

УДК 629.488:519.87

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Канд. техн. наук І. Д. Борзилов, старш. виклад. М. Г. Равлюк,
магістрант М. С. Князьков

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ВАГОНОВ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Канд. техн. наук И. Д. Борзилов, старш. препод. Н. Г. Равлюк,
магистрант Н. С. Князьков

METHODOLOGY FOR DETERMINING BORDER VALUES OF PARAMETERS OF THE TECHNICAL CONDITION OF NODES OF HIGH SPEED WAGONS

Associate professor I. Borzilov, senior lecturer N. Ravlyuk, master N. Knyazkov

Запропоновано методику визначення граничних значень структурних параметрів функціональних механічних вузлів вагонів швидкісного руху. Визначено, що використовуючи орієнтований граф, що відображає структуру вагона або його вузла в цілому, можна визначити лінійні або лінеаризовані залежності відхилень вихідних даних від відхилень їх вхідних параметрів. З практичної точки зору показані методи та засоби визначення граничних значень контрольованих параметрів вузлів вагонів швидкісного руху.

Ключові слова: вагон, вузол, деталь, модель, структурний параметр, технічний стан, статистичний метод, швидкісний рух.

Предложена методика определения предельных значений структурных параметров функциональных механических узлов вагонов тополого-вероятностным и статистическим методами. Определено, что, используя ориентированный граф, который отражает структуру вагона или его узла в целом, можно определить линейные или линеаризуемые зависимости отклонений выходных данных от отклонений их входных параметров. С практической точки зрения показаны методы и средства определения предельных значений контролируемых параметров узлов вагонов скоростного движения.

Ключевые слова: вагон, узел, деталь, модель, структурный параметр, техническое состояние, статистический метод, скоростное движение.

In the process of operation, the structural parameters of the parts change, which leads to a deterioration in the technical condition of the unit and the car as a whole. Changing the structural parameter of the car's detail is accompanied by deterioration of the technical condition of the unit and externally manifested in the occurrence of knocking, noise, vibration and other phenomena that do not yet lead to loss of the operability of the unit, but indicate its malfunction. Gradually accumulating, changes in structural parameters gradually reach such a quantitative boundary, at which a radical, sometimes spasmodic, qualitative change occurs. The limiting value of the structural parameter corresponds to either a complete loss of the operability of the node, that is, the inability to perform its functions, or to a decrease in performance when the further operation of the high-speed car becomes impossible for technical and economic reasons.

A technique is proposed for determining the limiting values of the structural parameters of the functional mechanical nodes of cars by means of topological and probabilistic and statistical

methods. It is determined that, using an oriented graph that reflects the structure of the car or its assembly as a whole, it is possible to determine the linear or linearized dependencies of the output data deviations from the deviations of their input parameters.

From a practical point of view, obtaining the average operating time of the monitored node, with the limiting values of the parameters, is possible with the help of information technology. In the direction of introduction of information technology for determining the limiting values of structural parameters of functional mechanical nodes of high-speed cars, it is proposed to use the system of automated identification of rolling stock.

Keywords: car, knot, detail, pattern, structure parameter, the technical condition, Poplar probabilistic method, the statistical method.

Вступ. Проблема у визначенні технічного стану вагона полягає у тому, що переходи з одного технічного стану в інший є випадковими подіями і будь-який їх стан характеризується деякою невизначеністю, для розкриття якої необхідно застосовувати різні методики для визначення параметрів технічного стану функціональних вузлів вагонів швидкісного руху. Це обумовлено тим, що функціональні механічні вузли і деталі вагонів швидкісного руху виготовляються за розробленими кресленнями з певними допусками на розмір та дотриманням існуючих технічних умов. Усі ці вузли та деталі при встановленні на вагоні утворюють структуру, тобто конструкцію, яка складається з певної кількості сукупно працюючих функціональних вузлів. У процесі експлуатації структурні параметри деталей змінюються, що призводить до погіршення технічного стану вузла та вагона в цілому. Зміна структурного параметра деталі вагона супроводжується погіршенням технічного стану вузла, звичайно зовні проявляється в появі стуку, шуму, вібрації та інших явищ, які ще не призводять до втрати працездатності вузла, але вказують на його несправність. Накопичуючись, зміни структурних параметрів поступово досягають такої кількісної межі, при якій настає корінна, іноді стрибкоподібна якісна зміна.

Граничне значення структурного параметра відповідає або повній втраті працездатності вузла, тобто неможливості виконувати свої функції, або такому

зниженню експлуатаційних якостей, коли подальша експлуатація вагона швидкісного руху стає неможливою з технічних та економічних міркувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню проблеми визначення технічного стану вагонів шляхом встановлення граничних значень параметрів вузлів вагонів присвячені роботи [1, 2], у яких автори пропонують свої напрямки, у яких потрібно прикладати зусилля для забезпечення їх належного технічного стану. Методи та засоби технічного діагностування технічного стану деталей та вузлів вагонів описані в роботах [2, 3]. Математичну модель та алгоритм інформаційної технології виявлення пошкоджень та відмов вагонів подано у роботі [4]. Вирішенню вказаних проблем присвячені й публікації інших авторів [5, 6].

Однак у теперішній час ще не повною мірою описана методика для встановлення граничних значень параметрів вузлів та деталей у процесі експлуатації вагонів стосовно швидкісного руху. Для практичного використання в процесі експлуатації не існує методів та засобів визначення граничних значень контрольованих параметрів вузлів вагонів швидкісного руху.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення методики для встановлення граничних значень параметрів функціональних вузлів вагонів в експлуатації для об'єктивного й однозначного визначення

виду технічного стану вагона швидкісного руху.

Завдання дослідження полягає у встановленні параметрів технічного стану функціональних вузлів вагонів за допомогою створеної методики.

Основний матеріал. Зі збільшенням напруження (тривалості або обсягу роботи вузла), що вимірюється в кілометрах пробігу вагона, при досягненні допустимого рівня значення структурного параметра при пробігу L_e у вузлі виникають несправності; якщо вони не були усунені, то при пробігу L_m значення структурного параметра сягають граничного рівня й настає відмова (рис. 1).

Таким чином, при значеннях структурного параметра, які містяться між

номінальними та допустимими їх рівнями, можна говорити про їх технічний стан.

Допустиме значення структурного параметра характеризує технічний стан від початкового до проміжного значення, коли складальну одиницю або вузол уже не можна вважати справною, але разом з тим продовження експлуатації вагона або його вузла ще можливе до чергового технічного обслуговування або ремонту, але із зниженими техніко-економічними показниками. Продовження експлуатації вагона призводить до поступового накопичення змін у деталях і вузлах у таких кількостях, що структурні параметри досягають межі, при якій настає корінна, а часом стрибкоподібна їх якісна зміна.

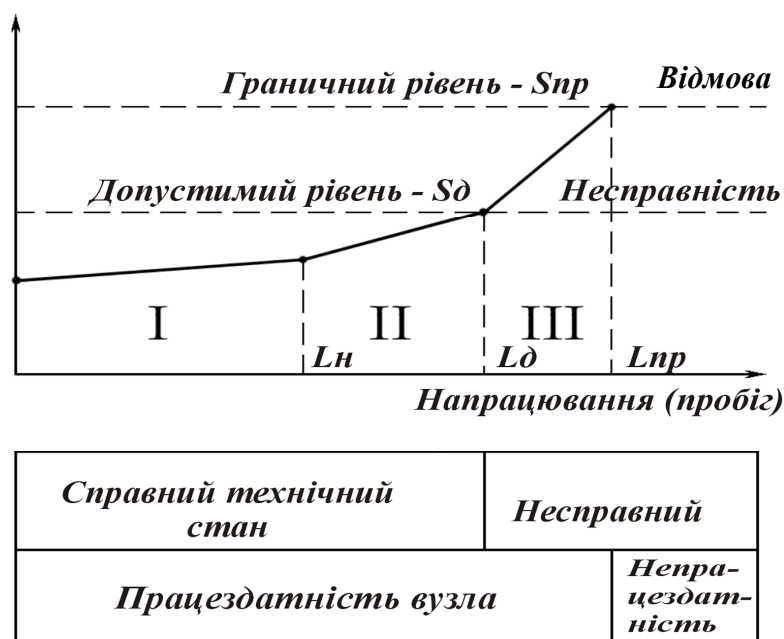


Рис. 1. Залежність технічного стану вузла від тривалості або обсягу роботи вагона

Таким чином, настає граничне значення структурного параметра, яке відповідає повній втраті працездатності вузла, тобто він або повністю перестає виконувати свої функції, або його техніко-економічні властивості знижуються настільки, що подальша експлуатація стає неприпустимою.

Виходячи з цього з метою об'єктивного й однозначного визначення виду технічного стану вагона запропоновано моделі встановлення граничних значень параметрів в експлуатації. При цьому для визначення граничних значень параметрів вагонів усі параметри технічного стану були розділені на дві групи:

- параметри, значення яких однозначно характеризують технічний стан вагона або його вузла (функціональні залежності між параметрами відомі);

- параметри, значення яких неоднозначно характеризують технічний стан вагона (функціональні залежності між параметрами невідомі).

Для вирішення цих завдань передбачено граничні значення параметрів першої групи визначати тополого-імовірним методом, а другий – статистичними методами.

Визначення граничних значень параметрів тополого-імовірним методом проводиться на підставі заданого граничного значення вихідного параметра об'єкта із заданою вірогідністю.

У розрахунках використовуються відносні відхилення параметрів, що визначаються за формулою

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{Z_{in}}, \quad (1)$$

де Δ_i – абсолютне відхилення i -го параметра від його номінального значення, Z_{in} .

Початковими даними для розрахунку є:

- δ_2 – задане граничне відхилення вихідного параметра $\delta_{вих}$;

- P_3 – задана вірогідність перебування $\delta_{вих}$ в межах n ;

- функціональна схема об'єкта.

Розрахунок за цією методикою пропонується виконувати в нижченаведеній послідовності.

Спочатку перетворюється функціональна схема об'єкта (вагона або його вузла) в орієнтований граф. Вершинами графа є елементи об'єкта діагностування (контролю), а гілками – зв'язки між ними. На графі виділяються поглинаючі елементи, тобто елементи, у яких відхилення вихідного параметра не

залежить від впливу решти елементів, пов'язаних з ним.

Зміну внутрішніх властивостей елемента обумовлює власне відносне відхилення вихідного параметра, яке на графі зображається петлею при вершині і позначається δ'_i .

Далі задаються попередні граничні значення власних відхилень елементів об'єкта δ'_i .

Зв'язок між вершинами графа подається за допомогою полюсних рівнянь

$$\delta_i = \sum_{j=1}^n k_j \delta_j + k_i \delta'_i, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де k_j – коефіцієнт впливу j -го елемента, пов'язаного з i -м елементом;

δ_j – відхилення вихідного параметра j -го елемента;

n – число елементів, пов'язаних з i -м елементом;

δ'_i – власне відхилення вихідного параметра i -го елемента;

k_i – коефіцієнт впливу зміни внутрішніх властивостей i -го елемента на власні відхилення його вихідного параметра.

Після цього необхідно подати зв'язок відхилення вихідного параметра об'єкта $\delta_{вих}$ з відхиленнями параметрів його елементів полюсним рівнянням графа

$$\delta_{вих} = \sum_{i=1}^m \delta_i + k_{вих} \delta'_{вих}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де $\delta'_{вих}$ – власне відхилення вихідного параметра об'єкта;

δ_i – відхилення вихідного параметра i -го елемента;

m – число елементів об'єкта, відображених на графі;

$k_{вих}$ – коефіцієнт впливу зміни внутрішніх властивостей вихідного елемента об'єкта на відхилення його вихідного параметра.

Далі необхідно обчислити максимальне відхилення вихідного параметра об'єкта $\delta_{вих}^{\max}$ на основі принципу розрахунку "як найгірший випадок". Для цього у формулу (3) потрібно підставити попередні граничні значення власних відхилень параметрів елементів δ'_n .

Використовуючи отриману величину $\delta_{вих}^{\max}$, будують криву розподілу відхилення $\delta_{вих}$ за допомогою "правила трьох СІГМ"

$$\sigma_{вих} = \frac{1}{3} \delta_{вих}^{\max}, \quad (4)$$

де $\sigma_{вих}$ – середньоквадратичне відхилення вихідного параметра.

Максимальне значення щільності вірогідності відхилення вихідного параметра $f(\delta_{вих}^{\max})$ визначається з виразу

$$f(\delta_{вих}^{\max}) = \frac{1}{\sigma_{вих} \sqrt{2\pi}}. \quad (5)$$

Далі визначаються значення n , відповідні заданим δ_n , і вірогідність перебування n у заданих межах з виразу

$$P = \frac{S_{\delta}}{S_0}, \quad (6)$$

де S_{δ} – площа, обмежена кривою $f(t_{вих})$ і ординатами в точках n ;

S_0 – загальна площа під кривою $f(t_{вих})$.

Після цього порівнюють знайдену вірогідність P із заданою p_3 . При $P = p_3$ задані попередні граничні значення власних відхилень δ'_i елементів об'єкта приймаються за шукані. При $P \neq p_3$ значення δ'_i коректуються до отримання рівності $P = p_3$. При цьому значення δ'_i збільшують при $P > p_3$ і зменшують при $P < p_3$.

Граничні значення параметрів елементів об'єкта визначають за формулою

$$|Z_{im}| = |Z_{in}| + |\Delta_i|, \quad (7)$$

де $|Z_{im}|$ – максимальне значення параметра;

$|Z_{in}|$ – номінальне значення параметра.

Статистичні методи застосовуються за наявності обсягу статистичних даних, достатнього для побудови розподілів щільності вірогідності значень параметра для працездатного і непрацездатного станів об'єкта (рис. 2).

Якщо області значень параметрів обох станів перетинаються, то при визначенні граничних значень параметрів виникають помилки діагностування видів технічного стану вагонів (рис. 2, а).

Якщо між структурними та вихідними параметрами залежність лінійна (2), то вона повністю відповідає вимогам однозначності, тому що кожному значенню структурного параметра S_2 відповідає одне значення вихідного параметра D_2 (рис. 2, б) Для залежності по кривій (1) вимога однозначності не виконується, тому що одному значенню параметра D_1 відповідає два значення S'_1 та S''_2 структурного параметра.

З двох (1) та (2) лінійних залежностей (рис. 2, б) вихідного параметра від структурного видно, що при одній і тій самій зміні ΔS вихідний параметр D_1 змінюється більш ніж D_2 , тобто $\Delta D_1 > \Delta D_2$. Звідси випливає, що параметр D_1 чутливіший від параметра D_2 і за його зміною легше та точніше можна уловити зміну структурного параметра.

Таким чином, не кожен вихідний параметр може стати діагностичним, тобто використовуватися при проведенні операції контролю (діагностування). Для цього параметр має відповідати однозначності, чутливості та доступності і зручності виміру параметра.

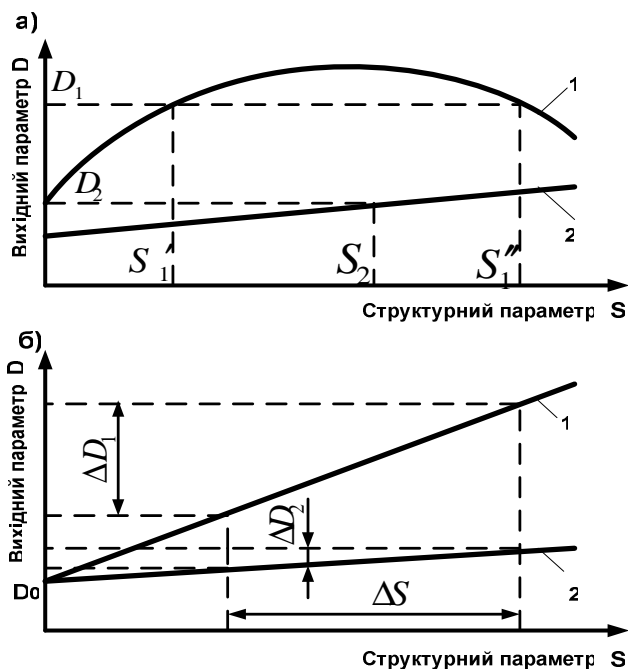


Рис. 2. Графіки залежності параметра вихідного процесу від величини структурного параметра

Тому в процесі діагностування вузлів вагона швидкісного руху необхідно використовувати різноманітні засоби, які задають або підтримують режим роботи об'єктів, найбільш сприятливі з точки зору інформативності діагностичного параметра, що вимірюється, і відповідно оптимальні для установаження діагнозу.

Отримання середньостатистичного напрацювання вузла, що контролюється, до граничних значень параметрів, коли подальша експлуатація вагона швидкісного руху стає неможливою з технічних та економічних міркувань, можливо за допомогою інформаційних технологій.

Крім того, при переході на інформаційну технологію можна очікувати економії трудових ресурсів, що задіяні в технічному обслуговуванні вагонів швидкісного руху. Відкриваються також можливості впровадження системи технічного обслуговування на абсолютно нових принципах організації. Така форма організації технічного обслуговування є оптимальною з точки зору й економії трудових та матеріальних ресурсів і

забезпечення безпеки руху поїздів. Більш того, з реалізацією інформаційної технології зміниться на краще й сама структура керування технічним обслуговуванням вагонів.

У напрямку впровадження інформаційної технології для визначення граничних значень структурних параметрів функціональних механічних вузлів вагонів швидкісного руху необхідно задіяти систему автоматизованої ідентифікації рухомого складу (САІРС-УЗ).

Висновки. За допомогою створеної методики є можливість установити параметри технічного стану функціональних вузлів вагонів для визначення граничних значень контрольованих параметрів, щоб своєчасно визначити технічний стан вагона.

Перспективи та подальший розвиток у даному напрямку полягають у тому, щоб розробити методи контролю технічного стану вагонів у процесі експлуатації чи під час виконання планового ремонту та визначити засоби для їх реалізації.

Список використаних джерел

1. Равлюк, В. Г. Визначення технічного стану буксових підшипників рухомого складу шляхом вібродіагностування [Текст] / В. Г. Равлюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Вып. 2/7 (74). – С. 11-15.
2. Борзилов, І. Д. Визначення діагностичних ознак технічного стану елементів підшипників кочення буксових вузлів рухомого складу [Текст] / І. Д. Борзилов, В. Г. Равлюк // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2008. – Вип. 15. – С. 100-105.
3. Розробка електронної діагностичної системи для підвищення достовірності діагностування гальм пасажирських вагонів [Текст] / В. Г. Равлюк, Я. В. Дерев'янчук, І. М. Афанасенко, М. Г. Равлюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Вып. 2/9 (80). – С. 35-41.
4. Борзилов, І. Д. Математична модель та алгоритм інформаційної технології виявлення пошкоджень та відмов вагонів [Текст] / І. Д. Борзилов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2007. – № 3 (65). – С. 35-37.
5. Vartin, N. Close shock detection using time-frequency Prony modeling [Text] / N. Vartin, P. Jaussaud, F. Combet. Mechanical Systems and Signal Processing 18 (2004). – P. 235-261.
6. Loutridis, S. J. Instantaneous energy density as a feature for gear fault detection [Text] / S. J. Loutridis. Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006). – P. 1239-1253.

Борзилов Іван Дмитрович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: borzilov49@gmail.com.

Равлюк Микола Григорович, старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: ravvg@ukr.net.

Князьков Микита Сергійович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту групи МЗ-ТЕМПУС-16-В. E-mail: knyazkovn1992@gmail.com.

Borzilov Ivan, Cand.Tech. Sci., The senior lecturer of chair of cars, mechanics-power faculty, the Ukrainian state university of a railway transportation. E-mail: borzilov49@gmail.com.

Nikolai Ravlyuk, Senior Lecturer, Chair of Wagons, Mechanics and Power Engineering Faculty, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: ravvg@ukr.net.

Knyazkov Nikita, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport of the MZ-TEMPUS-16-V group. E-mail: knyazkovn1992@gmail.com.

Стаття прийнята 18.10.2017 р.