

УДК 656.25

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПЕРІОДУ  
ДІАГНОСТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

Канд. техн. наук В.Ф. Кустов, магістр О.В. Москаленко

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЕРИОДА  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Канд. техн. наук В.Ф. Кустов, магистр А.В. Москаленко

**RESEARCH METHODS DEFINITIONS PERMISSIBLE VALUES PERIOD MICROPROCESSOR  
SYSTEMS DIAGNOSTIC AUTOMATION RAILWAY**

Cand. of techn. sciences V.F. Kustov, master student O.V. Moskalenko

*Враховуючи максимально допустимі значення періоду діагностування систем залізничної автоматики з загальним навантажувальним резервуванням «2» з «2» і мажоритарним резервуванням «2» із «3», можна забезпечити необхідний рівень функціональної безпеки мікропроцесорних систем автоматики.*

**Ключові слова:** *період діагностування, частота перевірки, загальне навантажувальне резервування, тривалість усунення відмови, мажоритарне резервування, рівень функціональної безпечності, функційна безпечність.*

*Учитывая максимально допустимые значения периода диагностирования систем железнодорожной автоматики с общим нагруженным резервированием «2» из «2» и мажоритарным резервированием «2» из «3», можно обеспечить необходимый уровень функциональной безопасности микропроцессорных систем автоматики.*

**Ключевые слова:** *период диагностирования, частота проверки, общее нагруженное резервирование, продолжительность устранения отказа, мажоритарное резервирование, уровень функциональной безопасности, функциональная безопасность.*

*Whereas the maximum permissible period mentioned diagnostics automation systems with common rail loading for redundancy "2" to "2" and the majority redundancy "2" to "3" can provide the necessary level of functional safety microprocessor systems automation.*

**Keywords:** *period of diagnosis, frequency of inspections, general handling redundancy elimination duration refusal Majority redundancy level of functional safety, functional safety.*

**Вступ.** Останнім часом в Україні впроваджуються в експлуатацію все більше систем керування рухом поїздів на новій елементній базі, яка відкриває нові можливості розвитку інформаційного забезпечення і логіки роботи системи. Відсутність обґрунтованих норм з обслуговування мікропроцесорних систем призводить до затримок поїздів, збільшення експлуатаційних витрат, зниження ефективності процесу автоматичного регулювання руху і безпеки руху поїздів у цілому.

**Постановка проблеми.** Безпека руху поїздів забезпечується лише шляхом дотримання необхідного рівня функціональної безпечності резервованої мікропроцесорної системи керування, що неможливо без відповідних норм з періодичності технічного обслуговування.

Загальноприйняті етапи доведення функціональної безпечності [1, 2] у багатьох випадках не можуть дати високу достовірність безпеки руху поїздів на етапах постійної експлуатації, тому дуже важливим є введення показників обґрунтованого своєчасного періодичного контролю та діагностування каналів резервування з метою виявлення небезпечних відмов під час експлуатації. Тому повинні бути визначені максимально допустимі значення періодів діагностування небезпечних відмов у каналах резервування систем залізничної автоматики, які впливають на періодичність обслуговування пристроїв СЦБ та чисельність штату для їх обслуговування, випробовування та ремонту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зазначеній проблемі присвячено публікації [3, 4], у яких виконано аналіз найбільш важливих проблем і особливостей забезпечення та доведення ФБ систем залізничної автоматики на сучасному етапі. У них наведено математичні моделі функціональної безпечності мікропроцесорних систем, які дозволяють виконати дослідження максимально допустимих значень періодів діагностування каналів резервування різних способів резервування. Але в публікаціях немає результатів визначення цих значень для базових структур мікропроцесорних систем залізничної автоматики.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою роботи є розрахунок та обґрунтування допустимих значень періодів діагностування каналів резервування найбільш

поширених способів: двоканальних структур з загальним навантажувальним резервуванням «2» з «2» із розв'язувальним елементом «І» та мажоритарним резервуванням «2» із «3».

**Основний матеріал.** Для досліджень оберемо станцію, яка обладнана системою МПЦ. У середньому при перерахунку на одну стрілку припадає до десяти відповідальних функцій. Відомо, що у країнах співдружності знаходиться десять тисяч станцій. Середня кількість стрілок на станції становить двадцять дві стрілки. Знайдено кількість відповідальних функцій, що виконуються системами СЦБ на середньостатистичній станції, за формулою

$$N_{сф} = N \cdot n, \quad (1)$$

де  $N$  – середня кількість стрілок на станції;

$n$  – кількість відповідальних функцій на одну стрілку.

$$N_{сф} = 22 \cdot 10 = 220.$$

Тоді кількість відповідальних функцій для всієї системи МПЦ складає орієнтовно 220 шт. Для 4-го рівня жорсткості, за ДСТУ 4178 [1], допустима імовірність небезпечної відмови за кожну годину функціонування на одну відповідальну функцію дорівнює  $0,14 \times 10^{-10}$  1/год (це практично дорівнює інтенсивності небезпечних відмов при малих їхніх значеннях). Тоді допустиме максимальне значення інтенсивності небезпечних відмов для всієї системи МПЦ буде складати  $220 \times 0,14 \times 10^{-10} = 3,1 \times 10^{-9}$  1/год. Інтенсивність небезпечних відмов у кожному каналі резервування МПЦ на практиці може складати  $10^{-5}$ ;  $10^{-6}$ ;  $10^{-7}$ ;  $10^{-8}$ ;  $10^{-9}$  1/год [5-10]. Тому ці значення обираємо для дослідження найбільш широко розповсюджених способів резервування систем МПЦ – двоканальних структур з загальним навантажувальним резервуванням «2» з «2» із розв'язувальним елементом «І» та мажоритарним резервуванням «2» із «3». Розрахунки будемо виконувати для ядра системи МПЦ – ЕОМ залежностей або центрального програмованого контролера (ПЛК).

Максимально допустиме значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування для цих структур визначається відповідно за такими формулами [2, 3]:

$$T_{\partial.2v2} = \frac{\lambda_{on.\partial on} - 2\lambda_{on.1}^2 T_y}{2\lambda_{on.1}^2}; \quad (2)$$

$$T_{\partial.2v3} = \frac{\lambda_{on.\partial on} - 6\lambda_{on.1}^2 T_y}{6\lambda_{on.1}^2}, \quad (3)$$

де  $\lambda_{on.\partial on}$  – допустима інтенсивність небезпечних відмов системи МПЦ;

$\lambda_{on.1}$  – інтенсивність небезпечних відмов одного каналу резервування;

$T_y$  – максимально допустимий гарантований час усунення небезпечних відмов елементів у каналах резервування системи МПЦ.

Результати розрахунків максимально допустимих значень періодів діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування для структур «2» з «2» та «2» з «3» з інтенсивністю небезпечних відмов у кожному каналі резервування  $\lambda_{n.1} = 10^{-5}$  у разі тривалості усунення небезпечної відмови від 1 до 10 год наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Максимально допустимі періоди діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування залежно від тривалості їх усунення

	$T_y$ , год			
	1	3	5	10
$T_{\partial.2v2}$ , год	14,4	12,5	10,5	5,5
$T_{\partial.2v3}$ , год	4,1	2,1	0,1	Функціональна безпечність не забезпечується

За даними розрахунками робимо висновок, що при інтенсивності небезпечних відмов  $\lambda_{on.1} = 10^{-5}$  і тривалості усунення небезпечних відмов каналів резервування більш ніж 5,1 год для мажоритарного резервування «2» з «3» та більш ніж 15,4 год для загального навантажувального дублювання «2» з «2» функціональна безпечність систем не забезпечується. Тому необхідно або перейти на інші методи регулювання рухом поїздів, або забезпечити в період експлуатації інтенсивність небезпечних відмов у кожному каналі резервування не більш ніж  $10^{-5}$  1/год. У разі експоненційного закону розподілу небезпечних відмов у каналах резервування середній наробіток до небезпечної відмови відповідно повинен бути під час експлуатації не менше  $10^5$  год або 11,4 років.

Виконання вимог з ремонтпридатності системи МПЦ при ще більшій інтенсивності небезпечних відмов каналів резервування не завжди можливо, тому для її обслуговування потрібно забезпечити добове чергування електромеханіка СЦБ на станції та відповідні організаційні заходи для забезпечення швидкого усунення небезпечних відмов. Але ці заходи не є економічно доцільними. Тому при проектуванні потрібно використовувати

елементну базу з меншою інтенсивністю небезпечних відмов.

Для менш жорстких рівнів функціональної безпечності МПЦ дослідження можуть бути проведені аналогічно. При цьому вимоги до періодичності діагностування і тривалості усунення небезпечних відмов будуть відповідно зменшені. Але при зменшенні кількості відповідальних функцій у системах вони будуть більш жорсткими: періоди діагностування та тривалості усунення небезпечних відмов повинні зменшуватися.

У табл. 2 наведено результати розрахунків для структур «2» з «2» та «2» з «3»: максимально допустимі значення періодів діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування в разі використання каналів резервування з інтенсивністю небезпечних відмов  $10^{-5}$ ;  $10^{-6}$ ;  $10^{-7}$ ;  $10^{-8}$ ;  $10^{-9}$  1/год у разі дуже швидкого усунення небезпечної відмови або автоматичного гарантованого вимкнення небезпечного каналу резервування чи усієї системи (тривалість усунення небезпечної відмови 1 год).

Для вищевказаних параметрів тривалість усунення небезпечних відмов практично не впливає на допустимі значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування (рис. 1).

Таблиця 2

Максимально припустимі періоди діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування в залежності від інтенсивності небезпечних відмов

	$\lambda_{on.1}, 1/\text{Год}$				
	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
$T_{\partial.2v2}, \text{ год}$	14,5 (не більше 0,64 доби)	$15,4 \times 10^3$ (не більше 2,1 місяця)	$15,4 \times 10^5$ (не більше 17,6 років)	$15,4 \times 10^7$ (діагностика не потрібна)	$15,4 \times 10^9$ (діагностика не потрібна)
$T_{\partial.2v3}, \text{ год}$	5,1	5113 (не більше 0,7 місяця)	$5,1 \times 10^5$ (не більше 5,5 років)	$5,1 \times 10^7$ (діагностика не потрібна)	$5,1 \times 10^9$ (діагностика не потрібна)

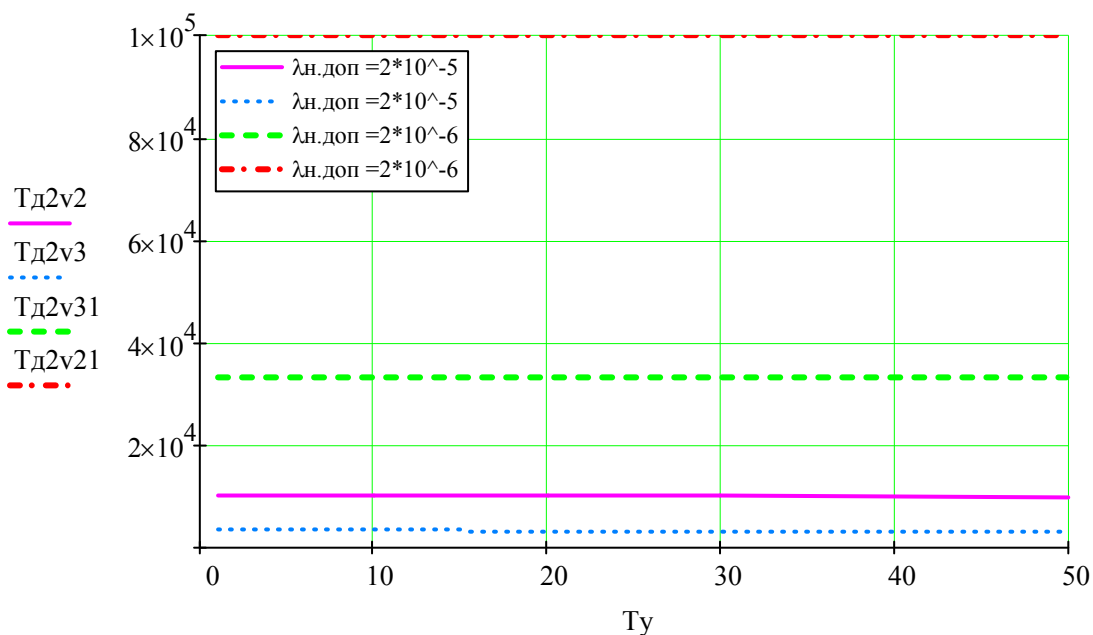


Рис. 1. Залежність допустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування від максимально допустимого гарантованого часу усунення небезпечних відмов у каналах резервування систем МПЦ

На рис. 2 наведено залежності максимально допустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування систем МПЦ (для структур «2» з «2» та «2» з «3») від заданих вимог безпечності  $\lambda_{on.дон1} = (2 \times 10^{-5}) - (2 \times 10^{-6})$  1/год для тривалості усунення небезпечних відмов  $T_y = 1$  год та інтенсивності небезпечних відмов у кожному каналі резервування  $\lambda_{on.1} = 10^{-5}$  1/год.

Результати розрахунків вказують, що для забезпечення функціональної безпечності систем МПЦ потрібно для вказаних значень

виконувати достатньо часто контроль безпечності каналів резервування, особливо для більш жорстких вимог з безпечності. Як видно з графіка (рис. 1) мажоритарне резервування потребує значно меншого допустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов, ніж у двоканальній 2 з 2, і потребує у 3 рази частіше виконувати періодичний контроль справності та діагностування небезпечних відмов каналів резервування.

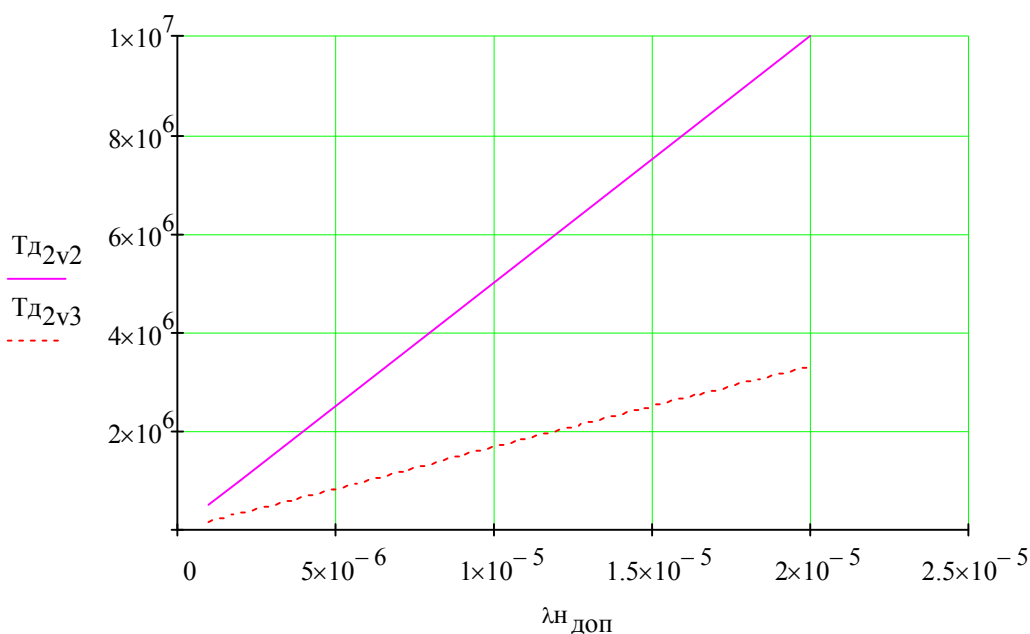


Рис. 2. Залежність допустимого значення періоду діагностування небезпечних відмов у кожному каналі резервування від допустимої інтенсивності небезпечних відмов пристроїв або системи в цілому

Мінімально допустимий наробіток до небезпечної відмови одного каналу резервування мажоритарної структури «2» з «3» і двоканальної дубльованої структури «2» з «2» з безпечним розв'язувальним елементом «І» визначаються за формулами [3, 4]

$$T_{on.1.2v3} = \sqrt{\frac{6(T_d + T_y)}{\lambda_{on.dop}}}; \quad (4)$$

$$T_{on.1.2v2} = \sqrt{\frac{2(T_d + T_y)}{\lambda_{on.dop}}}. \quad (5)$$

Результати дослідження мінімально допустимих наробітків до небезпечної відмови одного каналу резервування для вищевказаних структур МПЦ і вихідних параметрів наведено на рис. 3.

За результатами досліджень, збільшення допустимої інтенсивності небезпечних відмов пристроїв або системи в цілому призводить до зменшення мінімально допустимого наробітку до небезпечної відмови одного каналу резервування як у структурі з мажоритарним резервуванням «2» з «3», так і у двоканальній

дубльованій структурі «2» з «2». При цьому структура з мажоритарним резервуванням «2» з «3» має більше значення мінімально допустимого наробітку до небезпечної відмови одного каналу резервування, ніж у двоканальній дубльованій структурі «2» з «2», який при постійній експлуатації не повинен його перевищувати для забезпечення необхідної функційної безпечності.

**Висновки:** 1. Забезпечити необхідний рівень функціональної безпечності резервованої мікропроцесорної системи керування, а отже, і безпеку руху залізничного транспорту можливо лише шляхом встановлення обґрунтованого періоду діагностування системи з урахуванням рівня вимог функціональної безпечності при реальній інтенсивності небезпечних відмов кожного каналу резервування. Це дозволить розробити графік технічного обслуговування каналів резервування при різних рівнях вимог функційної безпечності, визначити виконавців робіт і їх кваліфікацію, а також засоби технічного обслуговування та ремонту мікропроцесорних систем електричної централізації.

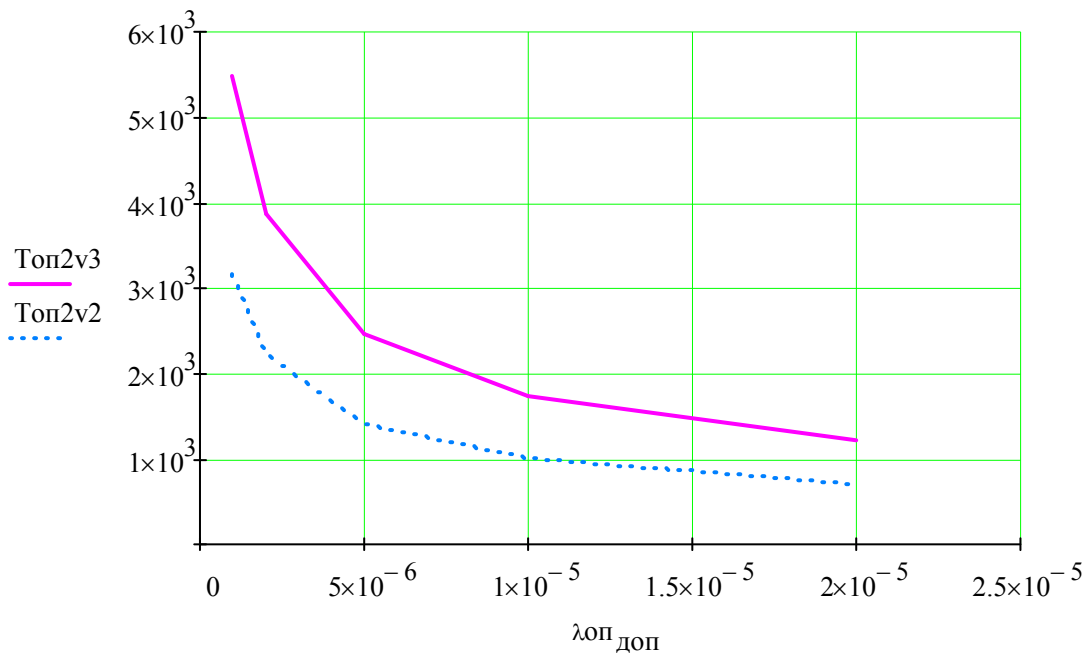


Рис. 3. Залежність мінімально допустимого наробітку до небезпечної відмови одного каналу резервування від допустимої інтенсивності небезпечних відмов пристроїв або системи в цілому

2. Діагностування каналів резервування суттєво збільшується з тривалістю експлуатації систем, особливо в разі наближення до середнього наробітку до небезпечної відмови кожного каналу резервування. При великій кількості елементів у каналі резервування ця проблема стає ще більш актуальною.

3. Для контролю безпечності каналів резервування МПЦ потрібно розробляти необхідні випробувальні стенди та відповідні методики (за аналогією зі стендами для перевірки реле 1-го класу надійності). Практично за рахунок діагностування і забезпечується такий необхідний 1-й клас надійності мікропроцесорних систем (високий рівень безпечності).

4. Розрахунки дозволяють визначити допустимі значення середнього наробітку до небезпечних відмов кожного каналу резервування систем МПЦ та максимальні допустимі значення тривалості усунення небезпечних відмов під час постійної експлуатації.

5. За допомогою виконаних досліджень функціональної безпечності систем МПЦ можуть бути використані також для інших систем залізничної автоматики та інших відповідальних технологічних процесів, де відмови систем керування або контролю призводять до дуже великого матеріального збитку, непоправного впливу на довкілля та загибелі людей.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробовування [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 32 с.
2. Кустов, В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики [Текст]: навч. посібник для вузів / В.Ф. Кустов. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.
3. Кустов, В.Ф. Математичні моделі функційної безпечності та безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання мажоритарного резервування «2» із «3» [Текст] / В.Ф. Кустов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 23. – С. 5-14.

4. Кустов, В.Ф. Математические модели функциональной безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики [Текст] / В.Ф.Кустов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 116. – С. 65-71.
5. IEC 61508-1:1998. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements, 1998.
6. CENELEC EN 50126: Railway Applications The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 1998.
7. CENELEC EN 50126-2: Railway Applications Dependability for Guided Transport Systems. Part 2: Safety, 1999.
8. CENELEC EN 50128: Railway Applications -Communications, signaling and processing systems Software for Railway Control and Protection Systems, 2000.
9. CENELEC EN 50129: Railway Applications -Safety-related Electronic Systems for Signaling, 2000.
10. ГОСТ Р 54897-2012. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 27 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.Б. Бойнік

---

Кустов Віктор Федорович, канд. техн. наук, професор, кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.:730-10-32.

Москаленко Олександр Володимирович, магістрант, кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: renovod25@gmail.com.

Kustov Viktor F. cand. of techn. sciences, professor of department Computer automation and telecontrol train traffic Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.:730-10-32.

Moskalenko Alexander, master student of department Computer automation and telecontrol train traffic Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: renovod25@gmail.com.

Наукова праця здана до друку 22.09.2015 р.