

УДК 656.25

В. В. ЛАГУТА – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, vvlaguta@mail.ru
Т. М. СЕРДЮК – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru
А. А. ПАРХОМЕНКО – магістр, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, керівник дільниці дефектоскопії Одеської дистанції колії – 1 (ПЧ-1), Одеська залізниця, ПАТ «Укрзалізниця»

АНАЛІЗ ВІДМОВ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Постановка проблеми

Залізнична статистика являє собою область практичної діяльності зі збору, обробки та аналізу статистичної інформації про роботу залізниць. Це розділ науки, в якому досліджуються масові явища на залізничному транспорті. Вона вбирає в себе сукупні статистичні дані, що характеризують діяльність транспорту та окремі його сторони.

Залізнична статистика, як необхідний елемент управління залізничним транспортом, в різних країнах має різну ступінь розвитку і в частині систем показників, що використовуються для характеристики, і в частині організаційних форм. У цьому відбивається рівень усупільнення залізничного транспорту, планування і нормування його роботи та інші особливості економічного і соціального ладу [1].

Внаслідок схемно-конструктивних і виробничих недоліків, а також недоліків у системі обслуговування, в пристроях системи залізничної автоматики (СЗА) можуть виникати відмови, які по-різному впливають на працездатність системи. В одних випадках відмова схеми, блоку або елемента може призвести до небезпечної ситуації – втрати працездатності, в інших – система в силу своєї надмірності в структурі, а також у зв'язку з правилами організації руху поїздів, може виконувати свої функції, але при цьому ефективність функціонування буде знижена.

Актуальність. Відмінною особливістю СЗА є надзвичайно відповідальна роль у

виконанні перевізного процесу та забезпечення безпеки руху поїздів.

Рішення багатьох задач управління системою утримання, заснованих на кількісній оцінці ефективності стиснення [2], пов'язано з необхідністю визначення показників, які дозволяють оцінити поточний стан елемента автоматики, а також спрогнозувати їх ресурс надійності. Основою будь-яких статистичних досліджень є наявність актуальних спостережень про об'єкт. Для прийняття обґрунтованих рішень в управлінні системи утримання пристроїв залізничної автоматики важливе значення має наявність достовірних даних про відмови.

Математичне моделювання процесу відмов пристроїв залізничної автоматики розглядається як один з інструментів дослідження, який передбачає розбиття складної системи утримання на підсистеми для більш ефективного планування технічного обслуговування елементів СЗА.

Забезпечення високої ефективності функціонування системи залізничної автоматики є важливою науково-технічною задачею, вирішення якої дозволить організувати технологічний процес перевезень з максимальною ефективністю й безпекою руху поїздів. Наукова робота відповідає пріоритетним напрямкам розвитку транспорту, що визначена у «Стратегії розвитку транспорту на період до 2020 року» (постанова КМУ від 16.12.2009 № 1555-р).

Метою дослідження є первинна обробка спостережень про відмови елементів СЗА на Одеській залізниці за період 2011–

2015 рр. і їх порівняння; визначення якісних причинно-наслідкових зв'язків у відмовах елементів СЗА та їх структури для обраної дистанції, що сприятиме поліпшенню її системи утримання.

Огляд публікацій

Вперше оцінки значень показників безпеки пристроїв СЦБ були визначені в роботах А. А. Ейлера і С. І. Залгаллер. В них були висунуті основні вимоги про збір та статистичну обробку спостережень про відмови елементів системи автоматики. Фундаментальні роботи, що присвячені дослідженням надійності й безпеки систем залізничної автоматики на основі спостережень про їх поточний стан, з'явилися одночасно з роботами опублікованими Ю. К. Беляєвим, А. І. Бергом, Б. В. Гнеденко, Г. В. Дружиніна, Д. Нейманом, А. Пірсом, К. Барлоу, С. Прошан, Б. Діллон та іншими фахівцями, в яких розглядалися математичні питання теорії надійності і відповідні прикладні задачі [3–6].

Інженерні вимоги до якості статистичних даних про стан елементів СЗА в режимі експлуатації і загальні принципи вибору показників надійності викладені в [7–12].

Порівняння відмов і причинно-наслідкові зв'язки між ними

Задачею дослідження є підготовка даних для проведення математичного моделювання функціонування СЗА з метою оцінювання поточного стану елементів системи і прогнозування їх ресурсу надійності.

Надійність будь-якої технічної системи залежить від складу і кількості елементів (вузлів), які її утворюють, від способу їх об'єднання в систему і від характеристик кожного окремого елемента. Серед пристроїв залізничної автоматики можна виділити такі:

– електричні (рейкові кола, кабельні та повітряні лінії, сигнали, пульти, табло, апарати керування, пристрої електроживлення,

елементи захисту, трансформатори, дросель-трансформатори т. п.);

– електромеханічні (електроприводи стрілок, автошлагбауми переїздів, рухомі деталі реле, маятникові трансмітери, комутаційні пристрої і т.п.).

Якість роботи залізничного транспорту суттєво залежить від надійності всіх приладів автоматики.

Слід зазначити, що на надійність пристроїв залізничної автоматики впливає людський фактор, а саме, кваліфікація і дисциплінованість обслуговуючого персоналу (електромеханіки, електромонтери, старші електромеханіки, начальники дільниць). Для підвищення якості обслуговування пристроїв залізничної автоматики було зроблено графіки технологічного обслуговування, до кожного виду роботи складено технологічні карти, на основі яких електротехнічний персонал виконує свої обов'язки. Технологічні карти містять відомості про норми та допуски, тривалість і послідовність виконання робіт, перелік інструментів.

Джерела інформації про відмови пристроїв залізничної автоматики можуть іноді містити викривлені статистичні дані внаслідок похибок при проведенні спостережень. В деяких випадках характер пошкодження кваліфікується не об'єктивно, самі відмови не фіксуються, що прямо залежить від кваліфікації та дисциплінованості обслуговуючого персоналу. Якщо, серед статистичних даних частка таких помилкових даних незначна, то це не змінить загальної картини дослідження динаміки відмов елементів залізничної автоматики.

У статті представлені спостереження за відмовами систем залізничної автоматики Одеської залізниці за період з 01.01.2011 по 31.12.2015 рр. та проведено їх аналіз. В табл. 1 наведено кількості відмов поквартально для наступних елементів:

x_1 – відмова у роботі рейкових кіл;

x_2 – відмова роботи апаратури;

x_3 – відмова у стрілочних переводах;

x_4 – несправність кабельних ліній;
 x_5 – відмова чи помилкова передача сигналів;
 x_6 – відмова пультів, табло, апаратури керування;
 x_7 – порушення електроживлення;
 x_8 – відмова елементів захисту;
 x_9 – несправність у стативах;
 x_{10} – несправність елементів релейних шаф;

x_{11} – несправність елементів колійних коробок.

Для кожного з перелічених факторів x_1, x_2, \dots, x_{11} виконано вибірки з двадцяти спостережень. Динамічний ряд спостережень відмов надано на рис. 1.

Аналізуючи дані (див. рис. 1) можна зробити висновок, що основна частина відмов апаратури залізничної автоматики Одеської залізниці приходить на ізолюючі стики (їм властивий «пробій»).

Таблиця 1

**Статистика відмов пристроїв залізничної автоматики за період
 01.01.2011 – 31.12.2015 рр. Одеської залізниці ПАТ «Укрзалізниця»**

Період	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
1 кв. 2011 р.	19	35	3	5	1	2	2	1	2	0	1
2 кв. 2011 р.	31	27	2	4	3	1	1	3	6	1	1
3 кв. 2011 р.	23	19	9	8	2	3	2	2	3	3	0
4 кв. 2011 р.	22	19	4	12	4	1	1	6	5	0	0
1 кв. 2012 р.	34	14	5	3	7	1	0	2	4	1	0
2 кв. 2012 р.	39	24	6	5	4	0	2	0	6	2	0
3 кв. 2012 р.	49	38	3	6	9	2	1	4	8	3	0
4 кв. 2012 р.	44	18	7	9	1	0	2	3	5	1	0
1 кв. 2013 р.	52	22	8	5	9	1	1	1	5	4	0
2 кв. 2013 р.	35	26	4	9	8	1	5	11	3	6	0
3 кв. 2013 р.	53	21	3	6	4	2	2	2	7	3	0
4 кв. 2013 р.	49	43	6	10	9	2	3	7	2	4	0
1 кв. 2014 р.	30	31	7	11	14	0	2	6	3	3	0
2 кв. 2014 р.	41	14	4	4	5	1	0	2	4	5	1
3 кв. 2014 р.	24	35	8	7	7	0	4	1	6	8	0
4 кв. 2014 р.	36	20	2	9	8	0	1	1	2	4	1
1 кв. 2015 р.	36	16	4	9	10	0	2	4	4	3	0
2 кв. 2015 р.	76	26	9	11	7	3	3	3	7	5	2
3 кв. 2015 р.	61	42	7	6	9	1	3	2	8	4	1
4 кв. 2015 р.	54	21	3	4	12	1	1	2	6	1	0

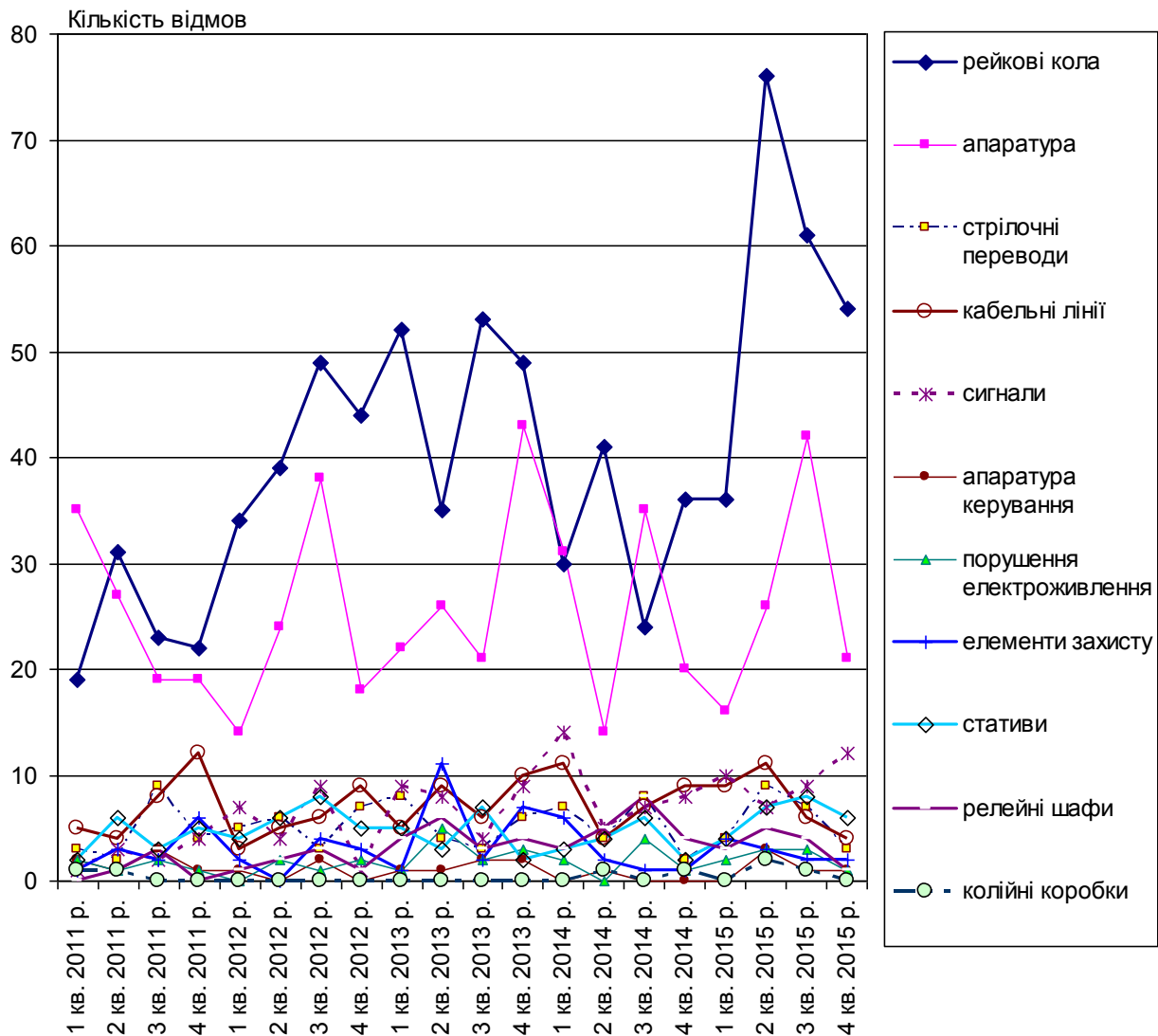


Рис. 1. Динаміка спостережень відмов пристроїв залізничної автоматики

Відмови в рейкових колах з початку 2013 до кінця 2014 року суттєво зменшилися з 43 % до 29 % від їх загальної кількості завдяки масовій установці полімерних ізолюючих стиків на головних коліях станцій та у перевідних кривих стрілочних переводів, які за своїми характеристиками суттєво відрізняються від тих, що використовувалися раніше. З іншого боку, зараз на залізницях України застосовуються нові системи автоблокування без ізолюючих стиків, такі як ЦАБ, АБТЦ і т. ін., що також суттєво зменшує кількість відмов рейкових кіл.

В спостереженнях за 2012–2015 рр. бачимо періодичне збільшення кількості від-

мов іншої апаратури, кабельних ліній, сигналів, а з 2013 р. – і кількості відмов в елементах апаратури захисту. Пульти, табло, апаратура керування та пристрої електроживлення суттєво не змінили свої показники. У стрілочних електроприводах з середини 2012 по 2015 рік також зростає число відмов, при чому спостерігається вплив сезонності, в весняно-зимовий період число відмов зростає з чотирьох до восьми – дев'яти за квартал.

В табл. 2 наведено суми по кожному показнику x_1, x_2, \dots, x_{11} за двадцять кварталів, їх середні значення та відсотки у відношенні до загальної суми відмов.

Таблиця 2

**Відмови пристроїв залізничної
 автоматики Одеської залізниці**

Назва показника	Сумарне значення	Середнє значення	Відсоток, %
Рейкові кола	808	40,40	40,81
Апаратура	511	25,55	25,81
Стрілочні електроприводи і переводи	104	5,20	5,25
Кабельні лінії	143	7,15	7,22
Сигнали	133	6,65	6,72
Пульти, табло, апаратура керування (реле)	22	1,10	1,11
Пристрої електроживлення	38	1,90	1,92
Елементи захисту	63	3,15	3,18
Стативи	96	4,80	4,85
Релейні шафи	57	2,85	2,88
Колійні коробки	5	0,25	0,25

За даними (див. табл. 2) побудовано діаграму відмов пристроїв залізничної автоматики Одеської залізниці за період 2011–2015 рр.(рис. 2). В результаті можна зробити висновок, що найбільше число відмов приходить на рейкові кола, що пояснюється умовами їх експлуатації. Вони знаходяться в умовах постійного динамічного навантаження і різкого коливання температури й вологості навколишнього середовища. Основними причинами відмов рейкових кіл є порушення ізоляції в стику, обрив стикового з'єднувача, зниження опору баласту.

У стрілочних електроприводів найбільш характерними відмовами є порушення контакту автоперемикача, неповне притиснення щіток, забруднення колектора, обрив і замикання секцій обмоток якоря і статора, несправності механічної передачі.

Причинами відмов у світлофорів в основному є перегорання нитки ламп, порушення контакту в лампотримачі, несправності монтажу, бій лінз.



Рис. 2. Лінійчата діаграма відмов пристроїв залізничної автоматики

Найбільш ненадійними серед всіх реле систем керування й контролю пристроями залізничної автоматики є імпульсні та нейтральні. Причинами відмов в імпульсних реле як найчастіше є ерозія контактів, пробій випрямляча, розрегулювання електричних характеристик, в нейтральних порушення контакту в штепсельному роз'ємні, підгоряння і ерозія контактів і ін.

Останнім часом зростають випадки вандалізму у відношенні до пристроїв залізничної автоматики. Матеріальні збитки при цьому складають близько 15...20 %. Найчастіше піддаються розкраданню та псуванню такі елементи, як дросель-трансформатори, кабельні муфти, кабелі, трансформатори, світлофорні лінзи та лампи, які також відіграють важливу роль у статистичних даних.

Граф кореляційної залежності між відмовами та структура математичної моделі

Проведення аналізу рівня надійності пристроїв і систем залізничної автоматики на етапі експлуатації – складне завдання. Для його вирішення необхідно:

- отримати оцінку досягнутих показників надійності пристроїв СЗА в фактичних умовах експлуатації;
- провести аналіз показників надійності.

Під оцінкою досягнутих показників надійності пристроїв СЗА розуміється розрахунок кількісних значень показників, на основі статистичних даних про функціонування системи на етапі експлуатації. Аналіз показників надійності полягає в зіставленні в різних поєднаннях x_1, x_2, \dots, x_{11} , розрахованих на етапі експлуатації, з показниками, введеними на етапі проектування, а також – з допустимими показниками, встановленими для даної дільниці.

За даними спостережень (див. табл. 1, 2) було здійснено кореляційний аналіз. Матриця вибірових коефіцієнтів кореляції між відмовами елементів СЗА описується формулою $R = [X_{ij}]$ і наведена в табл. 3.

Для з'ясування питання чи знаходяться фактори процесу відмов елементів СЗА в кореляційній залежності перевіримо значущість вибірового коефіцієнта кореляції $r_{i,j}$.

Таблиця 3

Матриця кореляції відмов елементів СЗА

Показник	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
x_1	1										
x_2	0,147	1									
x_3	0,213	0,132	1								
x_4	-0,016	0,106	0,297	1							
x_5	0,327	0,236	0,041	0,157	1						
x_6	0,293	0,193	0,156	0,014	-0,248	1					
x_7	0,075	0,502	0,371	0,437	0,086	0,052	1				
x_8	-0,068	0,18	-0,092	0,561	0,293	0,056	0,454	1			
x_9	0,559	0,161	0,092	-0,254	0,035	0,096	-0,009	-0,274	1		
x_{10}	0,226	0,251	0,384	0,177	0,331	-0,029	0,572	0,144	0,055	1	
x_{11}	0,353	0,111	-0,016	-0,002	-0,164	0,306	-0,021	-0,241	0,111	0,115	1

Для спостережень, що маються, ступінь свободи $k = 18$, рівень значущості приймемо $\alpha = 0,1$, тоді критерій Ст'юдента дорівнюватиме $t_{0,1;18} = 1,73$. Критичне значення коефіцієнта кореляції для відповідних α і t складає $r_{кр} = 0,378$.

Якщо проаналізувати значення вибірко-вих коефіцієнтів кореляції в матриці R , то більшість з них менше критичного значення. Для таких факторів сила лінійного зв'язку слабка і неістотна. Істотним є лінійний зв'язок між парами факторів (x_1, x_9) , (x_2, x_7) , (x_3, x_{10}) , (x_4, x_7) , (x_4, x_8) , (x_7, x_8) , (x_7, x_{10}) .

Показники x_5 (відмова чи помилкова передача сигналів) та x_6 (відмова пультів, табло, апаратури керування) не корелюються ні між собою, ні з іншими факторами.

Для побудови графу кореляційної залежності між відмовами пристроїв була складена матриця суміжності $Q = (q_{i,j})$, при $i, j = \overline{1,11}$. Нехай $q_{i,j} = 0$. Дана умова виконується при $|r_{i,j}| \leq r_{кр}$ і $q_{i,j} = 1$. Отримаємо

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ & & & & & & & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & 1 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & 1 & 0 \\ & & & & & & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

Відповідний граф кореляційної залежності відмов елементів СЗА до побудованої матриці суміжності Q зображено на рис. 3.

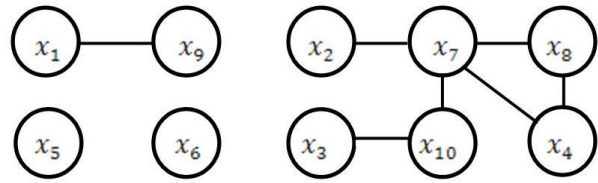


Рис. 3. Граф кореляційної залежності відмов елементів СЗА ($\alpha = 0,1$)

Побудований граф має дві компоненти зв'язності: перша компонента це пара факторів x_1, x_9 (відмови у роботі рейкових кіл, несправність стативів), другу компоненту зв'язності утворюють фактори $x_2, x_3, x_4, x_7, x_8, x_{10}$ (відмови в роботі апаратури; електродвигунах, стрілочних переводах; несправність кабельних ліній; порушення енергоживлення; відмови елементів захисту; несправність релейної шафи).

Для побудови структури математичної моделі процесу відмов елементів СЗА використовуємо апарат запропонований в [8]. Для графа (див. рис. 3), варіантом структури моделі визначено систему

$$\begin{cases} y_9 = x_9 = f_9(x_1), \\ y_3 = x_3 = f_3(x_2, x_4, x_8, x_{10}), \\ y_7 = x_7 = f_7(x_2, x_4, x_8, x_{10}); \end{cases} \quad (1)$$

Функції f_3, f_7, f_9 можуть бути як лінійними, так і нелінійними рівняннями регресії. Система (1) не утворює нестійку форму, яка буде показувати процес відмов СЗА в майбутньому протягом усього часу. Модель можна використовувати тільки для короткочасного прогнозування. Фактичні дані про відмови, в подальшому, необхідно враховувати під час експлуатації СЗА і періодично перевизначати структуру моделі, знаходити її параметри наново.

На підставі поданого графа (див. рис. 3) і побудованої структури моделі можна зробити висновок, що для спрощення керування системою утримання СЗА можна розділити на такі підсистеми:

- утримання стативів;
- утримання сигналів;

- утримання пультів, табло, апаратури керування;
- утримання електродвигунів, стрілок і гарнітури;
- утримання електроживлення.

Підвищити функціональну надійність роботи рейкових кіл можливо за допомогою додаткових ремонтних заходів з технічного обслуговування апаратури стативів. Підвищити функціональну надійність електроприводів і гарнітури стрілочних переводів, а також електроживлення можна за рахунок впровадження додаткових профілактично-ремонтних дій при обслуговуванні апаратури, кабельних ліній, приладів релейних шаф й елементів захисту.

Висновки

Було з'ясовано, що для Одеської залізниці за період спостереження 2011–2015 рр. найбільший відсоток відмов в елементах залізничної автоматики приходить на рейкові кола (40,81 %). Наступними елементами, на утримання яких треба звернути особливу увагу, є пульти, табло, апаратура керування (25,81 %). Данні елементи вимагають виконання регулярних ремонтних робіт та впровадження сучасних додаткових діагностично-профілактичних дій з обслуговування пристроїв залізничної автоматики для створення можливості переходу від планово-попереджувальної технології до обслуговування за їх станом.

Слід відмітити, що в наданій вибірці, спостереження за відмовами колійних коробок відсутні через нерепрезентативність відповідних даних.

Визначення фактичних показників надійності і безпеки можуть бути виконані на основі представлених спостережень про різні відмови СЗА, отримані в процесі експлуатації.

Аналіз фактичних показників надійності СЗА не вичерпується тільки знанням їх кількісного значення. Важливо знати:

- чи є у СЗА запас за надійністю і якщо такий є, то яка його величина;

- чи наявна у СЗА тенденція до зміни необхідного рівня надійності і наскільки вона небезпечна.

Наукова новизна полягає в створенні математичної моделі процесів відмов елементів залізничної автоматики як складної системи, побудованої на основі пасивних спостережень.

Отже, покращення експлуатаційних показників роботи елементів залізничної автоматики може бути досягнуто за допомогою впровадження додаткових ремонтно-профілактичних робіт з обслуговування рейкових кіл, апаратури, кабельних ліній, елементів захисту й апаратури релейних шаф.

Бібліографічний список

1. Большая энциклопедия транспорта: в т. Т. 4. Железнодорожный транспорт / Под ред. Н. С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. — 1039 с.
2. Сапожников В.В., Сапожников Вл. В., Шаманов В. И. Надёжность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. – М.: Наука, 1984.-328 с.
4. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. – М.: Мир, 1984.-318 с.
5. Ивахненко, А. Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей [Текст]/ А. Г. Ивахненко, Й. А. Мюллер – К.: Техніка, 1985. -224 с.
6. Дубровский, С. А. Прикладной многомерный статистический анализ. [Текст]/ С. А. Дубровский -М.: Финансы и статистика, 1982. -216 с.
7. Основные принципы определения необходимой надежности устройств СЦБ / Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 22 октября 2010 г., Комитет ОСЖД, Республика Польша, г. Варшава. Дата вступления в силу: 22 октября 2010 г.
8. Лагута В. В. Алгоритмы структурной идентификации статических процессов с экспертом в регрессионном анализе [Текст] /

- В. В. Лагута // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2016. – Ном. 13. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2012. – С. .
9. Volodarsky V.A. Modelling of failure of power supply system elements // Electrical Technology. – 1993. – No 3. – pp. 33-40.
 10. Хан Г., Шапиро С. Статистические методы в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
 11. Connor Piers. A review of train protection systems [Electronic resources]/ Piers Connor, Felix Schmid, Charles Watson // Railway technical web pages. Railway systems, technologies and operations across the world. – 2016. – URL: <http://www.railway-technical.com/atpsurvey.shtml>
 12. Train Control and Signaling - Transportation Research Board [Electronic resources] / TCRP Report 13: Rail Transit Capacity.– URL:

http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_13-b.pdf

Ключові слова: відмова, система утримання, структурна ідентифікація, кореляційний зв'язок, граф.

Ключевые слова: отказ, система содержания, структурная идентификация, корреляционная связь, граф.

Keywords: failure, system maintenance, structural identification, correlation, graph.

Рецензенти:
проф., д.т.н., А. Б. Бойнік,
проф., д.т.н., А. М. Муха.

Надійшла до редколегії 06.02.2017.
Прийнята до друку 23.02.2017.