

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.25-047.38:519.87

В. В. МАЛОВІЧКО^{1*}, Н. В. МАЛОВІЧКО^{2*}, Р. В. РИБАЛКА^{3*}

^{1*}Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта v.v.malovichko@ust.edu.ua, ORCID 0009-0008-2704-5555

^{2*}Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта n.v.malovichko@ust.edu.ua, ORCID 0009-0004-4093-9212

^{3*}Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта r.v.rybalka@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-7444-0517

Створення математичної моделі станційного рейкового кола у вигляді скінченного дискретного автомата

Мета. Гарантування безпеки руху поїздів є обов'язковим завданням під час розвитку технічної оснащеності залізничного транспорту в Україні. Для діагностування та перевірки працездатності таких систем використовують імітаційні моделі напільних пристроїв, зокрема рейкового кола. Найбільш розповсюдженими є моделі у вигляді диференціальних рівнянь та в операторній формі. На жаль, вони не повністю підходять для розв'язання вказаної задачі. У зв'язку з цим виникає необхідність створення математичної моделі, яка простіше інтегрується для перевірки як релейних електричних централізацій, так і систем мікропроцесорної централізації. **Методика.** Для досягнення поставленої мети автори запропонували створити математичну модель у вигляді скінченного дискретного автомата. У цій роботі розглянуто створення моделі станційного рейкового кола як напрямленого графа. Під час створення моделі визначено вхідні та вихідні величини моделі та стани. Побудовано таблиці входів та виходів автомата, створено секвенційні вирази для абстрактної моделі автомата та виконано їх мінімізацію. Закодовано стани автомата за допомогою тригерних схем. **Результати.** У ході проведених досліджень було створено математичну модель рейкового кола у вигляді скінченного автомата моделі Мура, а також проведено перевірку її працездатності в програмному середовищі Proteus. Розроблена модель дозволяє імітувати роботу станційного рейкового кола на рівні абстракції, що оперує з двійковими сигналами. Це дозволяє спростити узгодження роботи моделі з програмними засобами мікропроцесорної централізації. У цілому з'явилась можливість більш ефективно перевіряти працездатність систем мікропроцесорної централізації на етапах проектування і під час уведення в експлуатацію. **Наукова новизна.** Розроблена математична модель дозволяє визначити реакцію програмної частини мікропроцесорної централізації на поведінку рейкового кола в різних, зокрема нетипових режимах роботи, а також визначити реакцію системи станційної електричної централізації на окремі відмови і на виникнення декількох відмов одночасно. **Практичне значення.** Запропоновану математичну модель можна використовувати як для перевірки роботи систем мікропроцесорної централізації на стадії проектування та впровадження, так і для релейних систем централізації під час розробки діагностичних комплексів контролю їх працездатності.

Ключові слова: рейкове коло; математична модель; дискретний автомат; мікропроцесорна централізація; діагностування; граф

Вступ

Відповідно до національної транспортної стратегії України, підвищення рівня безпеки перевезень та роботи пристроїв залізничної

автоматики є пріоритетним завданням [4]. У забезпеченні ефективної роботи транспортних магістралей ключову роль відіграють залізничні станції, які обладнані системами централізації релейного та мікропроцесорного типу [6].

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

Мікропроцесорні системи централізації (МПЦ) є більш сучасними та перспективними для впровадження порівняно з релейними системами. Попри це в разі обладнання станції системами МПЦ також виникає ряд проблем, оскільки програмне забезпечення та мікропроцесорна частина системи не проходять повну перевірку на можливі відмови на стадії під'єднання до напільних об'єктів. У процесі запуску станції і включення її до поїзної роботи дільниці немає можливості перевірити всі нетипові режими роботи напільних об'єктів і їх вплив на роботу системи централізації загалом, оскільки це потребує значних затрат часу і повного виключення станції з поїзної роботи. Таку перевірку зазвичай виконує під час розробки системи виробник, але при цьому немає можливості приєднатись до реальних напільних об'єктів станції. У зв'язку з цим розробка математичних моделей напільних об'єктів, які дозволяють виконувати імітаційне моделювання їх роботи на стадії проектування систем мікропроцесорного типу, є актуальною. Автори розробили математичні моделі стрілочного перевалу [2] та станційних світлофорів [1]. Щоб охопити всі станційні напільні об'єкти, ця робота присвячена розробці математичної моделі рейкового кола, яка дозволить розв'язувати задачі імітаційного моделювання під час перевірки систем МПЦ перед стадією впровадження.

Мета

Основною метою цієї роботи є розробка математичної моделі станційного рейкового кола у вигляді, зручному для перевірки працездатності систем мікропроцесорної централізації на стадії їх упровадження. Створення математичної моделі у вигляді скінченного дискретного автомата дозволить імітувати роботу рейкового кола в бінарному коді, що спрощує узгодження роботи імітаційної моделі та програмних засобів мікропроцесорної централізації. Моделювання рейкового кола у вигляді дискретного автомата також спростить процедуру побудови електричної схеми на логічних елементах, яка дозволить створити фізичну модель для приєднання до модулів МПЦ. Також моделювання сприяє підвищенню надійності роботи електричної централізації

шляхом перевірки її поведінки в нетипових режимах роботи. Використання моделі у вигляді дискретного автомата дає можливість застосовувати її під час побудови систем діагностування електричної централізації з релейною елементною базою, оскільки в цьому випадку вихідні сигнали моделі 0 та 1 зручно використовувати за бінарної логіки роботи релейних схем.

Методика

Під час аналізу наявних математичних моделей рейкових кіл визначено, що в основному всі моделі створюють або у вигляді диференціальних рівнянь, або в операторній формі [3, 8]. Таке представлення рейкового кола доволі зручне для його дослідження як окремого об'єкта. Проте для перевірки взаємозв'язків між постовою частиною мікропроцесорної централізації та напільними об'єктами такі математичні моделі незручні тому, що видають вихідні значення не у вигляді нулів та одиниць, а у вигляді аналогових величин. Автори пропонують створити математичну модель рейкового кола у вигляді скінченного дискретного автомата моделі Мура. Таке представлення об'єкта дозволяє отримати вихідні величини f саме у вигляді бінарних сигналів. Слід враховувати, що рейкові кола, на відміну від таких напільних об'єктів, як стрілка та світлофор, лише контролюють стан колії і передають цю інформацію в постову частину електричної централізації. Керування рейковим колом від постової частини електричної централізації та чергового по станції не відбувається [5], тому цей об'єкт дуже зручно відображати саме у вигляді дискретного автомата.

Дискретні автомати доволі часто використовують для побудови різних систем діагностування пристроїв автоматики [10], але для моделювання роботи станційних рейкових кіл їх раніше не використовували. Для кодування дискретного автомата визначимо вхідні величини a і b , які є змінними в її математичній моделі. Як вхідну величину a візьмемо стан рейкового кола, пов'язаний з наявністю або відсутністю рухомого складу в його межах. Для цього за величину a візьмемо відсутність об'єктів у межах ділянки контролю,

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

а її інверсне значення \bar{a} – позначатиме наявність рухомого складу в зоні контролю. За величину b візьмемо: b – рейкова лінія ціла; \bar{b} – рейкова лінія обірвана, тобто пошкоджені самі рейки або з'єднувачі рейкового кола. Як внутрішні стани дискретного автомата візьмемо основні режими роботи рейкового кола: – шунтовий режим; Q_1 – нормальний режим; Q_2 – контрольний режим. Допоміжні режими роботи рейкового кола, такі як режим автоматичної локомотивної сигналізації та короткого замикання, у запропонованій математичній моделі не реалізуються, оскільки безпосереднього впливу на роботу постової частини електричної централізації вони не мають і вихідний стан рейкового кола в цих режимах буде аналогічний стану Q_0 .

Шунтовий режим роботи обрано як вихідний стан дискретного автомата, оскільки в цьому режимі на рейкове коло покладається найбільша відповідальність за безпеку руху в межах станції. Як вихідний сигнал для цієї математичної моделі візьмемо індикацію про стан ділянки контролю на пульті чергового по станції, яка у свою чергу залежить від стану реле контролю рейкового кола, тобто: f – реле, що контролює рейкове коло, отримує живлення; \bar{f} – реле вимкнене. Із використанням вхідних величин, внутрішніх станів та вихідних значень функції побудовано граф роботи станційного рейкового кола (рис. 1).

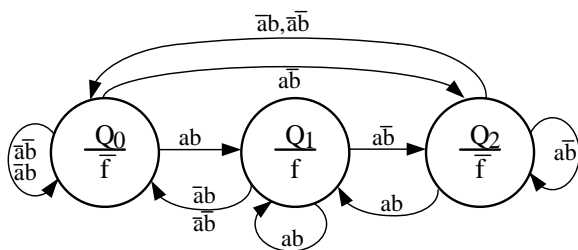


Рис. 1. Граф роботи станційного рейкового кола

Fig. 1. Schedule of the station rail circle operation

На базі створеного графа, що описує роботу рейкового кола, будують таблиці функцій переходів стану дискретного автомата та функції виходів (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Функції переходів

Table 1

Transition functions

Стани	Вхідні сигнали			
	00	01	10	11
Q_0	Q_0	Q_0	Q_2	Q_1
Q_1	Q_0	Q_0	Q_2	Q_1
Q_2	Q_0	Q_0	Q_2	Q_1

Таблиця 2

Функції виходів

Table 2

Functions of the outputs

Стани	Q_0	Q_1	Q_2
Вихідні сигнали	\bar{f}	f	\bar{f}

Для переходу від графа до аналітичних виразів представлення математичної моделі будують секвенційні рівняння на основі наведених таблиць:

$$\begin{aligned} \bar{a}\bar{b}Q_0 &\rightarrow Q_0; & \bar{a}\bar{b}Q_1 &\rightarrow Q_0; & \bar{a}\bar{b}Q_2 &\rightarrow Q_0; \\ \bar{a}bQ_0 &\rightarrow Q_0; & \bar{a}bQ_1 &\rightarrow Q_0; & \bar{a}bQ_2 &\rightarrow Q_0; \\ a\bar{b}Q_0 &\rightarrow Q_0; & a\bar{b}Q_1 &\rightarrow Q_0; & a\bar{b}Q_2 &\rightarrow Q_0; \\ abQ_0 &\rightarrow Q_1; & abQ_1 &\rightarrow Q_1; & abQ_2 &\rightarrow Q_1; \\ Q_0 &\rightarrow \bar{f}; & Q_1 &\rightarrow f; & Q_2 &\rightarrow \bar{f}. \end{aligned}$$

Отримані елементарні секвенційні рівняння, які направлені до однієї й тієї ж величини, записуємо через операцію логічного додавання. Як результат секвенційні рівняння на основі графа набувають такого вигляду:

$$\begin{aligned} \bar{a}\bar{b}Q_0 \vee \bar{a}\bar{b}Q_1 \vee \bar{a}\bar{b}Q_2 \vee \bar{a}bQ_0 \vee \bar{a}bQ_1 \vee \bar{a}bQ_2 &\rightarrow Q_0; \\ abQ_0 \vee abQ_1 \vee abQ_2 &\rightarrow Q_1; \\ a\bar{b}Q_0 \vee a\bar{b}Q_1 \vee a\bar{b}Q_2 &\rightarrow Q_2; \\ Q_1 &\rightarrow f; \\ Q_0 \vee Q_2 &\rightarrow \bar{f}. \end{aligned}$$

Користуючись аналітичними способами мінімізації функції алгебри логіки, отримуємо скорочені рівняння, які мають вигляд:

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

$$\begin{aligned} \bar{a}(Q_0 \vee Q_1 \vee Q_2) &\rightarrow Q_0; \\ ab(Q_0 \vee Q_1 \vee Q_2) &\rightarrow Q_1; \\ a\bar{b}(Q_0 \vee Q_1 \vee Q_2) &\rightarrow Q_2; \\ Q_1 &\rightarrow f; \\ Q_0 \vee Q_2 &\rightarrow \bar{f}. \end{aligned}$$

Наведені секвенційні рівняння являють собою абстрактний дискретний автомат, що імітує роботу станційного рейкового кола. Щоб використати імітаційну модель для визначення поведінки МПЦ під час тестування, необхідно на базі абстрактного автомата створити схему на логічних елементах, яка буде імітувати роботу рейкового кола. Для збереження інформації про попередні стани автомата, використовуємо 2 JK-тригери.

Для кожного з трьох станів автомата відповідно встановлюють стан тригерних схем, що наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Стани чарунок пам'яті

Table 3

States of memory cells

Стан автомата	Стан тригерних схем	
	F ₁	F ₂
Q ₀	0	0
Q ₁	0	1
Q ₂	1	0

Для реалізації залежності між станами моделі та позицією тригерів складаємо таблицю функцій збудження для тригерів відповідно до логіки їх роботи (табл. 4).

Таблиця 4

Кодування станів тригерних схем

Table 4

Coding of triggered circuit states

Стани автомата			Функції збудження тригерів			
Q ₂	Q ₁	Q ₀	J ₁	K ₁	J ₂	K ₂
0	0	0	–	–	–	–
0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	–	–	–	–

Продовження табл. 4

Continuation of Table 4

Стани автомата			Функції збудження тригерів			
Q ₂	Q ₁	Q ₀	J ₁	K ₁	J ₂	K ₂
1	0	0	1	0	0	1
1	0	1	–	–	–	–
1	1	0	–	–	–	–
1	1	1	–	–	–	–

Оскільки дискретний автомат має лише три визначених стани, то, відповідно, тригерні схеми також однозначно працюють лише на трьох позиціях таблиці. Для всіх інших рядків стан тригерів є невизначеним. Для побудови схеми з мінімально можливою кількістю елементів скористасємось методом мінімізації за допомогою карт Карно (див. рис. 2).

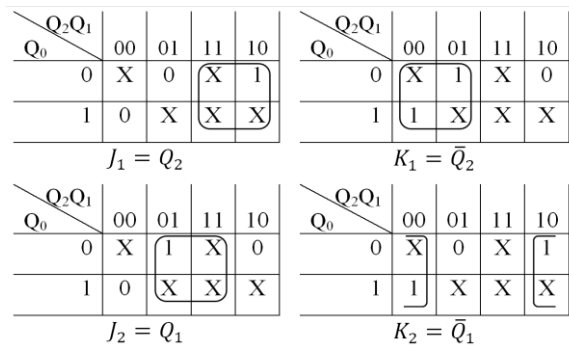


Рис. 2. Мінімізація функцій збудження тригерів за допомогою карт Карно

Fig. 2. Minimization of trigger excitation functions using Carnot maps

Результати

За результатами мінімізації секвенційних рівнянь та тригерних схем створено структурну схему дискретного автомата станційного рейкового кола. Для перевірки роботи створеної математичної моделі виконано її реалізацію в середовищі Proteus (рис. 3) [7]. Для підтвердження адекватності роботи створеної моделі за допомогою наведеної схемної реалізації було перевірено правильність переходів графа з кожного стану у відповідне положення в разі подачі всіх можливих вхідних комбінацій. У результаті виявлено відповідність роботи наведеної схеми таблицям входів та виходів моделі (табл. 1, 2).

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

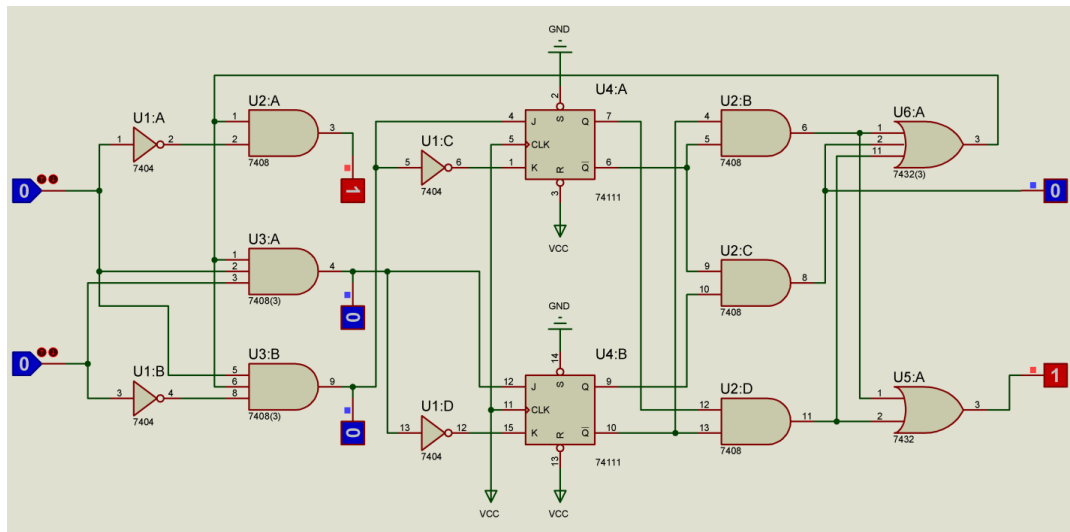


Рис. 3. Схема дискретного автомата станційного рейкового кола

Fig. 3. Scheme of the discrete automaton of the stationary rail circuit

Наукова новизна та практична значимість

У ході проведених досліджень як математичну модель, що імітує роботу станційного рейкового кола, вибрано модель у вигляді скінченного дискретного автомата з трьома стійкими станами. Використання розробленої моделі дозволяє:

- скоротити час на перевірку правильності роботи систем мікропроцесорної централізації в разі їх впровадження на залізничному транспорті;
- визначити реакцію програмної частини мікропроцесорної централізації на нетипову поведінку напільних об'єктів, зокрема рейкових кіл;
- на стадії створення мікропроцесорних систем проводити більш глибоку перевірку їх

поведінки під час встановлення маршрутів та виникнення різних відмов пристроїв, а також комбінації таких подій;

– імітувати роботу рейкового кола під час розробки систем діагностування та контролю електричної централізації на релейній елементній базі [9].

Висновки

Використання розробленої математичної моделі у формі дискретного автомата дозволить значно підвищити функцій надійність роботи мікропроцесорної централізації та спростити процеси побудови діагностичних комплексів для систем централізації на релейній елементній базі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маловічко В. В., Маловічко Н. В. Математична модель роботи чотирьохзначного станційного вихідного світлофора у вигляді дискретного автомату моделі Мура. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2018. № 15. С. 70–78.
2. Маловічко В. В., Рибалка Р. В., Маловічко Н. В., Тимошенко Л. С. Представлення роботи стрілочного переводу у вигляді дискретного автомату моделі Мура. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2013. № 6. С. 47–51.
3. Мойсеєнко В. І., Огар О. М., Гаєвський В. В. Розвиток залізничних цифрових систем та технологій у контексті інженерії 4.0. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. № 3. С. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v0i3.170647>
4. *Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року*. 2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p#Text>

АВТОМАТИЗОВАНІ ТА ТЕЛЕМАТИЧНІ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ

5. Стандарт СТД 13-005:2020 «Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Порядок технічного обслуговування», рішення правління АТ «Укрзалізниця» від 18.06.2020 (протокол № Ц-45/52 Ком. т.). Київ : Акціонерне Товариство «Українська залізниця», 2020. 116 с.
6. *Транспорт і зв'язок України – 2010-2019*. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm
7. Шамоня В., Семеніхіна О., Друшляк М. Використання середовища Proteus для візуального моделювання роботи базових елементів інформаційної системи. *Фізико-математична освіта*. 2019. Вип. 2 (20). С. 160–165. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2019-020-2-025>
8. Aliev R., Aliev M., Tokhirov E. Analysis, development of a model and an algorithm in the concept of the growth of tone jointless rail circuits. *Transportation Research Procedia*. 2022. № 63. P. 178–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.003>
9. Malovichko V., Rybalka R., Malovichko N., Honcharov K. Determining the Set of Elements for Automatic Monitoring and Diagnosing the Relay Interlocking System. *Proceedings of 26th International Scientific Conference. Transport Means 2022*. (Kaunas, 05–07 Oct. 2022). Kaunas, 2022. Pt. II. P. 509–514.
10. Unger S., Heinrich M., Scheuermann D., Katzenbeisser S., Schubert M., Hagemann L., Iffländer L. Securing the Future Railway System: Technology Forecast, Security Measures, and Research Demands. *Vehicles*. 2023. Vol. 5. Iss. 4. P. 1254–1274. DOI: <https://doi.org/10.3390/vehicles5040069>

V. V. MALOVICHKO^{1*}, N. V. MALOVICHKO^{2*}, R. V. RYBALKA^{3*}

^{1*}Dep. «Automation and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail v.v.malovichko@ust.edu.ua, ORCID 0009-0008-2704-5555

^{2*}Dep. «Automation and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail n.v.malovichko@ust.edu.ua, ORCID 0009-0004-4093-9212

^{3*}Dep. «Automation and Telecommunications», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail r.v.rybalka@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-7444-0517

Creation of a Mathematical Model of a Stationary Rail Circuit in the Form of a Finite Discrete Automaton

Purpose. Ensuring the safety of train traffic is a mandatory task in the development of technical equipment of railway transport in Ukraine. To diagnose and verify the performance of such systems, simulation models of overhead devices, in particular, the rail circle, are used. The most commonly used models are in the form of differential equations and in operator form. Unfortunately, they are not fully suitable for solving this problem. In this regard, there is a need to create a mathematical model that is easier to integrate for checking both relay electrical interlocking and microprocessor-based interlocking systems. **Methodology.** To achieve this goal, the authors proposed to create a mathematical model in the form of a finite discrete automaton. This paper considers the creation of a model of a station rail circuit as a directed graph. During the creation of the model, the input and output values of the model and the states are determined. The tables of inputs and outputs of the automaton are constructed, sequential expressions for the abstract model of the automaton are created, and their minimization is performed. The states of the automaton are coded using trigger circuits. **Findings.** In the course of the research, a mathematical model of the rail circle in the form of a Moore model finite automaton was created, and its performance was tested in the Proteus software environment. The developed model allows to simulate the operation of a stationary rail circuit at the level of abstraction, which operates with binary signals. This makes it possible to simplify the coordination of the model with microprocessor-based centralization software. In general, it is now possible to more effectively check the performance of microprocessor-based interlocking systems at the design and commissioning stages. **Originality.** The developed mathematical model makes it possible to determine the response of the microprocessor-based centralization software to the behavior of the rail circuit in various, in particular atypical, operating modes, as well as to determine the response of the station electrical centralization system to individual failures and to the occurrence of several failures simultaneously. **Practical value.** The proposed mathematical model can be used both to check the operation of microprocessor-based centralization systems at the design and implementation stages and for relay centralization systems when developing diagnostic complexes for monitoring their performance.

Keywords: rail circuit; mathematical model; discrete automaton; microprocessor-based centralization; diagnostics; graph

REFERENCES

1. Malovichko, V. V., & Malovichko, N. V. (2018). The mathematical model of operation of the four-unit station exit signal as a Moor discrete automaton. *Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 15, 70-78. (in Ukrainian)
2. Malovichko, V. V., Rybalka, R. V., Malovichko, N. V., & Tymoshenko, L. S. (2013). Representation of switch operation as discrete automaton Moore's machine kind. *Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 6, 47-51. (in Ukrainian)
3. Moiseienko, V. I., Ohar, O. M., & Gaievskyi, V. V. (2019). The development of railway digital systems and technologies in the context of engineering 4.0. *Information and control systems at railway transport*, 3, 11-20. DOI: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v0i3.170647> (in Ukrainian)
4. *Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku.* (2018). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-r#Text> (in Ukrainian)
5. «Prystroji syhnalizatsii, tsentralizatsii ta blokuvannia. Poriadok tekhnichnoho obsluhovuvannia», rishennia pravlinnia AT «Ukrzaliznytsia» vid 18.06.2020 (protokol # Ts-45/52 Kom. t.), 116 Standart STP 13-005:2020. (2020). Kyiv. (in Ukrainian)
6. *Transport i zviazok Ukrainy – 2010-2019.* Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm (in Ukrainian)
7. Shamonia, V., Semenikhina, O., & Drushlyak, M. (2019). Use of the proteus for visual modeling of the work of the information system basic elements. *Physical and Mathematical Education*, 20(2), 160-165. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2019-020-2-025> (in Ukrainian)
8. Aliev, R., Aliev, M., & Tokhirov, E. (2022). Analysis, development of a model and an algorithm in the concept of the growth of tone jointless rail circuits. *Transportation Research Procedia*, 63, 178-186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.003> (in English)
9. Malovichko, V., Rybalka, R., Malovichko, N., & Honcharov, K. (2022, Oct.). Determining the Set of Elements for Automatic Monitoring and Diagnosing the Relay Interlocking System. In *Proceedings of 26th International Scientific Conference. Transport Means 2022* (Pt. II, pp. 509–514). Kaunas, Lithuania. (in English)
10. Unger, S., Heinrich, M., Scheuermann, D., Katzenbeisser, S., Schubert, M., Hagemann, L., & Iffländer, L. (2023). Securing the Future Railway System: Technology Forecast, Security Measures, and Research Demands. *Vehicles*, 5(4), 1254-1274. DOI: <https://doi.org/10.3390/vehicles5040069> (in English)

Надійшла до редколегії: 09.02.2024

Прийнята до друку: 10.06.2024