

Экспертная система для диагностики неисправности рельсовой цепи с использованием искусственного интеллекта

д-р техн. наук **Р. М. Алиев**, канд. техн. наук **М. М. Алиев**, канд. техн. наук **Э. Т. Тохиров**
Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Представлены алгоритм и программы для экспертной системы, предназначенной для определения неисправности рельсовой цепи на железнодорожном транспорте. Исследованы математическая и имитационная модели для определения режимов работы рельсовой цепи с токовым съемом. Разработаны алгоритмы и программы для создания экспертных систем на основе этих моделей, что позволяет оперативно диагностировать неисправности и предоставлять рекомендации по их устранению.

Ключевые слова: экспертная система, хранилище знаний, производственная модель, семантическая модель, фреймовая модель, формальные логические модели, алгоритм, рельсовые цепи, механизм принятия решений.

Для цитирования: Алиев Р. М., Алиев М. М., Тохиров Э. Т. Экспертная система для диагностики неисправности рельсовой цепи с использованием искусственного интеллекта // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 18–25. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-18-25

ВВЕДЕНИЕ

Рельсовые цепи являются важным элементом железнодорожного транспорта, и их надежность играет ключевую роль в обеспечении безопасности движения поездов. Диагностирование неисправностей в рельсовых цепях является актуальной задачей, требующей оперативного реагирования [1].

В данной статье рассматривается разработка экспертной системы для определения неисправности рельсовой цепи с использованием искусственного интеллекта, что позволяет оперативно выявлять и устранять проблемы. Диагностирование и преждевременное выявление причины неисправности считается актуальной задачей в области исследования [2].

Большинство отказов в рельсовых цепях происходит во время понижения напряжения за счет большого затухания, что может быть вызвано обрывом или плохой сваркой соединителей и перемычек в рельсах, а также возмущающих факторов природного происхождения, и нужно учитывать асимметрию тока вдоль рельсовой линии [3]. Также причи-

ной затухания в рельсовых цепях может быть уменьшение сопротивления изоляции [6]. Несмотря на то что отказы в аппаратуре питающего и релейного концов составляют малую долю отказов рельсовой цепи, при выяснении причины отказа вначале следует проверить именно эти элементы [4, 5, 7].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ БЕЗ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ С ТОКОВЫМ ПУТЕВЫМ ПРИЕМНИКОМ

Работа рельсовых цепей во многом зависит от условий, в которых они находятся [8–13]. Для разработки систем диагностирования и последующего экспертного обособления разработан обобщенный алгоритм проверки тональной рельсовой цепи на уровне релейной составляющей, который приведен на рис. 1.

Во время поиска неисправности следует руководствоваться индивидуальными нормами, выданными проектным институтом [1, 2]. Но запоминать каждую инструкцию по устранению неисправности считается трудной задачей, и на практике многие специалисты СЦБ доверяются своему опыту, нежели инструкции, так как не все написанное можно применить на практике. Кроме того, в нужные моменты читать бумажную или электронную книгу и находить нужную информацию тоже сложно. Во многих случаях лучше спросить совет по устранению неисправности у эксперта в данной области. Он может дать дельные советы по выявлению и устранению неисправности. Экспертом является человек, который имеет огромный опыт в определенной области науки и техники. В век информационных технологий экспертные системы и искусственный интеллект широко используются в качестве авторитетных источников. Экспертные системы выполняют ту же функцию, что и эксперт, поскольку эти системы включают знания эксперта в данной области. Основа экспертной системы состоит из базы знаний и механизма выводов.

Таким образом, использование и внедрение экспертных систем в железнодорожной отрасли решит проблему нехватки квалифицированных специалистов и в целом станет полезным инструментом, который дает советы по выявлению и устра-

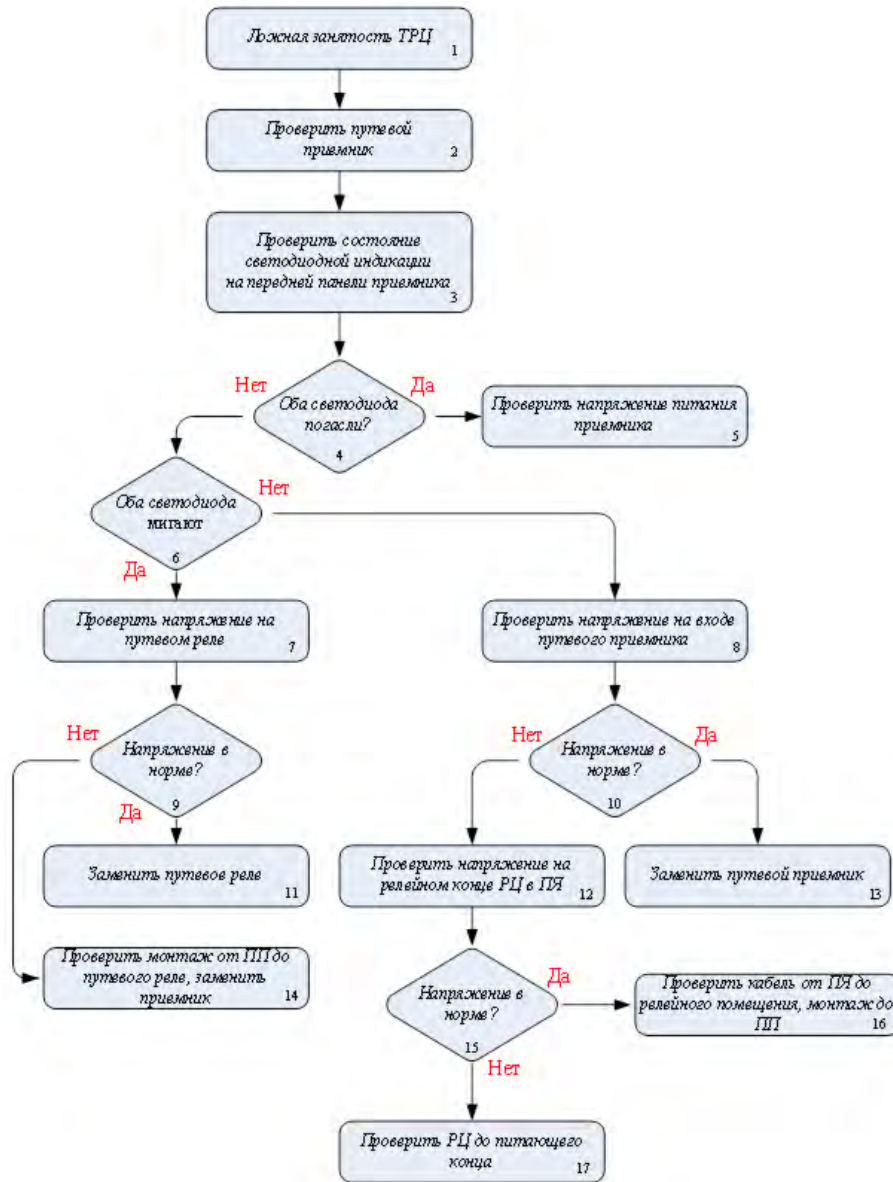


Рис. 1. Обобщенный алгоритм поиска неисправности РЦ

нению неисправностей в системах автоматизации и телемеханики.

На рис. 2 представлена структурная схема экспертной системы, которая состоит из следующих элементов:

- база знаний содержит факты, описывающие проблемную область, а также логическую связь этих фактов. Правила занимают центральное место в базе знаний;
- интерпретатор — это логическая машина, которая занимается обработкой знаний;
- модуль создания системы — программа, позволяющая создавать набор правил (LISP, Prolog или любой алгоритмический язык).

Для создания экспертных систем необходимо правильно понимать все нюансы в этой области, поэтому ниже приводится математическое моделирование бесстыковой рельсовой цепи с токовым съемом тональной частоты и исследован нормальный режим их работы.

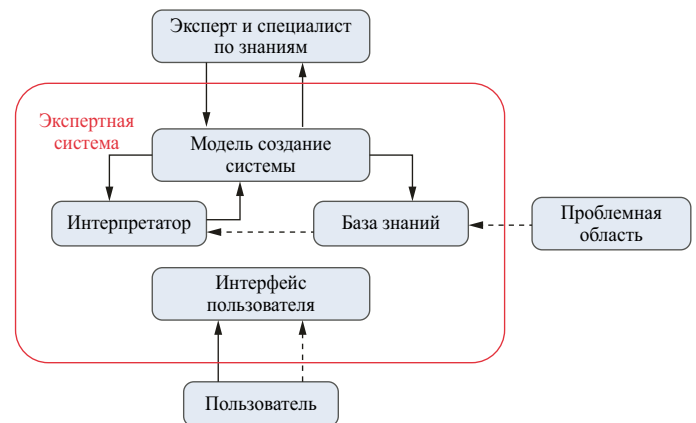


Рис. 2. Структурная схема экспертной системы

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Одним из основных датчиков систем автоматики являются рельсовые цепи, от которых зависит безопасность движения поездов. Одним из условий является выполнение нормального режима работы бесстыковых рельсовых цепей с токовым съемом при асимметрии тока, минимальном сопротивлении балласта и возмущающих факторов, которые влияют на работу бесстыковых рельсовых цепей.

Для определения работы в нормальном режиме представим бесстыковую рельсовую цепь схемой замещения (рис. 3).

В литературных источниках [5] приведены выражения для определения коэффициентов рельсового четырехполюсника в нормальном режиме их работы. Однако указанные выражения получены в предположении, что рельсовые линии слева и справа от точек подключения аппаратуры имеют одинаковые параметры, что не соответствует реальным условиям. С целью получения более точных выражений для расчета коэффициентов рельсового четырехполюсника рассмотрим два смежных элемента dx симметричных рельсовых линий, расположенных справа и слева от точки подключения аппаратуры (рис. 4).

Из теории рельсовых цепей известно, что изменения напряжений и токов вдоль рельсовой линии описываются уравнениями:

$$U_x = M(A_1 ch\varphi\gamma_1 x + A_2 sh\gamma_1 x) + N(A_3 ch\gamma_2 x + A_4 sh\gamma_2 x); \quad (1)$$

$$I_x = Y_{12}(A_1 sh\varphi\gamma_1 x + A_2 ch\gamma_1 x) + Y_{12}(A_3 sh\gamma_2 x + A_4 ch\gamma_2 x), \quad (2)$$

$$\text{где } M = \frac{\gamma_1^2 - Z_1(q_1 + q_{12}) + Z_m q_{12}}{Z_m(q_2 + q_{12}) - Z_1 q_{12}}; \quad N = \frac{\gamma_2^2 - Z_2(q_1 + q_{12}) + Z_m q_{12}}{Z_m(q_2 + q_{12}) - Z_1 q_{12}},$$

$$Y_{11} = \gamma_1 \frac{Z_2 - MZ_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2}; \quad Y_{12} = \gamma_2 \frac{Z_2 - NZ_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2};$$

$$Y_{21} = \gamma_1 \frac{MZ_2 - Z_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2}; \quad Y_{22} = \gamma_2 \frac{NZ_2 - Z_m}{Z_1 Z_2 - Z_m^2};$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{1}{2}[q_{12}(2Z_1 \cdot 2Z_2) + (q_1 + q_2) - 2Z_m] + \sqrt{\frac{1}{4}[q_1 q_2 + q_1 q_{12} + q_2 q_{12}]}}; \quad (3)$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{1}{2}[q_{12}(2Z_1 \cdot 2Z_2) - (q_1 - q_2) + 2Z_m] + \sqrt{\frac{1}{4}[q_1 q_2 + q_1 q_{12} + q_2 q_{12}]}}. \quad (4)$$

В этих уравнениях постоянные интегрирования A_1, A_2, A_3, A_4 определяются в соответствии с граничными условиями для датчиков контроля без изолирующих стыков.

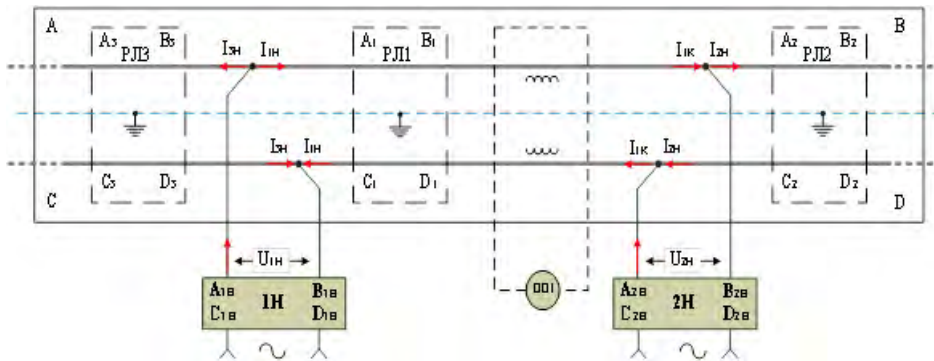


Рис. 3. Общая схема замещения датчика контроля без изолирующих стыков с токовым путевым приемником

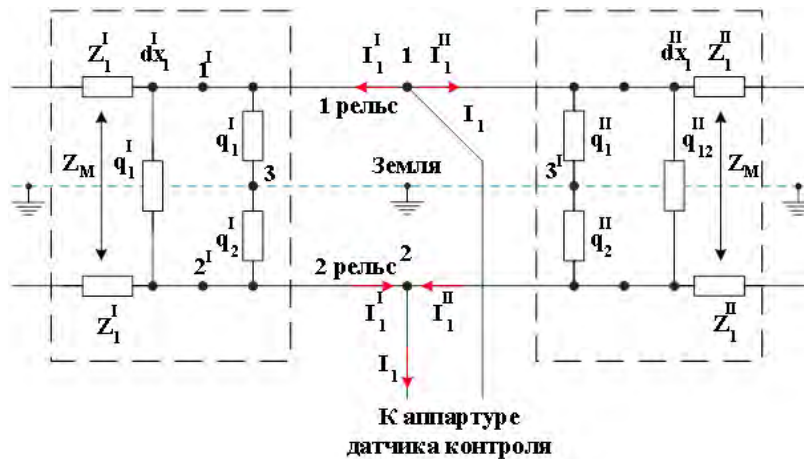


Рис. 4. Эквивалентная схема элементов dx рельсовой линии

Схема замещения датчика контроля без изолирующих стыков для общего случая приведена на рис. 5. Как видно из рисунка, рельсовая линия может быть разделена на три участка с различным распределением токов в рельсах. Положительные направления токов и напряжений и начало отсчета для каждого из участков показаны на рис. 3. При определении изменений токов и напряжений вдоль рельсовой линии каждого из участков необходимо учитывать токи, втекающие из смежных участков. Это обстоятельство очень сильно усложняет общую картину распределения токов и напряжений вдоль асимметричной рельсовой линии без изолирующих стыков.

Постоянные интегрирования всех трех участков с учетом схемы рис. 3 находятся из следующих граничных условий:

при $x = 0; y = 0$:

$$\begin{aligned} (I'_{1k} - I'_{2k}) - (I''_{1k} - I''_{2k}) &= 2I_2; \\ (I''_{1k} - I''_{2k}) - (I'_{1k} + I'_{2k}) &= 0; \\ U'_{1k} - U''_{1k} &= 0; \\ U'_{2k} - U''_{2k} &= 0. \end{aligned} \tag{5}$$

при $x = l; z = 0$:

$$\begin{aligned} I'_{1n} + I'_{2n} - I''_{1k} - I''_{2k} &= 0; \\ U'_{1n} - U''_{1k} &= 0; \\ U'_{2n} - U''_{2k} &= 0. \end{aligned} \tag{6}$$

Рельсовые линии участков 2 и 3 можно считать бесконечно длинными и замкнутыми в начале, в этом случае получим следующие уравнения для граничных условий:

при $y = \infty$:

$$\begin{aligned} U''_{1n} - U''_{2n} &= 0; \\ I''_{1n} + I''_{2n} &= 0; \end{aligned} \tag{7}$$

при $z = \infty$:

$$\begin{aligned} U''_{1n} - U''_{2n} &= 0; \\ I''_{1n} + I''_{2n} &= 0. \end{aligned} \tag{8}$$

Если постоянные интегрирования первого, второго и третьего участков рельсовой линии обозначить соответственно $A'_1 \div A'_4, A''_1 \div A''_4$ и $A'''_1 \div A'''_4$, то, пользуясь уравнениями 1÷8, получим систему из 12 уравнений с 12 неизвестными.

$$\begin{aligned} 0 &= (Y_{11} + Y_{21})A''_4 + (Y_{12} + Y_{22})A'_2 - (Y_{11} + Y_{21})A'_2 - (Y_{12} + Y_{22})A'_4; \\ 0 &= MA'_1 + NA'_3 - MA''_1 - NA''_3; \\ 0 &= (Y_{11} + Y_{21})(A'_1 sh\gamma_1 l + A'_2 ch\gamma_1 l) + \\ &+ (Y_{12} + Y_{22})(A'_3 sh\gamma_2 l + A'_4 ch\gamma_2 l) - (Y_{11} + Y_{21})A''_2 - (Y_{12} + Y_{22})A''_4; \\ 0 &= A'_1 ch\gamma_1 l + A'_2 sh\gamma_1 l + A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l - A''_1 - A''_3; \\ 0 &= M(A'_1 ch\gamma_1 l + A'_0 sh\gamma_1 l) + N(A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l) - MA''_1 - NA''_3; \\ 0 &= (Y_{11} + Y_{21})A''_1 + (Y_{12} + Y_{22})A'_2 - (Y_{11} + Y_{21})A'_2 - (Y_{12} + Y_{22})A'_4; \\ 0 &= MA'_1 + NA'_3 - MA''_1 - NA''_3; \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} 0 &= (Y_{11} + Y_{21})(A'_1 sh\gamma_1 l + A'_2 ch\gamma_1 l) + \\ &+ (Y_{12} + Y_{22})(A'_3 sh\gamma_2 l + A'_4 ch\gamma_2 l) - (Y_{11} + Y_{21})A''_2 - (Y_{12} + Y_{22})A''_4; \\ 0 &= A'_1 ch\gamma_1 l + A'_2 sh\gamma_1 l + A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l - A''_1 - A''_3; \\ 0 &= M(A'_1 ch\gamma_1 l + A'_0 sh\gamma_1 l) + N(A'_3 ch\gamma_2 l + A'_4 sh\gamma_2 l) - MA''_1 - NA''_3; \\ 0 &= (1 - M)(A'''_1 ch\gamma_1 l_\infty + A'''_2 sh\gamma_1 l_\infty) + \\ &+ (1 - N)(A'''_3 ch\gamma_2 l_\infty + A'''_4 sh\gamma_2 l_\infty); \\ 0 &= (Y_{11} + Y_{21})(A'''_1 sh\gamma_1 l_\infty + A'''_2 ch\gamma_1 l_\infty) + \\ &+ (Y_{12} + Y_{22})(A'''_3 sh\gamma_2 l_\infty + A'''_4 ch\gamma_2 l_\infty). \end{aligned}$$

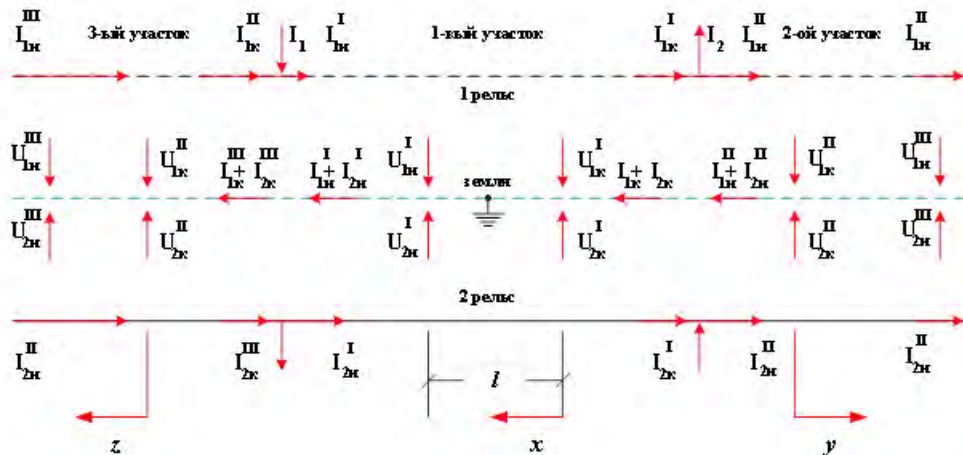


Рис. 5. Схема замещения бесстыковой рельсовой цепи в нормальном режиме

Данная система из 12 уравнений была решена методом Гаусса (метод последовательного исключения неизвестных), определены постоянные интегрирования для всех трех участков, которые выражаются:

$$\begin{aligned}
 A_1^I &= U_2 H_7 - I_2 H_8; \\
 A_2^I &= -U_2 H_7 + I_2 \left[H_8 - \frac{Y_{12} + Y_{22}}{Y_{12} Y_{21} - Y_{11} Y_{22}} \right]; \\
 A_3^I &= U_2 \left[\frac{1}{1-N} - \frac{1-M}{1-N} H_7 \right] + I_2 H_8 \frac{1-M}{1-N}; \\
 A_4^I &= U_2 H_5 + I_5 \left[H_6 + \frac{Y_{11} + Y_{21}}{Y_{12} Y_{21} - Y_{11} Y_{22}} \right]; \\
 A_1^{II} &= U_2 H_7 - I_2 H_8; \\
 A_2^{II} &= -U_2 H_7 + I_2 H_8; \\
 A_3^{II} &= U_2 \left[\frac{1}{1-N} - \frac{1-M}{1-N} H_7 \right] + I_2 \frac{1-M}{1-N} H_8; \\
 A_4^{II} &= U_2 H_5 - I_2 H_6; \\
 A_1^{III} &= -U_2 H_3 - I_2 H_4 \sqrt{a^2 + b^2}; \\
 A_2^{III} &= U_2 H_3 - I_2 H_4; \\
 A_3^{III} &= U_2 \frac{N}{N_{10} - N_{11}} + I_2 \frac{H_2}{N_{10} - N_{11}}; \\
 A_4^{III} &= -U_2 \frac{H_1}{N_{10} - N_{11}} - I_2 \frac{H_2}{N_{10} - N_{11}}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Напряжение и ток в начале рельсового четырехполюсника выражаются уравнениями:

$$U_1 = U_{1H}^I - U_{2H}^I, \tag{11}$$

$$I_1 = \frac{1}{2} (I_{1H}^I - I_{2H}^I - I_{1K}^{III} - I_{2K}^{III}). \tag{12}$$

Подставив в уравнения 7 и 8 значения $U_{1H}^I, U_{2H}^I, I_{1H}^I, I_{2H}^I, I_{1K}^{III}, I_{2K}^{III}$, найденные по уравнениям 5÷8 при условии $x = 1$ и $z = 0$, получим:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= (1-M) (A_1^I ch \gamma_1 l + A_2^I sh \gamma_1 l) + \\
 &+ (1-N) (A_3^I ch \gamma_2 l + A_4^I sh \gamma_2 l);
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{1}{2} [(Y_{11} - Y_{21}) (A_1^I sh \gamma_1 l + A_2^I ch \gamma_1 l) + \\
 &+ (Y_{12} - Y_{22}) (A_3^I sh \gamma_2 l + A_4^I ch \gamma_2 l) - (Y_{11} - Y_{21}) A_2^{III} - (Y_{12} - Y_{22}) A_4^{III}].
 \end{aligned} \tag{14}$$

РЕЗУЛЬТАТ.

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ БЕЗ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ С ТОКОВЫМ ПУТЕВЫМ ПРИЕМНИКОМ

Из условия обеспечения нормального режима по формулам был разработан алгоритм (рис. 6), составлена программа и проведены исследования на компьютере. Алгоритм определения оптимальной длины датчика контроля состояния путевого участка представлен на рис. 6.

Максимально допустимая длина бесстыковой рельсовой цепи и оптимальные сопротивления по концам определяются из условия обеспечения нормативной шунтовой чувствительности и чувствительности к обрыву рельсовой нити, равной единице, на основе исходных данных, которыми являются сигнальная частота и первичные параметры рельсовой линии.

Возможны два варианта определения оптимальных параметров бесстыковых рельсовых цепей.

1) Максимальная длина рельсовой цепи определяется из условий нормативной шунтовой чувствительности, чувствительности к обрыву рельсовой нити, равной единице, и величины тока надежного срабатывания путевого приемника при нормальном режиме.

В этом варианте определяются максимально допустимая длина рельсовой цепи l_{max} и соответствующие ей оптимальные модули сопротивлений по концам ($Z_{вх}^I, Z_{вхк}^I$).

2) Максимально допустимая длина рельсовой цепи определяется из условий обеспечения нормативной шунтовой чувствительности и величины тока надежного срабатывания путевого приемника при нормальном режиме.

На основе описанных выше алгоритмов мы создаем прототип экспертной системы и тестируем его (рис. 7). Прототип экспертной системы был создан на основе языка программирования Python с помощью библиотеки эксперта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование экспертной системы для диагностики неисправностей в рельсовых цепях на железнодорожном транспорте позволяет повысить эффективность обслуживания и обеспечить безопасность движения поездов. Разработанный алгоритм и программы позволяют оперативно выявлять причины неисправностей и предоставлять рекомендации по их устранению, что делает экспертную систему ценным инструментом для специалистов в области автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта.

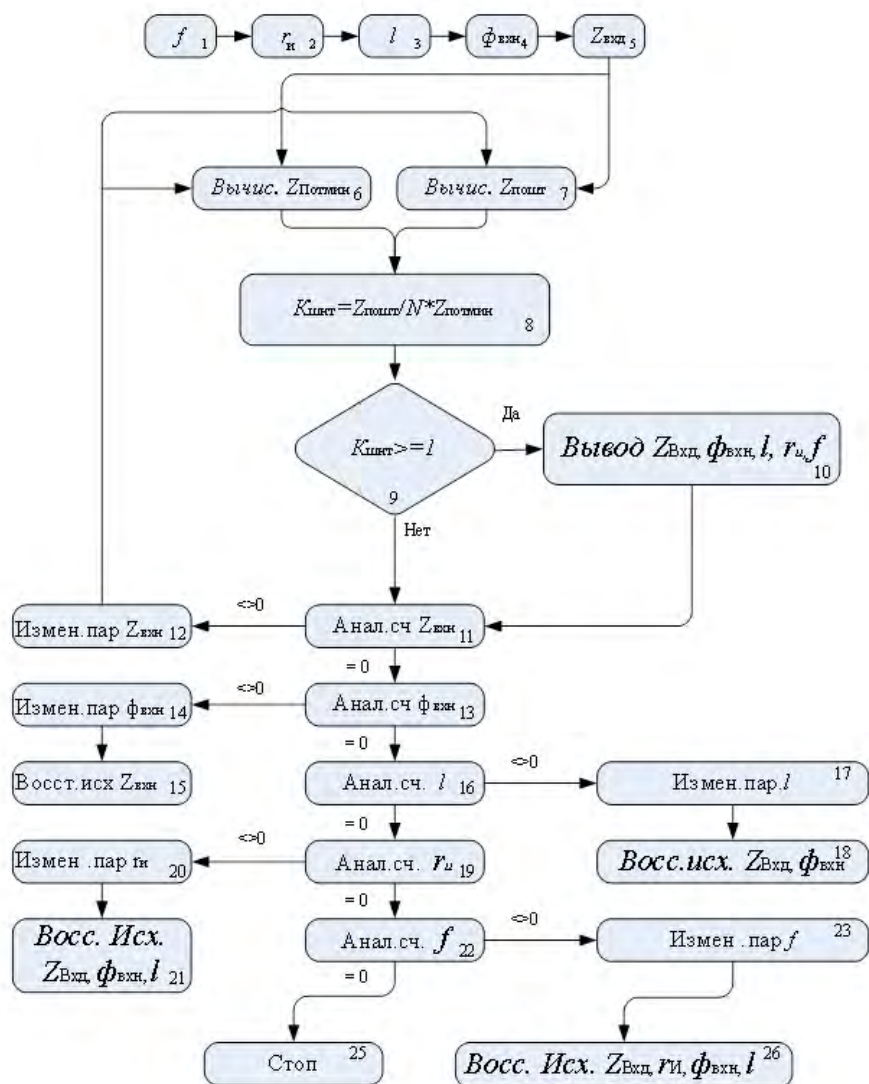


Рис. 6. Блок-схема алгоритма определения оптимальных параметров датчика контроля из условия обеспечения нормального и шунтового режимов работы

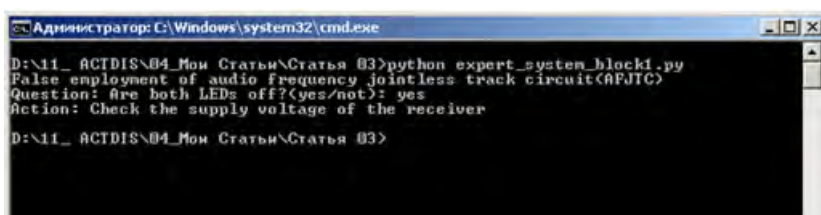


Рис. 7. Прототип экспертной системы

ЛИТЕРАТУРА

1. Tokhirov, E. T. Solution to Security on Rail Transportation with the Help of a Database / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 237–254. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
2. Aliev, R. M. Development of a Program and Algorithm for Determining the Resource of Relays of Automatic and Telemechanics in Railway Transport / R. M. Aliev, D. Matvaliyev // Universum: технические науки. 2022. № 11–6 (104). С. 56–58. DOI: 10.32743/UniTech.2022.104.11.14531.
3. Temir yo'l kesishmalarining xavfsizligini takomillashtirish va funksional samaradorlik holati tahlili / R. Aliev, M. Aliev, E. Tokhirov, [et al.] // Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies. 2022. Vol. 2, Is. 12. Pp. 152–155. DOI: 10.24412/2181-2454-2022-12-152-155. (на узбекском языке)
4. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. — Санкт-Петербург: Питер, 2001. — 384 с.
5. Tokhirov, E. T. Methods of Monitoring the Condition of Track Sections / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 204–220. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
6. Gulyamova, M. K. Distance Education as a Method of Efficiency of Education Under Various Form Factors / M. K. Gulyamova, R. M. Aliev // German International Journal of Modern Science. 2022. No. 29, Pp. 38–39.
7. Tokhirov, E. T. Modern Means and Methods for Monitoring the Condition of Track Sections / E. T. Tokhirov, R. M. Aliev, M. M. Aliev // Наука, общество, технологии: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире: Монография / [колл. авт.]. — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. — С. 186–203. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
8. Автоматизация расчета параметров и проверки ТРЦ / Б. Ф. Безродный, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Автоматика, связь, информатика. 2010. № 1. С. 15–17.
9. Гаврилов, А. В. Системы искусственного интеллекта. Часть 1: Учебное пособие. — Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2002. — 79 с.
10. Ignatyevs, S. Economic Feasibility of Modifications to the Design of Transport Aircraft / S. Ignatyevs, S. A. Makushkin, S. Spivakovskyy // INCAS Bulletin. 2021. Vol. 13, Special Issue. Pp. 67–76. DOI: 10.13111/2066-8201.2021.13.S.7.
11. Hintze, P. «But That's Not the Kilometre in the Plan!» — The Potential of Georeferenced Railway Infrastructure Data / P. Hintze, F. Prüter // Signalling + Datacommunication. 2018. Is. 11. Pp. 6–15.
12. The Role of Artificial Intelligence Technologies in Long-Term Socio-Economic Development and Integrated Security / S. N. Grinyayev, D. A. Medvedev, D. I. Pravikov, [et al.] // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2021. Vol. 9, No. 3. Pp. 153–168. DOI: 10.21533/pen.v9i3.2109.
13. Расчет параметров и проверка работоспособности бесстыковых тональных рельсовых цепей / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2006. № 2. С. 101–109.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алиев Равшан Маратович — доктор технических наук, профессор.

Алиев Марат Мухаммедович — кандидат технических наук, доцент.

Тохиров Эзоз Турсуналиевич — кандидат технических наук, доцент

Кафедра «Информационные системы и технологии на транспорте», Ташкентский государственный транспортный университет. E-mail: silara@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.12.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2024.

Expert System for Diagnosing Rail Circuit Faults Using Artificial Intelligence

Gr. PhD R. M. Aliev, PhD M. M. Aliev, PhD E. T. Tokhirov

Tashkent State Transport University

Tashkent, Uzbekistan

Abstract. The paper presents an algorithm and programs for an expert system designed to determine the failure of a rail circuit in railway transport. Mathematical and simulation models have been studied to determine the operating modes of a rail circuit with current collection. Algorithms and programs have been developed to create expert systems based on these models, which allows to quickly diagnose faults and provide recommendations for their elimination.

Keywords: expert system, knowledge repository, product model, semantic model, frame model, formal logical models, algorithm, rail chains, decision-making mechanism.

For citation: Aliev R. M., Aliev M. M., Tokhirov E. T. Expert system for diagnosing rail circuit faults using artificial intelligence // *Intellectual Technologies on Transport*. 2024. No. 1 (37). P. 18–25. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-18-25

REFERENCES

1. Tokhirov E. T., Aliev R. M., Aliev M. M. Solution to Security on Rail Transportation with the Help of a Database. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 237–254. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
2. Aliev R. M., Matvaliyev D. Development of a Program and Algorithm for Determining the Resource of Relays of Automatic and Telemechanics in Railway Transport, *Universum: Technical Sciences [Universum: tekhnicheskie nauki]*, 2022, No. 11–6 (104), Pp. 56–58. DOI: 10.32743/UniTech.2022.104.11.14531.
3. Aliev R., Aliev M., Tokhirov E., et al. Improving the Safety of Level Crossings and Analyzing the State of Functional Performance, *Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies*, 2022, Vol. 2, Is. 12, Pp. 152–155. DOI: 10.24412/2181-2454-2022-12-152-155. (In Uzbek)
4. Gavrilova T. A., Khoroshevsky V. F. Intelligent systems knowledge bases [Bazy znaniy intellektualnykh sistem]. Saint Petersburg, Piter Publishing House, 2001, 384 p.
5. Tokhirov E. T., Aliev R. M., Aliev M. M. Methods of Monitoring the Condition of Track Sections. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 204–220. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.
6. Gulyamova M. K., Aliev R. M. Distance Education as a Method of Efficiency of Education Under Various Form Factors, *German International Journal of Modern Science*, 2022, No. 29, Pp. 38–39.

7. Tokhirov E. T., Aliev R. M., Aliev M. M. Modern Means and Methods for Monitoring the Condition of Track Sections. In: *Science, society, technology: Problems and prospects of interaction in the modern world: Monograph [Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodeystviya v sovremennom mire: Monografiya]*. Petrozavodsk, International Center for Scientific Partnerships «New Science», 2022, Pp. 186–203. DOI: 10.46916/30062022-978-5-00174-630-0.

8. Bezrodny B. F., Denisov B. P., Kultin V. B., Ras-tegaev S. N. Automation of Parameter Calculation and Testing of Tonal Rail Circuits [Avtomatizatsiya rascheta parametrov i proverki TRTs], *Automation, Communication, Informatics [Avtomatika, svyaz, informatika]*, 2010, No. 1, Pp. 15–17.

9. Gavrilov A. V. Artificial Intelligence Systems. Part 1: Study Guide [Sistemy iskusstvennogo intellekta. Chast 1: Uchebnoe posobie]. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University, 2002, 79 p.

10. Ignatyevs S., Makushkin S. A., Spivakovskyy S. Economic Feasibility of Modifications to the Design of Transport Aircraft, *INCAS Bulletin*, 2021, Vol. 13, Special Issue, Pp. 67–76. DOI: 10.13111/2066-8201.2021.13.S.7.

11. Hintze P., Prüter F. «But That's Not the Kilometre in the Plan!» — The Potential of Georeferenced Railway Infrastructure Data, *Signalling + Datacommunication*, 2018, Is. 11, Pp. 6–15.

12. Grinyaev S. N., Medvedev D. A., Pravikov D. I., et al. The Role of Artificial Intelligence Technologies in Long-Term Socio-Economic Development and Integrated Security, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 2021, Vol. 9, No. 3, Pp. 153–168. DOI: 10.21533/pen.v9i3.2109.

13. Vasilenko M. N., Denisov B. P., Kultin V. B., Ras-tegaev S. N. Calculation of the Parameters and Check of the Operation of the Jointless Tonal Rail Circuits [Raschet parametrov i proverka rabotosposobnosti besстыkovykh tonalnykh relsovykh tsepey], *Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2006, No. 2, Pp. 101–109.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aliev Ravshan Maratovich — Grand PhD in Engineering, Professor.

Aliev Marat Muxammedovich — PhD in Engineering, Associate Professor.

Tokhirov Ezo Tursunaliyevich — PhD in Engineering, Associate Professor.

Department of Information Systems and Technologies in Transport, Tashkent State Transport University. E-mail: silara@mail.ru

The article was submitted 07.12.2023; approved after reviewing 10.03.2024.