

УДК 681.5:519.87

В. П. МОРОЗ – к.т.н., доцент, Український державний університет залізничного транспорту

Є. М. ЦЕБРО – магістр, Український державний університет залізничного транспорту

С. О. ЗМІЙ – старший викладач, Український державний університет залізничного транспорту, onilsergey@yandex.ua, ORCID: 0000-0002-7974-5181

Р. В. ТУРЧИНОВ – старший викладач, Український державний університет залізничного транспорту, roman.kym@gambler.ru, ORCID: 0000-0002-6312-4102

А. О. ЛАПКО – к.т.н., доцент, Український державний університет залізничного транспорту, A_lapko@ukr.net, ORCID 0000-0003-2881-1238

МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Вступ

На даний час спостерігається постійне зростання складності систем залізничної автоматики (СЗА), що призводить до ускладнення процесу розроблення систем та вимагає удосконалення методів та способів діагностування у процесі експлуатації.

Для вирішення даних проблем широко використовуються методи моделювання. Як показано в роботі [1], для моделювання СЗА доцільно використовувати мережі Петрі. Моделювання СЗА за допомогою мереж Петрі надає можливість виконати формальний опис процесів функціонування та визначити важливі властивості даних систем.

У роботі запропоновано метод діагностування несправностей у підсистемі керування стрілочним електроприводом з електродвигуном постійного струму на основі аналізу графу досяжності мережі Петрі, що моделює функціонування даної підсистеми.

Актуальність проблеми

Відомо, що значний знос технічних засобів систем керування та відсутність відповідних систем технічної діагностики призводять до збільшення часу на виявлення несправностей, у тому числі і в СЗА. Метод діагностування, що пропонується, надає можливість зменшити обсяг пошуку не-

справностей в підсистемі керування стрілкою (далі – підсистемі), а отже і зменшити час усунення відмов.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемам моделювання та діагностування систем керування присвячено багато сучасних досліджень [2, 3]. Наприклад, у роботі [2] висвітлені питання визначення показників надійності систем керування відповідальними технологічними процесами на основі моделювання. Проблемам технічної діагностики електромеханічних систем за допомогою мереж Петрі присвячено роботу [3].

Мета статті

Метою даної роботи є розробка методу визначення несправностей у підсистемі, який ґрунтується на моделюванні алгоритму функціонування даної підсистеми за допомогою мереж Петрі.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- побудова мережі Петрі, що моделює алгоритм функціонування підсистеми;
- створення графу досяжності отриманої мережі Петрі;
- встановлення закономірностей між проявом несправностей у підсистемі

мі та елементами створеного графу досяжності.

Основний матеріал дослідження

Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми при переведенні стрілки з одного крайнього положення (плюсового або мінусового) в інше, наведено на рис. 1 [11]. Перевірка умов у підсистемі відповідає блокам прийняття рішення в алгоритмі. Зміни станів підсистеми (спрацювання та знеструмлення реле, вмикання та вимикання двигуна, перемикавання автоперемикача) відповідають блокам обчислення в алгоритмі. При побудові алгоритму було враховано виникнення відмов у підсистемі. Наприклад, блок №17 вказує на неможливість переведення стрілки при не спрацюванні реле НПС.

За допомогою методики, яку наведено в [4], отриманий алгоритм було перетворено в мережу Петрі, яку наведено на рис. 2. Позиції мережі Петрі відповідають дугам алгоритму, а переходи мережі Петрі відповідають блокам алгоритму.

Вихідне маркування отриманої мережі Петрі: $M_0(\text{Start})=1$, $M_0(\text{PU})=1$, в інших позиціях фішки відсутні. Дане маркування (див. рис. 2) вказує на готовність блоку №2 (див. рис. 1) до перевірки умови замикавання загального та фронтного контактів реле СП. Блок №2 моделюється за допомогою двох переходів мережі Петрі: SP_t та SP_f , які означають, відповідно, замикавання та не замикавання загального й фронтного контактів реле СП. Переходи SP_t та SP_f є обидва дозволеними, але спрацювання одного з них призведе до неможливості спрацювання іншого. При виконанні мережі Петрі може спрацювати будь-який з даних переходів. Така невизначеність в поведінці мережі Петрі дозволить побудувати граф досяжності, що буде відображати функціонування алгоритму як у справному режимі так і при відмовах. Інші блоки прийняття рішення моделюються аналогічно.

Блоки обчислення алгоритму відображуються за допомогою одного переходу мережі Петрі. Наприклад, блок №11 (див. рис. 1) моделюється переходом NPS_on (див. рис. 2).

Позиції PU , MU , P_Com , M_Com , VK відображують відповідно стан контактів реле ПК, МК, стан контактів стрілочного комутатора щодо переведення стрілки в плюсове або в мінусове положення і кнопки ВК. Наявність фішки в позиції відповідає замикаючому відповідних контактів. Дані позиції використовуються для керування виконанням мережі Петрі.

Для формального аналізу отриманої мережі Петрі використано програмне забезпечення Snoopy, Charlie [5]. За допомогою даного програмного забезпечення обчислено та побудовано граф досяжності (рис. 3) для початкового маркування M_0 .

Граф досяжності є відображенням множини досяжності станів мережі Петрі. Вершини графу досяжності відповідають досяжним маркуванням, а дуги відповідають спрацюванням переходів, що призводять до нових маркувань. На рис. 3 біля вершин графу в дужках перелічені позиції, в яких знаходяться фішки. Граф показує всі можливі запуски переходів мережі Петрі.

На графі досяжності можна виділити послідовність спрацювань переходів $\sigma = (SP_t, Z_t, \dots, PK_t, PK_on)$, що має місце при справній роботі підсистеми. Дана послідовність спрацювань призводить до тупикового маркування $M_t(\text{Plus_Contr})=1$, $M_t(\text{P-Plus_Contr})=0$, яке означає отримання контролю плюсового положення стрілки. Всі інші тупикові маркування даної мережі Петрі відображають результат функціонування підсистеми при відмовах. Очевидно, що при відмові відбувається відхилення від нормального ходу функціонування підсистеми. На графі досяжності мережі Петрі дане відхилення відображується у вигляді відгалужень від послідовності спрацювань σ . Таким чином, на причини відмов будуть вказувати переходи, при спрацю-

ванні яких відбувається відгалуження від послідовності спрацьовувань σc .

Розглядання всіх можливих послідовностей спрацьовувань переходів, що моделюють функціонування підсистеми при відмовах зведено в табл. 1. Номера станів в табл. 1 відповідають номерам кінцевих ма-

ркувань мережі Петрі на рис. 3. В табл. 1 для кожної послідовності спрацьовувань визначено переходи при спрацьованні яких дані послідовності відгалужуються від послідовності σc та показано формальні вирази, за допомогою яких ці переходи можуть бути знайдені.

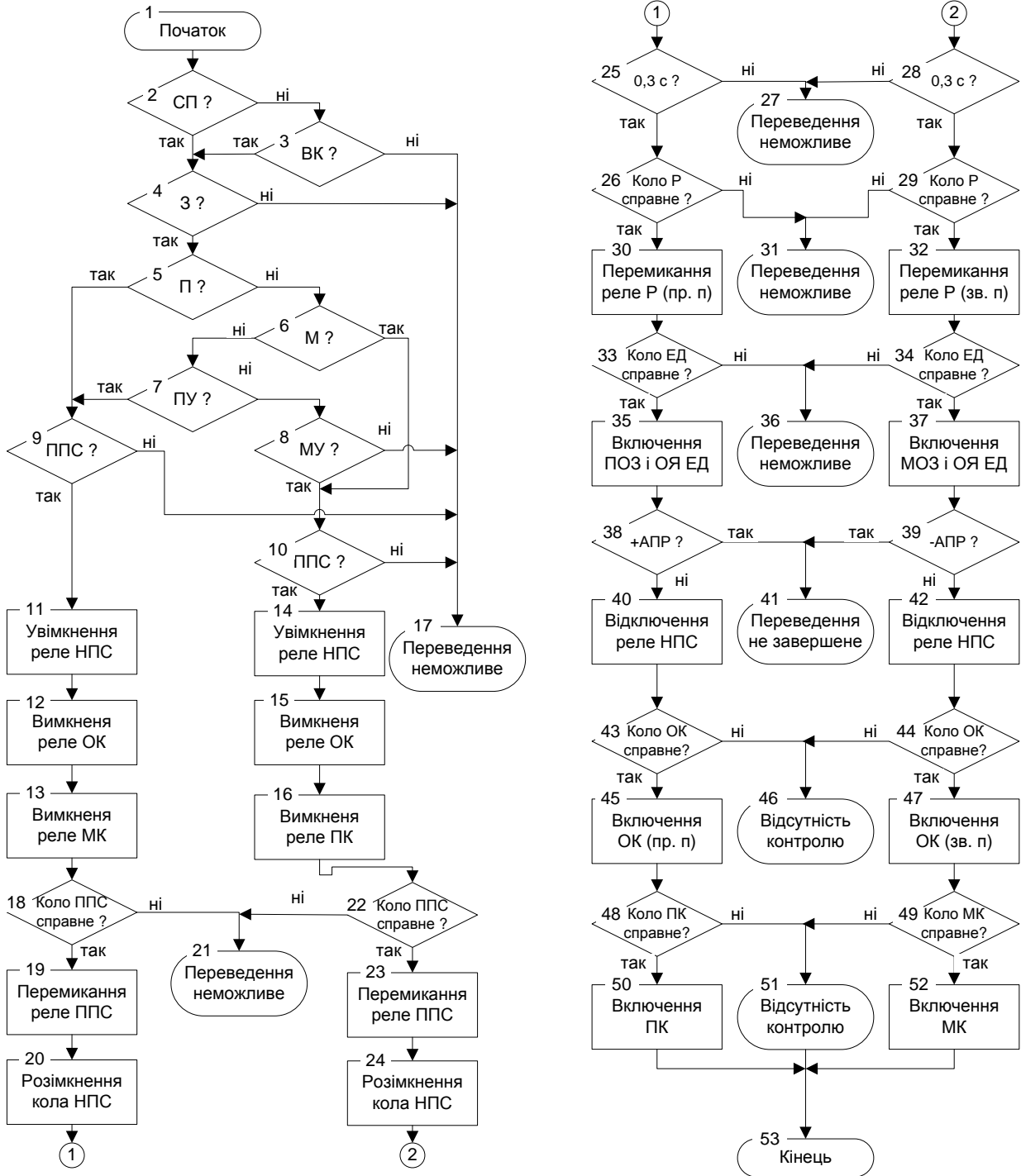


Рис. 1. Алгоритм керування стрілочним приводом

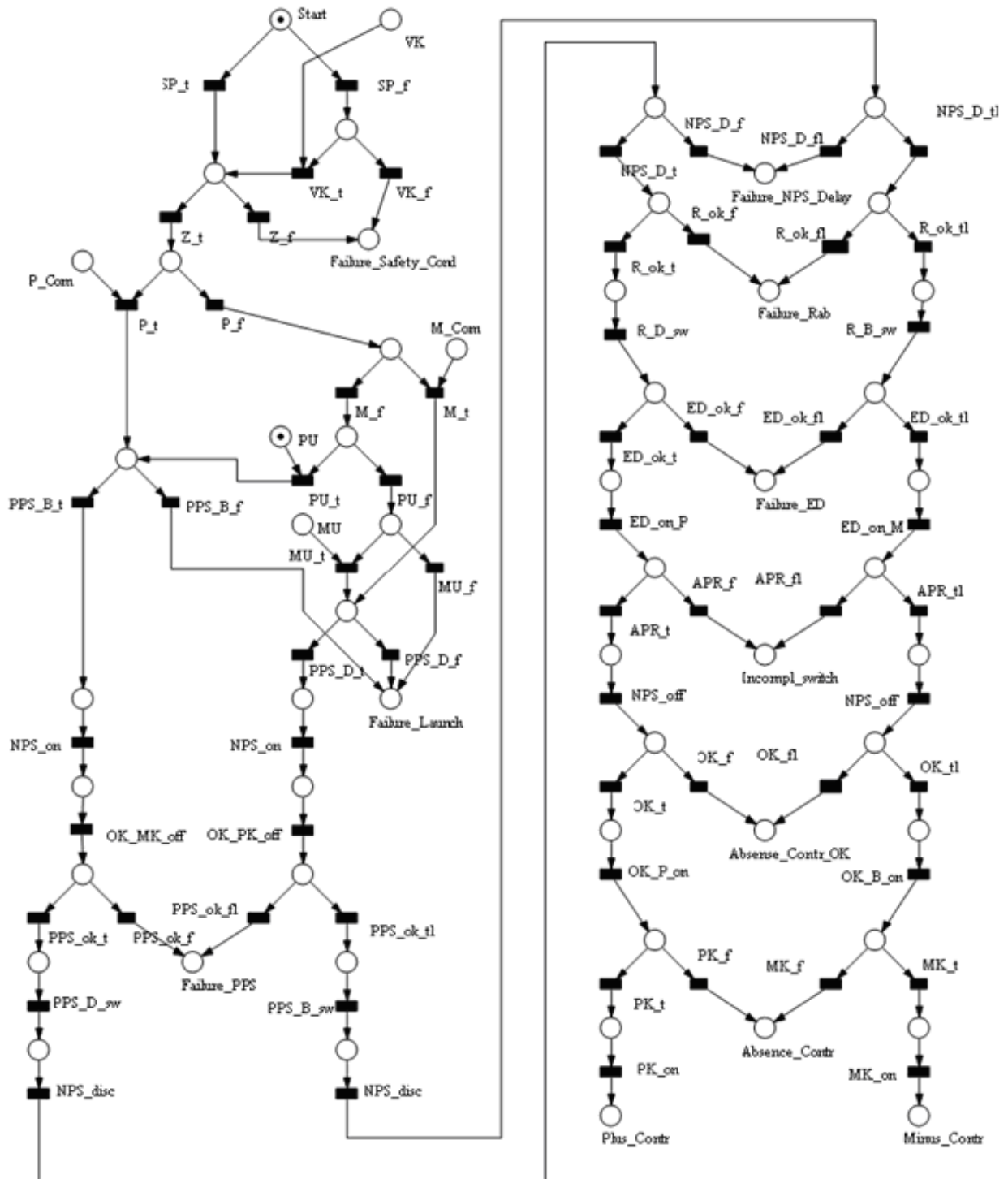


Рис. 2. Мережа Петрі керування стрілочним приводом

Приклад: стрілка не переводиться в крайнє плюсове положення, стрілочний електродвигун працює на фрикцію. Даний стан відображується за допомогою тупикового маркування (на рис. 3 позначене номером 8) M8. До даного маркування із початкового маркування призводить послідов-

ність спрацювань переходів σ_8 . Відгалуження послідовності σ_8 від послідовності σ_c відбувається при спрацюванні переходу APR_f. Даний перехід імітує відсутність розмикання робочих контактів автоперемичака 41-42 по закінченні часу нормального переведення стрілки.

Таблиця 1

Аналіз послідовностей спрацювань мережі Петрі

Номер стану	Послідовності спрацювань, що призвели до стану	Переходи, що спричинили відхилення від σ_c	Вирази для знаходження переходів
1	$\sigma_{1a}=(SP_f, VK_f), \sigma_{16}=(SP_t, Z_f)$	SP_f, Z_f	$(\sigma_{1a} \setminus \sigma_c)_1 U (\sigma_{16} \setminus \sigma_c)$
2	$\sigma_2=(SP_t, Z_t, \dots, PU_f, MU_f)$	PU_f	$(\sigma_2 \setminus \sigma_c)_1$
3	$\sigma_3=(SP_t, Z_t, \dots, PU_t, PPS_D_f)$	PPS_D_f	$\sigma_3 \setminus \sigma_c$
4	$\sigma_4=(SP_t, Z_t, \dots, OK_MK_off, PPS_ok_f)$	PPS_ok_f	$\sigma_4 \setminus \sigma_c$
5	$\sigma_5=(SP_t, Z_t, \dots, NPS_disc, NPS_D_f)$	NPS_D_f	$\sigma_5 \setminus \sigma_c$
6	$\sigma_6=(SP_t, Z_t, \dots, NPS_D_t, R_ok_f)$	R_ok_f	$\sigma_6 \setminus \sigma_c$
7	$\sigma_7=(SP_t, Z_t, \dots, R_D_sw, ED_ok_f)$	ED_ok_f	$\sigma_7 \setminus \sigma_c$
8	$\sigma_8=(SP_t, Z_t, \dots, ED_on_P, APR_f)$	APR_f	$\sigma_8 \setminus \sigma_c$
9	$\sigma_9=(SP_t, Z_t, \dots, NPS_off, OK_f)$	OK_f	$\sigma_9 \setminus \sigma_c$
10	$\sigma_{10}=(SP_t, Z_t, \dots, OK_P_on, PK_f)$	PK_f	$\sigma_{10} \setminus \sigma_c$

Послідовності σ_c та σ_8 є впорядкованими множинами, що перетинаються, отже формально перехід APR_f, що вказує на причини відмови можна визначити:

$$APR_f = \sigma_8 \setminus \sigma_c,$$

тобто як різницю множин σ_8 та σ_c .

Якщо розглядати стан №2 та послідовність спрацювань σ_2 , то виявиться, що:

$$\sigma_2 \setminus \sigma_c = (PU_f, MU_f),$$

тобто, різниця даних множин дорівнює двом переходам. В такому разі переходом, що вказує на відмову необхідно вважати перший елемент отриманої множини, отже:

$$(\sigma_2 \setminus \sigma_c)_1 = PU_f.$$

При аналізі стану №1 можна зробити висновок, що до нього можуть привести дві послідовності спрацювань: σ_{1a} та σ_{16} , що відгалужуються від послідовності σ_c при спрацюванні переходів SP_f і Z_f відповідно. Перехід SP_f моделює не замикання загальних та фронткових контактів реле СП,

а перехід Z_f – не замикання загальних та фронткових контактів реле З. Обидва переходи можуть вказувати на несправність, тому вираз для знаходження даних переходів має вигляд об'єднання елементів:

$$(\sigma_{1a}, Z_f) = (\sigma_{1a} \setminus \sigma_c)_1 U (\sigma_{16} \setminus \sigma_c). \quad (4)$$

У загальному випадку, коли до тупикового маркування можуть привести більше однієї послідовності спрацювань σ_i , $i=1..n$ (більше одного відгалуження від послідовності σ_c), на причини відмов буде вказувати множина переходів, яка визначаються $T_H \in T$:

$$T_H = \bigcup_i^n (\sigma_i \setminus \sigma_c)_1. \quad (5)$$

Висновок

Використання мереж Петрі дозволяє на основі алгоритму функціонування підсистеми керування стрілочним електроприводом з електродвигуном постійного струму

здійснити побудову діагностичної моделі даної підсистеми.

Аналіз графу досяжності отриманої мережі Петрі надає можливість визначити переходи даної мережі, що вказують на несправності, які виникають в підсистемі, що досліджується.

Застосування математичного апарату теорії множин дозволяє формалізувати пошук переходу мережі Петрі, який вказує на несправність в підсистемі, що досліджується.

Бібліографічний список

1. Мороз, В. П. Аналіз методів моделювання асинхронних паралельних процесів [Текст] / В. П. Мороз, Є. М. Цебро // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2012. Вип. № 29. – С 44-48.
2. Model-based dependability evaluation of complex critical control systems Francesco Flammini [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.fedoa.unina.it/1522/1/Flammini_Ingegneria_Informatica_ed_Automatica.pdf (Дата звернення: 19.06.2014).
3. Сабуров, П. С. Оценка технического состояния электромеханических систем на основе сетей Петри. [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Сабуров Павел Сергеевич – Владимир., 2011. – 20 с.
4. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Дж. Питерсон пер. с англ.. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
5. Data structures and software dependability [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www-dssz.informatik.tucottbus.de/DSSZ/Software/Snoopy> (Дата звернення: 19.06.2014).
6. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц [Текст] / А. Б. Бойник, Г. И. Загарий, С. В. Кошевой, Н. И. Луханин, Н. В. Поэта, В. И. Поддубняк. – Х.: ЧП Издательство «Новое слово», 2008. – 304 с.
7. Контроль функционирования больших систем [Текст]: / Г. П. Шибанов, А. Е. Артеменко, А. А. Метешкин, Н. И. Циклинский под ред. Г. П. Шибанова. – М.: Машиностроение, 1977. – 360 с.
8. Котов, В. Е. Сети Петри [Текст] / В. Е. Котов. – М.: Наука гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 160 с.
9. Jensen, K. Coloured Petri Nets Modelling and Validation of Concurrent Systems / K. Jensen, L. M. Kristensen. – Berlin: Springer-Verlag, 2009. – 384 p.
10. Синчук, О. Н. Сети Петри как аппарат для исследования аварийных режимов в тяговых электротехнических комплексах [Текст] / О. Н. Синчук, В. О. Черная // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2010 (62). Частина 1. С 128-131.
11. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст]: учеб. для вузов ж-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин и др.; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.

Ключові слова: діагностика, система залізничної автоматики, мережі Петрі, стрілочний електропривод, алгоритм керування, граф досяжності.

Ключевые слова: диагностика, система железнодорожной автоматики, сети Петри, стрелочный электропривод, алгоритм управления, граф достигаемости.

Keywords: diagnostics, railway automation system, Petri nets, switch actuator, the control algorithm, the earl of reach.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. Б. Бойнік,
д.ф.-м.н., проф. В. І. Гаврилюк.

Надійшла до редколегії 21.10.2015.

Прийнята до друку 30.10.2015.