

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

**Кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом
поїздів»**

ЗАВДАННЯ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять з дисципліни
«ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
АВТОМАТИКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ»**

Харків – 2013

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку
на засіданні кафедри „Автоматика та комп'ютерне

телекерування рухом поїздів” 9 грудня 2010 р., протокол № 4.

Методичні вказівки можуть бути використані для виконання практичних занять з дисципліни “Технічна діагностика пристроїв залізничної автоматики та зв'язку”, а також для курсового та дипломного проектування студентів усіх форм навчання спеціальності 092507 Автоматика та автоматизація на транспорті.

Укладачі:

професори А.Б. Бойнік, В.Ф. Кустов,
доц. С.В. Кошевий

Рецензент

проф. В.Ш. Хісматулін

Узгоджено:

Голова науково-методичної комісії, проф. О.В. Єлізаренко

ЗАВДАННЯ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

**«ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
АВТОМАТИКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ»**

Відповідальний за випуск Кошевий С.В.

Редактор Буранова Н.В.

Підписано до друку 08.04.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра “Автоматика та комп’ютерне телекерування рухом поїздів”

ЗАВДАННЯ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

“ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ”

для спеціалістів і магістрів

спеціальності 092507

“Автоматика і автоматизація на транспорті”

всіх форм навчання

Харків 2013

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів” 9 грудня 2010 р., протокол № 4.

Методичні вказівки можуть бути використані для виконання практичних занять з дисципліни “Технічна діагностика пристроїв залізничної автоматики та зв'язку”, а також для курсового та дипломного проектування студентів усіх форм навчання спеціальності 092507 Автоматика та автоматизація на транспорті.

Укладачі:

проф. А.Б. Бойнік

проф. В.Ф. Кустов

доц. С.В. Кошевий

Рецензент

проф. В.Ш. Хісматулін

Узгоджено:

Голова науково-методичної комісії, проф. О.В. Єлізаренко

ВСТУП

Методичні вказівки розроблені з метою надання допомоги при проведенні практичних занять з дисципліни «Технічна діагностика пристроїв залізничної автоматики та зв'язку», а також для курсового та дипломного проектування студентів усіх форм навчання спеціальності Автоматика та автоматизація на транспорті.

Описано сутність методу пасивної динамічної ідентифікації для виділення рухомих одиниць у складі поїзда, його застосування в системах інтервального регулювання руху поїздів та діагностичних системах визначення у рухомих одиниць аварійних станів і несправностей агрегатів і вузлів рухомого складу. Наведено методику визначення періодів діагностування каналів резервування у разі використання мажоритарного резервування «2» із «3» та навантажувального резервування «2» із «2».

1 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ПАСИВНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ ПОЇЗДА В СИСТЕМАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

1.1 Мета роботи

Вивчення функціональних можливостей методу пасивної динамічної ідентифікації рухомих одиниць поїзда на базі точкових колійних датчиків (ТКД), його використання у системах залізничної автоматики та пристроях діагностування агрегатів рухомого складу. Розроблення алгоритму виділення у складі поїзда рухомих одиниць із визначенням їхньої осьової формули.

1.2 Теоретичні основи для виконання роботи

Вступ. Джерелами отримання окремих видів сигнальної інформації для розрахунку і прийняття рішення про дозвільні параметри руху поїзда виступають:

– складові системи сигнального авторегулювання (САР) на локомотивах та моторвагонних секціях (категорія поїзда, його вага, довжина, технічні параметри локомотива та вагонів: конструкційна швидкість, гальмівні властивості і т.д.);

– відповідні колійні пристрої (дозвільна швидкість руху відповідно до поїзного стану попереду поїзда, категорія та технічний стан колії, її поздовжній і поперечний профіль, наявність штучних споруд, постійних і тимчасових обмежень швидкості тощо).

Отже, виникає проблема раціонального розподілу технічних засобів на локомотиві та колії для вирішення задач з найбільш ефективного, з точки зору технічної реалізації та розширених функціональних можливостей, визначення параметрів поїзда та параметрів його руху (швидкість, прискорення), які безпосередньо впливають на безпеку руху.

Методи пасивної динамічної ідентифікації широко застосовуються у системах [1]:

– діагностичного контролю стану вузлів ходової частини рухомих одиниць у складі поїзда (повзуни, тріщини, овальності,

ударні навантаження у колесах, вписування візків у криві колії, вимірювання кута набігання осей коліс на рейку, вимірювання геометричних параметрів коліс, ваги вагонів, рівномірності їхнього навантаження тощо);

– детекторах перегріву буксових вузлів рухомих одиниць (ПОНАБ, ДИСК, АСДК-Б, КТСМ та аналогічних пристроїв закордонних залізниць);

– автоматичної ідентифікації рухомого складу – зчитування інформації з кодових бортових датчиків (КБД), якими обладнується рухомий склад (Amtech, Пальма, САІРС-УЗ);

– інтервального регулювання руху поїздів (ІРПП) на перегонах – автоматичне (АБ) та напівавтоматичне (НАБ) блокування, контролю за проходженням поїздів на залізничних переїздах з використанням методу рахунку осей;

– контролю стану приймально-відправних колій та колійних ділянок у станційних системах електричної централізації із заміною рейкових кіл (РК) на ТКД та системах гіркової централізації.

Отримана у таких системах інформація призначена:

– для «прив'язки» визначених аварійних вузлів ходової частини, нагрітих букс або зчитаних з КБД даних до конкретної рухомої одиниці;

– підрахунку загальної кількості колісних пар та рухомих одиниць у поїзді, що пройшли пункт (точку) контролю;

– формування відповідного повідомлення оперативному персоналу.

Сутність використання методу пасивної динамічної ідентифікації у системах ІРПП. У зв'язку із загальними тенденціями оновлення та розвитку систем керування процесом перевезень, спрямованими на використання у них мікропроцесорної техніки та сучасних інформаційних технологій і з метою забезпечення у таких системах заданого рівня функціональної безпеки, на дільницях будь-яких класів (категорій) для визначення параметрів рухомого складу актуальним стає завдання дослідження методів і технічних засобів так званої пасивної динамічної ідентифікації [2]. Вона не передбачає встановлення на рухомому складі будь-яких пристроїв (датчиків) та елементів кон-

струкції і повинна максимально використовувати інфраструктуру і канали зв'язку існуючих систем ІРРП. Це дозволяє:

- за рахунок обчислення довжини кожного поїзда та параметрів його руху у координатних системах ІРРП контролювати поточну фактичну відстань між поїздами від голови поїзда, прямуючого позаду, до хвоста поїзда, що прямує попереду;

- сформувати так званий «фізичний образ» рухомого складу, за яким більш достовірно визначатиметься прибуття поїзда у повному складі на станцію і вільність перегонів, обладнаних як системами НАБ, так і системами АБ на однокільйних ділянках із двостороннім рухом поїздів, при організації тимчасового двостороннього руху поїздів по одній з колій перегону;

- контролювати стан колійних ділянок на штучних спорудах, станціях, де неможливе або ускладнене використання електричних РК.

Взагалі інформацію про рухомий склад умовно можна поділити: на постійну (загальна кількість осей у поїзді, тип рухомих одиниць за осьовою формулою, кількість і взаємне розташування (порядковий номер) вагонів у складі поїзда); змінну (місцезнаходження, напрям та параметри руху, вага рухомих одиниць, загальна вага поїзда, рід вантажу, поточний технічний стан агрегатів і вузлів рухомих одиниць тощо).

Технічно та економічно доцільно, без порушення технологічного процесу руху поїздів засобами пасивної ідентифікації, автоматично визначати постійні параметри рухомого складу як набір якісних та кількісних показників («фізичний образ»), за якими ідентифікується рухомий склад. Адже при визначенні ряду параметрів поїзда методами активної ідентифікації необхідно увесь локомотивний та вагонний парк обладнувати відповідними КБД або іншими технічними засобами. З економічних міркувань це вимагає значних капітальних вкладень на придбання, встановлення засобів ідентифікації на рухомий склад та їхнє подальше поточне обслуговування. З експлуатаційних міркувань такі системи мали б низьку достовірність та ефективність використання, що пов'язано із необхідністю постійного контролю за цілісністю і технічним станом великої кількості КБД, прийнятно-

передавальних пристроїв, колійних та інших пристроїв зчитування інформації з бортових датчиків, що встановлені на рухомому складі [3].

Потрібно враховувати також той факт, що перевізний процес на магістральному залізничному транспорті є відкритою системою, у яку потрапляє рухомий склад інших держав, принаймні ближнього зарубіжжя, а також рухомий склад, що є власністю промислових підприємств. Обладнати цей парк рухомого складу технічними засобами ідентифікації практично не є можливим. Це ускладнює використання таких пристроїв у складі АСУ ТП та комплексних систем ІРРП у випадку орієнтації цих систем на інформацію від засобів активної ідентифікації.

Низка проблем, пов'язаних із забезпеченням заданого рівня безпеки руху на залізничній лінії відповідного класу (категорії), може бути вирішена шляхом пасивної динамічної ідентифікації від комплекту колійних пристроїв (пункту підрахунку осей з ТКД будь-якого фізичного принципу дії, що задовольняє вимоги безпечного функціонування в межах залізничної колії). Це дозволяє отримати математичну модель (ідентифікатор) рухомого складу за результатами розпізнавання локомотивів та вагонів: загальна кількість осей та кількість рухомих одиниць у поїзді, їх осьова формула, порядковий номер розташування у поїзді, довжина поїзда, фактична швидкість у точці контролю. Такий ідентифікатор i -го поїзда має вигляд:

$$P_i = [D, T_i, N_i, K_i, \bar{G}(K_i)], \quad (1.1)$$

де D – район дислокації (місце розташування на ділянці) точки зчитування даних з рухомих одиниць поїздів;

T_i – час проходження i -м поїздом i -ї точки зчитування;

N_i – напрям руху i -го поїзда;

K_i – кількість рухомих одиниць у i -му поїзді;

$\bar{G}(K_i)$ – одновимірна матриця (вектор) параметрів, яка враховує взаємне розміщення і порядковий номер вагонів у поїзді із визначенням їх осьової формули, загальної кількості осей у поїзді, довжини поїзда, параметрів руху (швидкість, прискорення) у точці контролю.

Аналіз рухомого складу, що експлуатується на залізницях України. На мережі залізниць України та інших країн співдружності обертаються вагони пасажирського та вантажного парку.

Пасажирський парк складають вагони, призначені для перевезення пасажирів, а також вагони-ресторани, поштові, багажні та спеціального призначення (службові, колісвимірвальні, вагони-лабораторії та ін.), які відрізняються від пасажирських вагонів лише внутрішнім обладнанням та плануванням.

Вантажний парк складають криті вагони, піввагони, платформи, цистерни, рефрижератори та вагони спеціального призначення (пересувні майстерні, контрольні платформи, для перевезення контрольних важелів, снігоочисники, а також інші вагони, що прилаштовані для технічних та побутових потреб залізниці).

Аналіз рухомого складу свідчить про те, що в експлуатації перебувають рухомі одиниці з обмеженою кількістю варіантів побудови їх ходової частини (таблиці 1.1, 1.2, рисунки 1.1 – 1.7).

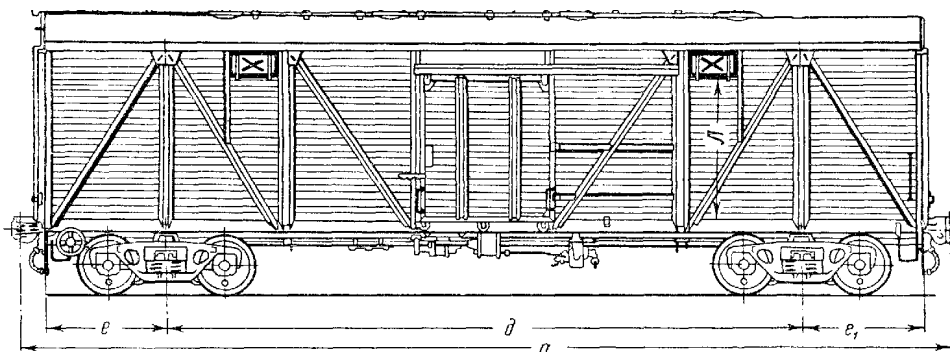


Рисунок 1.1 – Критий чотирьохосьовий вантажний вагон

Таблиця 1.1 – Типи візків

Тип візка	База, мм	Кількість осей	Примітка
Візки пасажирських вагонів			
КВЗ-ЦНИ-ИИ	2400	2	Довжина вагона – 23,6 м
КВЗ-5	2400	2	
ЦМВ	2700	2	

ТСК-1	2500	2	
Візки вантажних вагонів			
ЦНИИ-Х3-О	1850	2	
МТ-50	1800		
М-44	1800		
УВЗ	1800		
КВЗ-1м	3000	3	1500 мм – між осями візка
УВЗ-9м	3500		1750 мм – між осями візка
УВЗ-10м	3030		1515 мм – між осями візка
2 візки КВЗ-ЦНИИ	3200	4	1850 мм – між осями візка, 1350мм – між внутрішніми осями суміжних візків

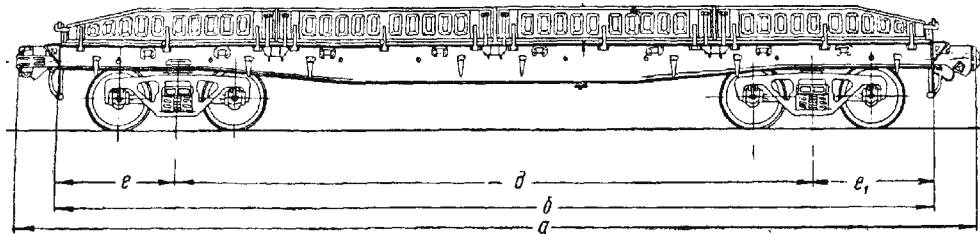


Рисунок 1.2 – Чотирьохосьова платформа

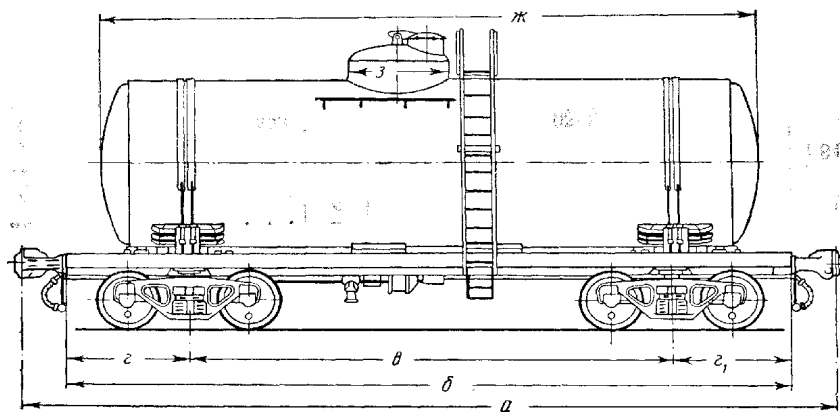


Рисунок 1.3 – Чотирьохосьова цистерна

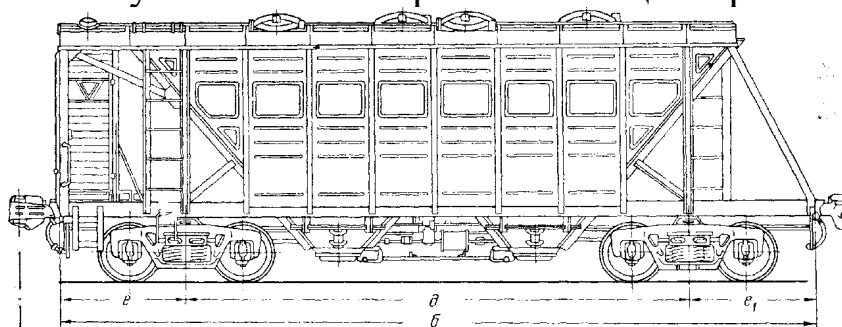


Рисунок 1.4 – Чотирьохосьовий вагон-хопер

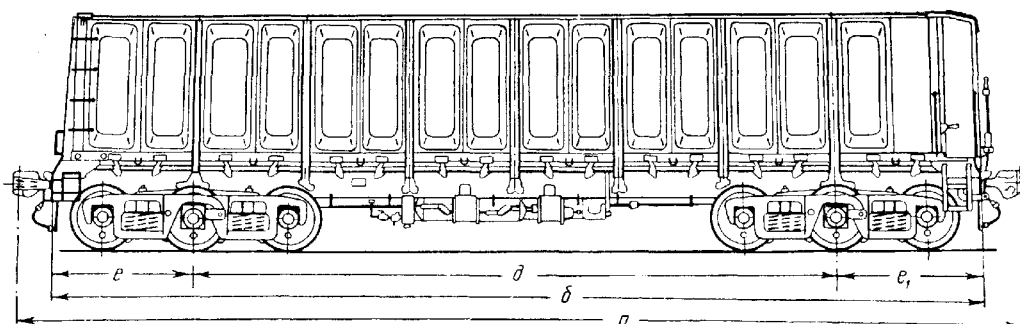


Рисунок 1.5 – Шестиосьовий піввагон

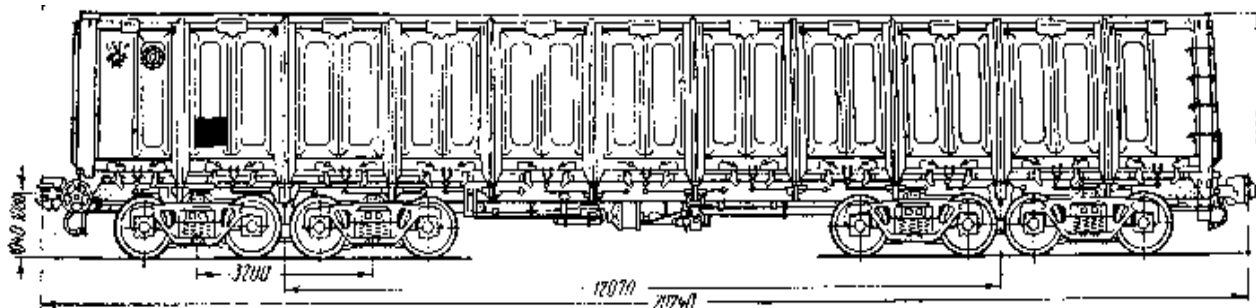


Рисунок 1.6 – Восьмиосьовий піввагон

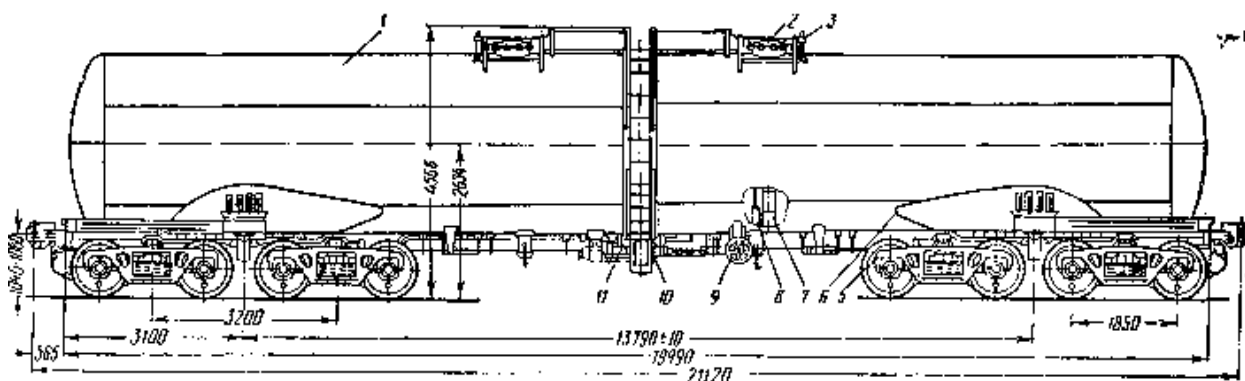


Рисунок 1.7 – Восьмиосьова цистерна

Таблиця 1.2 – Основні розміри деяких типів вагонів

Тип вагону	Позначення розмірів (рисунки 1.1 – 1.7)	Розмір, мм	Примітка

Критий 4-осьовий вагон	a	14730 – 18080	Діапазон розмірів залежно від призначення вагона, конструкції, ємності, вантажопідйомності, наявності ручного, зупинного гальма, заводу-виробника, кількості вагонів-рефрижераторів у секції тощо
	∂	9272 – 11600	
	e	1840 – 2940	
4-осьовий пів-вагон	a	13920 – 16400	
	∂	8650 – 10440	
	e	1840 – 2515	
6-осьовий пів-вагон	a	16400	
	∂	10440	
	e	2370	
4-осьовий для перевезення цементу, хопер-дозатор	a	12220	
	∂	7320	
	e	1840	
4-осьова плат-форма	a	14194 – 14620	
	∂	9294 – 9720	
	e	1840 – 1852	
4-осьова ци-стерна	a	12020 – 12420	
	b	7000 – 7120	
	c	1840 – 2240	
Рефрижератор-ний вагон 4-осьовий	a	18220 – 20220	
	b	12000 – 16000	
	c	2500	

Розпізнавання типів рухомих одиниць поїзда. Аналіз технічних характеристик локомотивного та вагонного парку, наведених у [4] – [7], дозволяє зробити такі висновки:

1 Визначаючими ознаками, що дозволяють виділяти у поїзді та ідентифікувати кожну рухому одиницю за осьовою формулою, є:

- відстань між осями у візку (S_a);
- відстань між внутрішніми колісними парами бази рухомої одиниці (S_b);
- відстань між зовнішніми колісними парами суміжних рухомих одиниць у місцях їх зчеплення (S_c).

2 Стандартні рухомі одиниці мають симетрію відносно поперечної осі у їх центрі.

3 Рухомі одиниці у поїзді можна класифікувати з точністю до таких груп: локомотиви, пасажирські вагони, електрорухомий

склад та моторвагонні секції, вантажні вагони 4-осьові, 6-осьові, 8-осьові, транспортери, спеціальний рейковий транспорт (машини колійні та різного призначення, які можуть не відповідати властивостям, наведеним вище у пунктах 1, 2).

У рамках кожної групи є рухомі одиниці із практично однаковими ознаками S_a , S_b , S_c , (наприклад, 4-осьові піввагони, криті вагони, платформи, цистерни). Точна класифікація рухомих одиниць за їх типом методами пасивної ідентифікації ускладнена, однак даних про загальну кількість осей у поїзді, кількість рухомих одиниць, їх осьової формули і місцезнаходження у поїзді за порядковим номером, загальну довжину поїзда достатньо, щоб сформувавши індивідуальний «фізичний образ» рухомого складу у цілому, який суттєво відрізнятиметься від аналогічного ідентифікатора із виразу (1.1) будь-якого іншого рухомого складу.

Достовірне виділення рухомих одиниць у поїзді може бути досягнуто при визначенні міжосьових відстаней S_a , S_b , S_c кожної рухомої одиниці. Наведені параметри рухомого складу технічно найбільш раціонально отримати, використовуючи як первинні джерела інформацію про параметри рухомого складу ТКД із відповідною апріорі відомою відстанню між ними (за вибором розробника). При проходженні колеса рухомої одиниці над ТКД він відпрацьовує сигнал, що позиціонує колесо відносно датчика. Фіксуючи моменти появи кожного колеса над ТКД у реальному часі, можна виділити у поїзді фізичні рухомі одиниці та їхній тип відповідно до осьової формули (рисунок 1.8).

Так, для вантажних вагонів, відповідно до рисунка 1.8 (як варіанта побудови пункту рахунку осей), прохід колісних пар візка 4-осьового вагона визначається інтервалами часу $t_{a12} = t_2 - t_1$, $t_{a34} = t_4 - t_3$, а бази вагона (точніше, не бази, а відстані між внутрішніми колісними парами візків) - $t_{базу} = t_5 - t_2 = t_7 - t_4$. У результаті, із урахуванням динамічних властивостей рухомого складу, для будь-якої рухомої одиниці мають виконуватися умови: $t_{a12} \approx t_{a34}$ (різниця має становити не більше 15 %); $t_{базу} \approx (4...9) t_{a12}$ залежно від типу рухомої одиниці (відповідно хопер-дозатор або довгобазовий вагон).

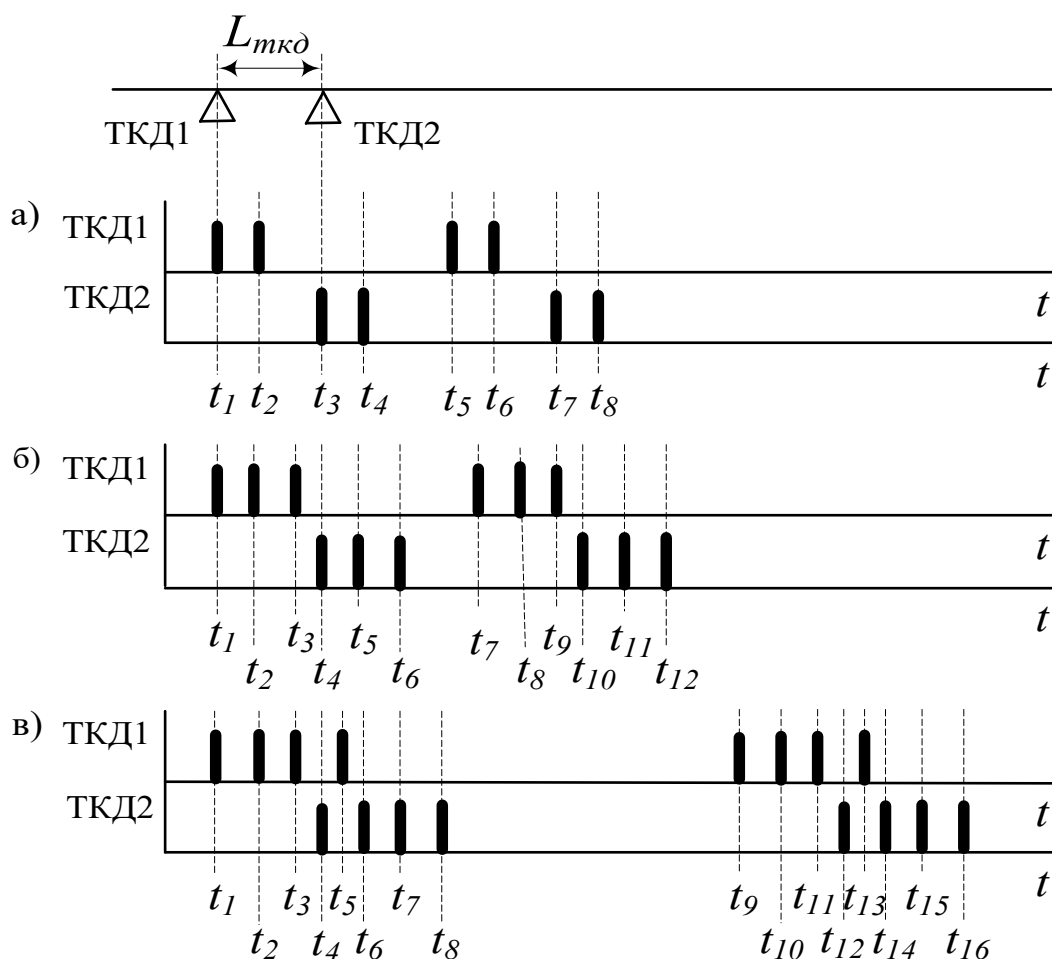


Рисунок 1.8 – Імпульсна послідовність з виходів ТКД1, ТКД2 при проходженні повз них вантажних вагонів:
а) 4-осьовий, б) 6-осьовий, в) 8-осьовий

Послідовність активних сигналів із виходу ТКД1 і ТКД2 при визначеній відстані між ТКД дозволяє виділити фізичну рухомию одиницю не тільки за методом підрахунку часових відрізків від ТКД, але й розробити алгоритм виділення рухомих одиниць при проходженні ними пункту підрахунку осей шляхом фіксації послідовних значень сигналів від ТКД1 і ТКД2.

1.3 Програма та методика виконання роботи

1 Ознайомитися з існуючими методами і технічними засобами визначення параметрів рухомого складу та параметрів його руху.

2 Провести аналіз експлуатованого на залізницях України

рухомого складу за особливостями побудови його ходової частини, її лінійних розмірів та осьової формули.

3 Побудувати двонитковий план ділянки колії з пунктом підрахунку осей рухомого складу та розробити функціональну схему пристрою підрахунку осей для виділення фізичних рухомих одиниць у складі поїзда (за індивідуальним завданням керівника занять).

4 З урахуванням особливостей побудови ходової частини рухомого складу (вагонного парку) розробити алгоритм функціонування пристрою підрахунку осей для виділення окремих фізичних рухомих одиниць у складі поїзда.

1.4 Зміст звіту про роботу

1 Назва і мета роботи.

2 Короткі відомості про призначення пристроїв ідентифікації параметрів рухомого складу та їхнє місце в системах залізничної автоматики та системах діагностування агрегатів рухомого складу.

3 Двонитковий план ділянки колії та функціональна схема пристрою рахунку осей для визначення параметрів рухомого складу та параметрів його руху.

4 Часові діаграми проходження рухомого складу повз ТКД пункту зчитування, алгоритм функціонування пристрою рахунку осей для виділення окремих фізичних рухомих одиниць у складі поїзда (формальний опис функціонування у будь-якому вигляді – блок-схема, направлений граф станів тощо).

1.5 Контрольні питання

1 Призначення пристроїв ідентифікації параметрів рухомого складу.

2 Системи, у яких широко застосовуються методи пасивної динамічної ідентифікації рухомого складу.

3 Переваги пасивної ідентифікації рухомого складу в системах залізничної автоматики.

4 Складові математичної моделі (ідентифікатори) рухомого складу за результатами розпізнавання локомотивів та вагонів.

5 Ознаки, що дозволяють виділяти у поїзді та ідентифікувати рухомі одиниці за їхньою осьовою формулою.

6 Особливості функціональної схеми пристрою рахунку осей для виділення фізичних рухомих одиниць у складі поїзда.

Список літератури

1 Бойник А.Б., Загарий Г.И., Кошевой С.В., Луханин Н.И., Поэта Н.В. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц: Учебник. – Харьков: ЧП Изд-во «Новое слово», 2008. – 304 с.

2 Кошевий С.В. Використання пасивної динамічної ідентифікації для визначення параметрів рухомого складу // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 13. – С. 62 – 74.

3 Кошевий С.В., Фетіщев О.В. Технології і засоби підвищення безпеки руху поїздів на дільницях залізниць // Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальної залізничної техніки: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 69. – С. 67 – 80.

4 Раков В.А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1966 – 1975 гг.). – М.: Транспорт, 1979. – 213 с.

5 Раков В.А. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976 – 1985 гг.). – М.: Транспорт, 1990. – 238 с.

6 Вагоны СССР. Отраслевой каталог. – М.: Транспорт, 1984. – 208 с.

7 Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР. Альбом. – М.: Транспорт, 1982.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ КАНАЛІВ РЕЗЕРВУВАННЯ У РАЗІ ВИКОРИСТАННЯ МАЖОРИТАРНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ «2» ІЗ «3» ТА НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ «2» ІЗ «2»

2.1 Мета роботи

Дослідження впливу різних чинників на максимально допустимі значення періоду діагностування каналів резервування мажоритарного резервування «2» із «3» та навантажувального резервування «2» із «2».

2.2 Теоретичні основи для виконання роботи

У системах керування на залізничному транспорті у більшості випадків використовують мажоритарне резервування «2» із «3» та навантажувальне резервування «2» із «2».

Для визначення періодів діагностування каналів резервування у разі використання мажоритарного резервування «2» із «3» необхідно розробити математичні моделі для показників функційної безпечності цієї структури.

Для цього необхідно скласти розрахунково-логічну схему і граф безпечності (рисунок 2.1, а, б) з урахуванням прийняття гіпотези щодо експоненціального закону розподілу небезпечних відмов у кожному каналі резервування ($\lambda_n = \text{const}$) та співвідношення $N_{об} = \mu / \lambda_n$.

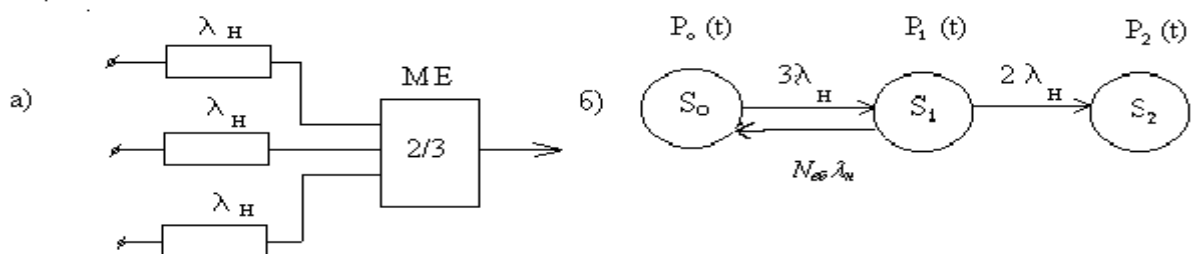


Рисунок 2.1 – Розрахунково-логічна схема і граф безпечності відмовної системи у разі використання мажоритарного резервування «2» із «3»

Небезпечна відмова системи настає тоді, коли відбудеться небезпечна відмова будь-яких двох каналів резервування і мажоритарний елемент МЕ сформує небезпечний сигнал.

Імовірність небезпечної відмови дорівнює ймовірності перебування МС у стані S_2 :

$$Q_n(t) = P_2(t).$$

Імовірність безпечної роботи дорівнює сумі ймовірностей перебування МС у станах S_0 і S_1 ,

$$P_{\bar{0}}(t) = P_0(t) + P_1(t).$$

Для визначення ймовірностей $P_0(t)$, $P_1(t)$ і $P_2(t)$ складають систему диференціальних рівнянь Колмогорова, яка з урахуванням індексу відновлення $N_{\bar{0}} = \mu/\lambda_n$ має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -3\lambda_n P_0(t) + N_{\bar{0}} \lambda_n P_1(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = 3\lambda_n P_0(t) - 2\lambda_n P_1(t) - N_{\bar{0}} \lambda_n P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = 2\lambda_n P_1(t). \end{cases}$$

(2.1)

Після розв'язування цієї системи диференціальних рівнянь одержують формулу для визначення ймовірності небезпечної відмови МС, а також інтенсивність небезпечних відмов усієї структури МС.

Для великих, реальних на практиці значень індексів відновлення ($N_{\bar{0}} > 100$), а також з урахуванням того, що тривалість відновлення складається з тривалості діагностування та усунення небезпечних відмов у кожному каналі резервування, інтенсивність небезпечних відмов усієї структури МС дорівнює:

$$\lambda_n = 6\lambda_{n.1}^2(T_0 + T_y). \quad (2.2)$$

З цієї формули знайдемо максимально допустиме значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування МС для досягнення допустимих (нормованих) значень інтенсивності небезпечних відмов усього МС:

$$T_{\text{д.мах}} = \frac{\lambda_{\text{н.доп}} - 6\lambda_{\text{н.1}}^2 T_y}{6\lambda_{\text{н.1}}^2}. \quad (2.3)$$

З урахуванням графа станів системи з навантажувальним резервуванням «2» із «2» та розв'язання відповідних систем диференціальних рівнянь також можна розрахувати максимально допустиме значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування дубльованої системи для досягнення допустимих (нормованих) значень інтенсивності її небезпечних відмов:

$$T_{\text{д.мах}} = \frac{\lambda_{\text{н.доп}} - 2\lambda_{\text{н.1}}^2 T_y}{2\lambda_{\text{н.1}}^2}. \quad (2.4)$$

Аналіз виразів (2.3, 2.4) показує, що період діагностування небезпечних відмов у каналах резервування систем має зменшуватися, а відповідно частота перевірки в них безпечної роботи елементів збільшуватися у таких випадках:

- при використанні менш безпечних каналів резервування або можливості виникнення при експлуатації чинників, що можуть зменшити розрахункову безпечність елементів;
- при підвищенні тривалості усунення небезпечних відмов, що виникли у каналі резервування;
- при підвищенні вимог з функційної безпечності.

До першого випадку також необхідно додати використання технічних засобів, у яких не реальна, а розрахункова безпечність каналів резервування є меншою за рахунок того, що при розрахунках, з позиції безпеки, враховують найгірші ситуації за дефектами елементів технічних засобів. Так, наприклад, приймають гіпотезу, що усі дефекти електронних елементів призводять до їх небезпечних відмов, а реально значно більша їх частина призводить

до захисних відмов; у разі відсутності даних з інтенсивності відмов елементів використовують вихідні дані з надійності не конкретних елементів, а груп елементів, що призводить, як правило, до занижених оцінок функційної безпечності МС.

До чинників, що можуть зменшити розрахункову безпечність елементів під час експлуатації, можуть бути віднесені ударні впливи, які виникають, наприклад, внаслідок порушення електромагнітних та кліматичних умов за рахунок відмов елементів вантажозахисту або пристроїв вентиляції та кондиціонування у шафах керування.

Розрахунковий період діагностування небезпечних відмов у каналах резервування також має передбачати можливість при експлуатації підвищення розрахункової тривалості усунення небезпечних відмов, що виникли у каналі резервування. Таке підвищення може бути, наприклад, за рахунок збільшення часу:

- сповіщення про небезпечну відмову експлуатаційному персоналу (несвоєчасне передавання інформації оперативним працівникам, відсутність зв'язку та ін.);

- прибуття на місце небезпечної відмови (транспортні проблеми, віддаленість системи);

- пошуку причин небезпечної відмови у каналах резервування МС (рівень фахової підготовки експлуатаційного штату, якість розроблення підсистеми діагностування, забезпечення необхідними вимірювальними приладами);

- тривалості усунення небезпечних відмов (матеріальне забезпечення запасними частинами, рівень фахової підготовки експлуатаційного штату, якість розроблення системи з позиції ремонтпридатності).

У разі неможливості усунення небезпечних відмов, що виникли у каналі резервування, за максимально допустимі значення тривалості мають бути розроблені і узгоджені організаційні заходи з вимкнення системи з експлуатації та організації руху поїздів за допомогою інших засобів. При цьому необхідно забезпечити умови, при яких система з небезпечною відмовою каналу резервування гарантовано не зможе виконувати відповідальні функції (керувати об'єктами, передавати інформацію про стан пристроїв залізничної автоматики і руху поїздів та ін.).

2.3 Індивідуальне завдання

За формулою (2.3) розрахувати максимально допустимі значення періоду діагностування систем з мажоритарним резервуванням «2» із «3» та навантаженим дублюванням «2» із «2» для заданого варіанта (таблиця 2.1) та відповідні графіки залежності цих значень від чинників, наведених у ній.

З формули (2.3) також можна знайти максимально допустиму інтенсивність небезпечних відмов одного каналу резервування МС для досягнення допустимої (нормованої) інтенсивності небезпечних відмов:

$$\lambda_{н.1max} = \sqrt{\frac{\lambda_{н.доп}}{6(T_o + T_y)}} \cdot \quad (2.5)$$

Таблиця 2. 1

Варіант	Мінімально допустима інтенсивність небезпечної відмови всієї системи $\lambda_{н.доп}$, 1/год	Інтенсивність небезпечних відмов кожного каналу резервування $\lambda_{н.1}$, 1/год	Тривалість усунення небезпечної відмови у кожному каналі резервування, T_y , год
1	2	3	4
1	10^{-11}	10^{-9}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-8}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
2	10^{-11}	10^{-8}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-8}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
3	10^{-11}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-8}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
4	10^{-11}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-8}	10^{-8}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
5	10^{-10}	10^{-8}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-4}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000

6	10^{-10}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
7	10^{-10}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
8	10^{-10}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
9	10^{-9}	10^{-8}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-4}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
10	10^{-9}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
11	10^{-9}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
12	10^{-9}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
13	10^{-8}	10^{-8}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-4}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
14	10^{-8}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
15	10^{-8}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
16	10^{-8}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-7}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
17	10^{-9}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
18	10^{-9}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-4}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
19	10^{-9}	10^{-5}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
20	10^{-9}	10^{-4}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
21	10^{-11}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-10}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4
22	10^{-9}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-8}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000

23	10^{-11}	10^{-6}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-10}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
24	10^{-9}	10^{-8}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-8}	10^{-9}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
25	10^{-7}	10^{-8}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000
	10^{-6}	10^{-7}	0,1; 1,0; 10,0; 100,0, 1000

Мінімально допустиме значення напрацювання до небезпечної відмови одного з каналів резервування МС при $\lambda_{н.1.max} = const$ та фіксованих максимально допустимих значеннях $T_{д.max}$ і $T_{у.max}$ визначається з виразу (2.4) таким чином:

$$T_{н.1.min} = \sqrt{\frac{6(T_{д} + T_{у})}{\lambda_{н.дон}}}. \quad (2.6)$$

У разі використання мажоритарного резервування «2» із «3» граф безвідмовності по відношенню до захисних відмов має вигляд, подібний до рисунка 2.1. Але в ньому замість інтенсивності небезпечних відмов необхідно використати інтенсивність захисних відмов. Тому формули для розрахунку усіх показників безвідмовності є подібними до показників функційної безпечності, тільки в них замість інтенсивності небезпечних відмов необхідно використати інтенсивність захисних відмов.

За вищенаведеними математичними моделями визначаються показники функційної безпечності, які порівнюються з показниками, що є нормативними або задаються Замовником. Також на їх базі можуть бути обґрунтовані основні вимоги до МС з функційної безпечності:

– максимально допустиме значення періоду діагностування небезпечних відмов елементів МС, який має виконуватися гарантовано автоматично або експлуатаційним персоналом;

– максимально допустиме значення інтенсивності небезпечних відмов одного з каналів резервування;

– мінімально допустиме значення напрацювання до небезпечної відмови одного з каналів резервування.

У разі використання мажоритарного резервування «2» із «3» прискорення відновлення (зменшення періоду діагностування та

тривалості усунення відмов):

– суттєво (на кілька порядків) може змінювати як показники функційної безпечності, так і безвідмовності таких об'єктів;

– призводить до суттєвого збільшення готовності об'єктів.

У порівнянні з варіантом «2» із «2» функційна безпечність мажоритарного резервування «2» із «3» у 3 рази зменшується, безвідмовність та готовність значно підвищується. Для досягнення безпечності при мажоритарному резервуванні «2» із «3», що дорівнює безпечності при навантажувальному резервуванні «2» із «2», необхідно у 3 рази зменшити тривалість відновлення небезпечних відмов у кожному каналі мажоритарного резервування.

2.4 Контрольні питання

1 Вплив періодичного діагностування на показники надійності та безпечності одноканальних систем.

2 Вплив періодичного діагностування на показники надійності та безпечності систем із мажоритарним резервуванням «2» із «3».

3 Вплив періодичного діагностування на показники надійності та безпечності двоканальних систем із загальним навантаженим резервуванням «2» із «2».

4 Вплив своєчасного відновлення та усунення відмов на показники надійності та безпечності одноканальних систем.

5 Вплив своєчасного відновлення та усунення відмов на показники надійності та безпечності систем із мажоритарним резервуванням «2» із «3».

6 Вплив своєчасного відновлення та усунення відмов на показники надійності та безпечності двоканальних систем із загальним навантаженим резервуванням «2» із «2».

Список літератури

1 Кустов В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики: Навч. посібник для вузів. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.

2 Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 272 с.

3 Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 288 с.

