

Математическое моделирование дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником: алгоритм и расчеты

к. т. н. М. М. Алиев, к. т. н. Э. Т. Тохиров, д. т. н. Р. М. Алиев
Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Представлены алгоритм и методика расчета дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником. Рассмотрены вопросы математического моделирования бесстыковой рельсовой цепи, предложен метод определения максимальной зоны шунтирования при удалении поезда от рельсовой цепи. Результаты расчетов позволяют проводить исследования и определять оптимальные параметры рельсовых цепей с потенциальным приемником, что важно для принятия технических мер по улучшению работы транспортных систем.

Ключевые слова: рельсовая цепь, математическое моделирование, алгоритм, параметры, шунт, зона шунтирования, потенциальный приемник.

Для цитирования: Алиев М. М., Тохиров Э. Т., Алиев Р. М. Математическое моделирование дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником: алгоритм и расчеты // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 1 (37). С. 102–106. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-102-106

ВВЕДЕНИЕ

Рельсовые цепи играют важную роль в железнодорожной инфраструктуре, их надежность и эффективность являются ключевыми для безопасности и плавности движения поездов. В данной работе рассматривается проблема определения дополнительной зоны шунтирования в рельсовых цепях с потенциальным приемником. Отказы в рельсовых цепях могут быть вызваны различными факторами, и поэтому важно разработать методику определения оптимальных параметров цепей для уменьшения длины освобождения поездом рельсовой цепи.

Большинство отказов в рельсовых цепях происходит во время понижения напряжения за счет большого затухания, которое может быть вызвано обрывом или плохой сваркой

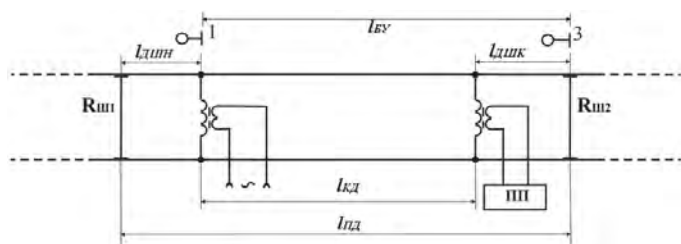


Рис. 1. Схема бесстыковой рельсовой цепи с потенциальным приемником

соединителей и перемычек в рельсах, а также возмущающих факторов природного происхождения, и нужно учитывать асимметрию тока вдоль рельсовой линии [1–2]. Также причиной затухания в рельсовых цепях может быть уменьшение сопротивления изоляции [3]. 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].

Всем специалистам сигнализации централизации и блокировки СЦБ известно, что на железной дороге основным и важным элементом всех устройств считается рельсовые цепи (РЦ) [8–13]. По этой причине диагностирование и преждевременное выявление причины неисправности считается актуальной задачей в области исследования [5–6].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При потенциальном подключении путевого приемника к рельсовой цепи (рис. 1) в нормальном режиме путевого приемник ПП возбуждается не в момент освобождения поездом питающего конца бесстыковой рельсовой цепи, а при удалении поезда на некоторое расстояние $l_{\text{дшп}}$, называемое зоной дополнительного шунтирования.

Для определения этой зоны представим схему (рис. 1) в виде схемы замещения (рис. 2).

С учетом того, что балласт на каждой из рельсовых цепей может иметь различные значения, обозначим коэффициенты распространения волны γ и волновые сопротивления $Z_{\text{в}}$ соответственно через различные состояния балласта:

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{z}{r_{\text{и1}}}}, \quad Z_{\text{в1}} = \sqrt{z r_{\text{и1}}}, \quad \gamma_3 = \sqrt{\frac{z}{r_{\text{и3}}}}, \quad Z_{\text{в3}} = \sqrt{z r_{\text{и3}}},$$

тогда:

$$Z_{\text{вх1}} = \frac{D_1 \cdot R_{\text{ш}} + B_1}{C_1 \cdot R_{\text{ш}} + A_1}, \quad Z_{\text{вх2}} = \frac{A_3 \cdot Z_{\text{вхн}}^I + B_3}{C_3 \cdot Z_{\text{вхн}}^I + D_3},$$

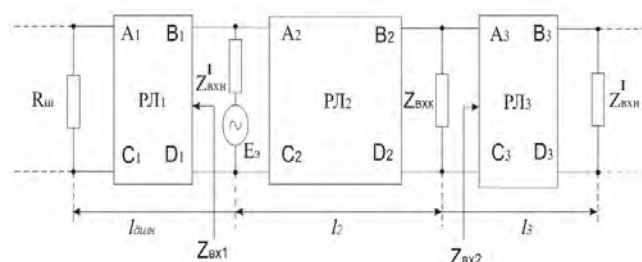


Рис. 2. Схема замещения бесстыковой рельсовой цепи

где:

$$A_1 = D_1 = ch\gamma_1 l_{\text{дшн}}, B_1 = Z_{\text{в1}} sh\gamma_1 l_{\text{дшн}}, C_1 = \frac{1}{Z_{\text{в1}}} sh\gamma_1 l_{\text{дшн}},$$

$$A_3 = D_3 = ch\gamma_3 l_3, B_3 = Z_{\text{в3}} sh\gamma_3 l_3, C_3 = \frac{1}{Z_{\text{в3}}} sh\gamma_3 l_3$$

Заменив РЛ₁ и РЛ₂ входными сопротивлениями, получим (рис. 3).

Для определения коэффициентов четырехполюсника РЛ_д перемножим три матрицы РЛ₁, РЛ₂ и РЛ₃.

$$\begin{vmatrix} A_d & B_d \\ C_d & D_d \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{\text{вх1}}} & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{\text{вх2}}} & 1 \end{vmatrix}.$$

После перемножения матриц получим:

$$A_d = ch\gamma l_2 + \frac{Z_{\text{в}} sh\gamma l_2}{Z_{\text{вх1}}}; B_d = Z_{\text{в}} sh\gamma l_2;$$

$$C_d = \frac{1}{Z_{\text{вх1}}} \left(ch\gamma l_2 + \frac{Z_{\text{в}} sh\gamma l_2}{Z_{\text{вх2}}} \right) + \frac{1}{Z_{\text{в}}} sh\gamma l_2 + \frac{ch\gamma l_2}{Z_{\text{вх2}}};$$

$$D_d = ch\gamma l_2 + \frac{Z_{\text{в}} sh\gamma l_2}{Z_{\text{вх1}}}.$$

Максимальную зону шунтирования по уходу поезда можно определить, взяв соотношения сопротивлений передачи при нормальном режиме работы рельсовой цепи $Z_{\text{пн}}$ и сопротивлении передачи при наличии шунта на соседней рельсовой цепи $Z_{\text{пн}}^I$ с учетом коэффициента перегрузки при нормальном режиме, при этом считая, что $R_{\text{ш}} = 0$.

$$\frac{K_{\text{п}} Z_{\text{пн}}}{Z_{\text{пн}}^I} \geq 1$$

где

$$Z_{\text{пн}} = AZ_{\text{вхк}} + B + Z_{\text{вхн}}^I (CZ_{\text{вхк}} + D);$$

$$A = ch\gamma l + sh\gamma l; B = Z_{\text{в}} sh\gamma l;$$

$$C = \frac{2}{Z_{\text{в}}} (ch\gamma l + sh\gamma l); D = ch\gamma l + sh\gamma l;$$

$$Z_{\text{пн}}^I = A_d Z_{\text{вхк}} + B_d + Z_{\text{вхн}}^I (C_d Z_{\text{вхк}} + D_d).$$

$K_{\text{п}}$ — коэффициент перегрузки, характеризующий повышение напряжения на питающем конце. $K_{\text{п}} = 1.1 \div 1.2$.

Алгоритм определения длины дополнительной зоны шунтирования содержит следующие блоки:

- 1 — блок ввода начальных значений сопротивления рельса Z , $Z_{\text{вхн}}^I$ и их аргументов f , $f_{\text{вхн}}$;
- 2 — блок ввода начального значения длины рельсовой цепи l ;
- 3 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции соседних рельсовых цепей $r_{\text{и1}}$, $r_{\text{и3}}$;
- 4 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции исследуемой рельсовой цепи $r_{\text{и}}$;
- 5 — блок ввода начальных значений определяемой длины дополнительной зоны шунтирования $l_{\text{дшн}}$;
- 6 — блок расчета сопротивления передачи при нормальном режиме $Z_{\text{пн}}$;
- 7 — блок расчета сопротивления передачи при наличии шунта на соседней рельсовой цепи $Z_{\text{пн}}^I$;

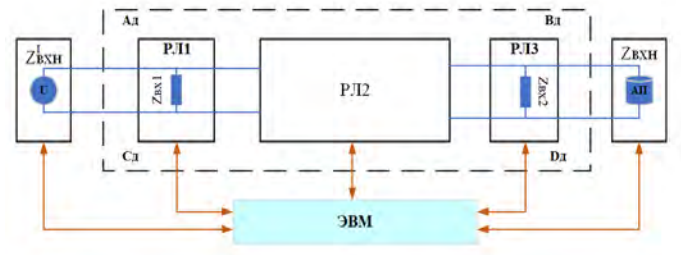


Рис. 3. Схема замещения четырехполюсников

- 8 — блок сравнения $Z_{\text{пн}} - Z_{\text{пн}}^I \geq 0,001$;
- 9 — блок ввода начального значения длины рельсовой цепи l ;
- 10 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции соседних рельсовых цепей $r_{\text{и1}}$, $r_{\text{и3}}$;
- 11 — блок ввода начальных значений сопротивления изоляции исследуемой рельсовой цепи $r_{\text{и}}$;
- 12 — блок ввода начальных значений определяемой длины дополнительной зоны шунтирования $l_{\text{дшн}}$;
- 13 — блок расчета сопротивления передачи при нормальном режиме $Z_{\text{пн}}$;
- 14 — блок расчета сопротивления передачи при наличии шунта на соседней рельсовой цепи $Z_{\text{пн}}^I$;
- 15 — блок сравнения $Z_{\text{пн}} - Z_{\text{пн}}^I \geq 0,001$;
- 16 — блок изменения параметра $l_{\text{дшн}} = l_{\text{дшн}} + \Delta l_{\text{дшн}}$;
- 17 — вывод найденного значения $l_{\text{дшн}}$ при заданных значениях: частоты сигнального тока; сопротивлении изоляции; длины рельсовой цепи; входных сопротивлениях концов рельсовой цепи;
- 18 — блок проверки условия $l_{\text{дшн}} \leq l$;
- 19 — блок изменения параметра $r_{\text{и}} = r_{\text{и}} + \Delta r_{\text{и}}$;
- 20 — блок проверки условия $r_{\text{и}} \leq 2 \text{ оМ}$;
- 21 — блок изменения параметров сопротивления изоляции соседних рельсовых цепей;
- 22 — блок проверки условия для $r_{\text{и1}}$, $r_{\text{и3}}$;
- 23 — блок изменения параметра $l = l + \Delta l$;
- 24 — блок проверки условия $l \leq 2,0 \text{ км}$;
- 25 — блок изменения параметра $f_{\text{вхн}}$;
- 26 — блок проверки условия по параметру $f_{\text{вхн}}$;
- 27 — блок изменения параметра $Z_{\text{вхн}}^I$;
- 28 — блок проверки условия по параметру $Z_{\text{вхн}}^I$;
- 29 — блок конца расчетов.

По предложенному алгоритму определения дополнительной длины шунтирования тональной рельсовой цепи по уходу поезда с контролируемого участка была разработана программа и проведены расчеты этих длин. Некоторые результаты расчетов приведены на графиках (рис. 4–5).

Из анализа расчетов, представленных на рис. 4–5, можно сделать вывод о том, что дополнительные зоны шунтирования могут изменяться в широких пределах и зависят от многих параметров и от состояния погодных условий, в связи с чем возникают трудности определения четкой границы рельсовой цепи и установки светофоров. Для исключения этого недостатка было предложено использовать рельсовые цепи тональной частоты с токовыми приемниками.

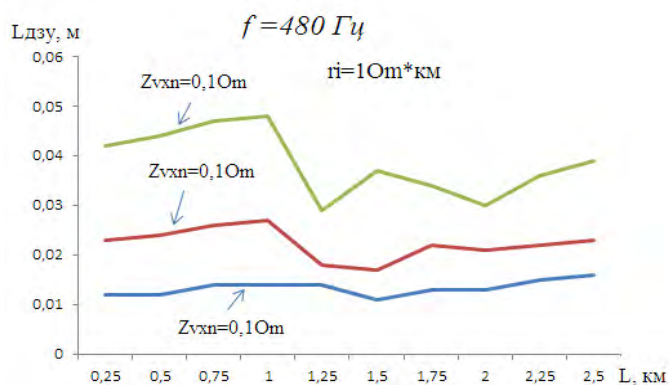


Рис. 4. Графики зависимости длины дополнительной зоны шунтирования по уходу поезда при частоте сигнального тока 480 Гц, разных модулях входного сопротивления Z_{vxn} и его аргументе $F_{vxn} = 0^\circ$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ расчетов позволяет сделать вывод о значительном влиянии различных параметров на дополнительную зону шунтирования в рельсовых цепях. Предложенный алгоритм и методика расчета являются эффективными инструментами для определения оптимальных параметров цепей с потенциальным приемником. Дальнейшие исследования в этом направлении могут способствовать улучшению работы транспортных систем и повышению их надежности.

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.

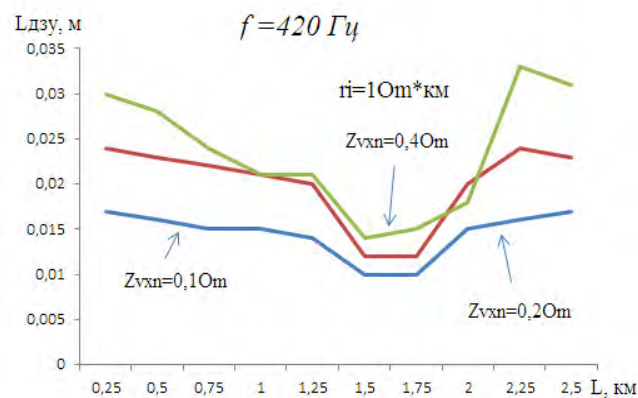


Рис. 5. Графики зависимости длины дополнительной зоны шунтирования по уходу поезда при частоте сигнального тока 420 Гц, разных модулях входного сопротивления Z_{vxn} и его аргументе $F_{vxn} = 40^\circ$

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. Grinyaev, 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 Марат Мухаммедович — канд. техн. наук, доцент.

Тохилов Эзоз Турсуналиевич — канд. техн. наук, доцент.

Алиев Равшан Маратович — докт. техн. наук, профессор.

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

Статья поступила в редакцию 07.12.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2024.

Mathematical Modeling of an Additional Shunt Zone in Track Circuits With a Potential Receiver: Algorithm and Calculations

Gr. PhD R. M. Aliev, PhD E. T. Tokhirov, Gr. PhD R. M. Aliev
Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. The paper presents an algorithm and methodology for calculating the additional shunt zone in track circuits with a potential receiver. The issues of mathematical modeling of a seamless track circuit are considered, and a method is proposed for determining the maximum shunting zone when the train moves away from the track circuit. The calculation results make it possible to conduct research and determine the optimal parameters of rail circuits with a potential receiver, which is important for taking technical measures to improve the operation of transport systems.

Keywords: track circuit, mathematical modeling, algorithm, options, shunt, shunt zone, potential receiver.

For citation: Aliyev M. M., Tokhirov E. T., Aliev R. M. Mathematical modeling of an additional shunt zone in track circuits with a potential receiver: algorithm and calculations // Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 1 (37). P. 102–106. (In Russian). DOI: 10.20295/2413-2527-2024-137-102-106

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: tekhnicheskije 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., Rastegaev 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., Rastegaev S.N. Calculation of the Parameters and Check of the Op-

eration of the Jointless Tonal Rail Circuits [Raschet parametrov i proverka rabotosposobnosti besstykovykh tonalnykh relsovykh tsepey], *Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2006, No. 2, Pp. 101–109.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aliev Marat Mukhammedovich — PhD in Engineering, Associate Professor.

Tokhirov Ezoz Tursunaliyevich — PhD in Engineering, Associate Professor.

Aliev Ravshan Maratovich — Grand PhD in Engineering, Professor.

Department of Information Systems and Technologies in Transport, Tashkent State Transport University.

E-mail: eternetoile@yandex.ru

The article was submitted 07.12.2023; approved after reviewing 10.02.2024.