображен неисправный стык №57 из рассматриваемых 101 распределенного токопроводящего стыка на протяженном участке рельсовой линии длиной 2,5 км.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования была разработана и апробирована диагностическая модель для позиционирования дефектов рельсовой линии. Основным результатом работы стал функционирующий программный комплекс на Python, обеспечивающий точную локализацию неисправных токопроводящих стыков с дискретностью 25 метров. В результате тестового прогона модель корректно идентифицировала неисправный стык №57, расположенный на расстоянии 1425 м от начала участка. Визуализация результатов (Рис. 6) подтвердила точность локализации - все исправные стыки отмечены зелеными маркерами, тогда как дефектный стык №57 выделен красным цветом с зоной поражения радиусом ±12,5 м.

Анализ динамических параметров выявил значительные отклонения в точке неисправности:

- сопротивление стыка увеличилось с 0,015 Ом до 0,185 Ом;
- амплитуда сигнала уменьшилась на 23,7%;
- фазовая характеристика изменилась на 15,2°;
- добротность четырехполюсника снизилась с 48,3 до 35,1.

Эффективность предложенного метода подтверждается сравнением с традиционными способами диагностики. Время определения неисправности составило 0,15 с против 2-3 часов при ручном обследовании. Вероятность ложного срабатывания алгоритма не превышает 1,2%, что существенно ниже аналогичного показателя существующих систем (4-6%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования апробирована на диагностической модели методика позиционирования места излома рельса, которая, в свою очередь, основана на непосредственном анализе динамических параметров рельсовой линии. Показано, что комплексный анализ контрольных характеристик элементов железнодорожной инфраструктуры и влияющих на них дестабилизирующих воздействий позволяет с высокой точностью и надежностью фиксировать момент и локацию излома рельса или утечки тока в районе токопроводящего стыка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тарасова, А.Е.* Формирование информативных признаков при диагностике компонент рельсовой линии / А. Е. Тарасова, В. А. Надежкин, С. А. Надежкина, А. Р. Мусин // Наука и образование транспорту. – 2024. – № 1. – С. 210-212.
2. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. Сборник карт технологических процессов. Часть 3. – ОАО «РЖД», 2018.
3. *Патрик, Е.А.* Методы распознавания образов / Е.А. Патрик – М.: Мир, 1980.
4. *Розенберг, Е.Н.* О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data / Е.Н. Розенберг, М.Г. Лысиков, А.В. Озеров, А.М. Ольшанский // Техника железных дорог. – 2018. – № 1(41). – С.32-33.
5. *Smith J.* Feature Selection in Machine Learning. Springer, 2019.
6. *Иванов, А.В.* Методы распознавания в транспортных системах / А.В. Иванов. – М.: Транспорт, 2020.
7. *Бредун, И.С.* Особенности формирования математической модели при разработке мониторинга и диагностики компонент рельсовой цепи / И. С. Бредун, А. Е. Тарасова, С. Л. Лисин // Наука и образование транспорту. – 2024. – № 1. – С. 185-188.
8. *Tretyakov, G. M.* An Intelligent Algorithm for Automated Control of Railway-Crossing Signaling / G. M. Tretyakov, A. E. Tarasova, E. M. Tarasov // Russian Electrical Engineering. – 2023. – Vol. 94, No. 10. – P. 726-731. – DOI 10.3103/s1068371223100127.
9. *Тарасова, А. Е.* Формирование обобщенных решающих функций при распознавании и классификации состояний ЖАТ / А. Е. Тарасова, Н. Н. Васин // Наука и образование транспорту. – 2022. – № 1. – С. 360-362.
10. Insulating joints as a destabilizing factor in the operation of the track circuit / E. Tarasov, V. Nadezhkin, S. Nadezhkina [et al.] // VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023), Karshi, 14–16 июня 2023 года. – Les Ulis: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 1019. – DOI 10.1051/e3sconf/202341101019.
11. *Тарасов, Е.М.* Принцип формирования баз данных и синтез классификатора состояний устройств ЖАТ / Е. М. Тарасов, И. С. Бредун, В. А. Надежкин, С. А. Надежкина // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 5(107). – С. 80-85.
12. *Тарасова, А.Е.* Исследование потенциальных возможностей классификаторов состояний рельсовых линий / А. Е. Тарасова // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 1. – С. 223-226.
13. *Потапов, А. С.* Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. – СПб.: Политехника, 2007. – 548 с.

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR SYSTEM ANALYSIS AND POSITIONING OF PLACES WITH REDUCED RESISTANCE OF A RAIL LINE ACCORDING TO DYNAMIC PARAMETERS

© 2026 V.A. Nadezhkin, S.A. Nadezhkina

Volga State Transport University, Samara, Russia

The presented paper considers the urgent issue of improving the accuracy of diagnosing components of the railway infrastructure through the use of software tools. So, in the article, the object of research is the process of localization of a place with reduced conductivity of a rail line due to emerging destabilizing effects. Due to the late detection of such a defect, there is a serious threat to train safety. Accordingly, the authors of the paper propose a combined approach that integrates the analysis of the influence of disturbing influences on the parameters of the rail line in real time and the correlation analysis of changes in the parameters of the four-pole rail line using a simulation model in the Python programming environment. As a result of the study, it was found that the proposed method makes it possible to position a place with reduced conductivity with high accuracy and eliminate the need for a continuous inspection of the railway track in a timely manner.

Keywords: railway infrastructure, positioning, rail line, train safety, simulation model, dynamic parameters, rail fracture, information technology.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-2(2)-356-362
EDN: BONOWD

REFERENCES

1. *Tarasova, A.E.* Formirovanie informativnyh priznakov pri diagnostike komponent rel'sovoj linii / A. E. Tarasova, V. A. Nadezhkin, S. A. Nadezhkina, A. R. Musin // Nauka i obrazovanie transportu. – 2024. – № 1. – S. 210-212.
2. Ustrojstva SCB. Tekhnologiya obsluzhivaniya. Sbornik kart tekhnologicheskih processov. Chast' 3. – OAO \"RZhD\", 2018.
3. *Patrik, E.A.* Metody raspoznavaniya obrazov / E.A. Patrik – M.: Mir, 1980.
4. *Rozenberg, E.N.* O perekhode k prediktivnomu upravleniyu transportnymi sistemami s ispol'zovaniem Big Data / E.N. Rozenberg, M.G. Lysikov, A.V. Ozerov, A.M. Ol'shanskij // Tekhnika zheleznyh dorog. – 2018. – № 1(41). – S.32-33.
5. *Smith J.* Feature Selection in Machine Learning. Springer, 2019.
6. *Ivanov, A.V.* Metody raspoznavaniya v transportnyh sistemah / A.V. Ivanov. – M.: Transport, 2020.
7. *Bredun, I.S.* Osobennosti formirovaniya matematicheskoj modeli pri razrabotke monitoringa i diagnostiki komponent rel'sovoj cepi / I. S. Bredun, A. E. Tarasova, S. L. Lisin // Nauka i obrazovanie transportu. – 2024. – № 1. – S. 185-188.
8. *Tretyakov, G. M.* An Intelligent Algorithm for Automated Control of Railway-Crossing Signaling / G. M. Tretyakov, A. E. Tarasova, E. M. Tarasov // Russian Electrical Engineering. – 2023. – Vol. 94, No. 10. – P. 726-731. – DOI 10.3103/s1068371223100127.
9. *Tarasova, A. E.* Formirovanie obobshchennyh reshayushchih funkcij pri raspoznavanii i klassifikacii sostoyanij ZhAT / A. E. Tarasova, N. N. Vasin // Nauka i obrazovanie transportu. – 2022. – № 1. – S. 360-362.
10. Insulating joints as a destabilizing factor in the operation of the track circuit / E. Tarasov, V. Nadezhkin, S. Nadezhkina [et al.] // VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection (APEC-VI-2023), Karshi, 14–16 iyunya 2023 goda. – Les Ulis: EDP SCIENCES S A, 2023. – P. 1019. – DOI 10.1051/e3sconf/202341101019.
11. *Tarasov, E. M.* Princip formirovaniya baz dannyh i sintez klassifikatora sostoyanij ustrojstv ZhAT / E. M. Tarasov, I. S. Bredun, V. A. Nadezhkin, S. A. Nadezhkina // Vestnik transporta Povolzh'ya. – 2024. – № 5(107). – S. 80-85.
12. *Tarasova, A. E.* Issledovanie potencial'nyh vozmozhnostej klassifikatorov sostoyanij rel'sovyh linij / A. E. Tarasova // Nauka i obrazovanie transportu. – 2018. – № 1. – S. 223-226.
13. *Potapov, A. S.* Raspoznavanie obrazov i mashinnoe vospriyatie: obshchij podhod na osnove principa minimal'noj dliny opisaniya / A. S. Potapov. – SPb.: Politekhnika, 2007. – 548 s.

Vadim Nadezhkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation, Telemechanics and Communications in Railway Transport. E-mail: v.nadezhkin@samgups.ru
Snezhana Nadezhkina, Lecturer of the Department «Automation, Telemechanics and communication in railway transport». E-mail: s.nadejkina@samgups.ru