mechanical losses in the main its coupling parts. In the work based on the implementation of tribotechnology of recovery (TTR) using copper-containing additives for motor oils and the processing flow of energies electric and magnetic fields explores this question. The theoretical justification tribocoupling "cylinder liner-piston ring", which is resource limiting one. The change in this friction modes when using TTR is shown. The theoretical analysis of mechanical power losses due to friction in the main mate diesel is given. Bench tests confirmed the reduction of power losses and improvement of the external speed characteristics of a diesel engine YAMZ-236 when using TTR.

Key words: ***diesel engine, coupling parts, mechanical losses, friction mode, tribotechnology of recovery, bench testing***

УДК 629.083

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ ТА АГРЕГАТІВ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ЧУТЛИВОСТІ

В. В. Аулін, доктор технічних наук
А. В. Гриньків, аспірант*
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: Aulin52@mail.ru

Анотація. *Аналіз діагностичних параметрів дає можливість якісно керувати технічним станом систем та агрегатів і засобів транспорту в цілому, тому для вирішення питань аналізу діагностичної інформації запропоновано реалізувати та узагальнювати їх у вигляді діагностичних рядів. Дане представлення сформоване на основі періодичного контролю систем та агрегатів засобів транспорту.*

Аналіз діагностичних рядів полягає у проведенні операції екстраполяції. Самі діагностичні параметри запропоновано представляти у вигляді адитивної моделі, що поєднує його регулярну та ймовірнісну складові. Виходячи з представлень даної моделі та сформованої процедури згладжування для п'яти та семи точок діагностичних параметрів стає можливим отримувати тренд їх зміни. Теоретично відображено аналіз діагностичних параметрів не за числовими їх значеннями, а за різницею зміни їх

***Науковий керівник – доктор технічних наук В. В. Аулін**

функцій. На основі даних досліджень запропоновано використовувати сенсистив в якості локального аналізу діагностичних параметрів.

Ключові слова: ***діагностичний параметр, сенситив, діагностичний ряд, технічний стан, система, агрегат, засіб транспорту***

Постановка проблеми. Дослідження технічного стану систем та агрегатів є важливим завданням для технічної експлуатації засобів транспорту (ЗТ). Дослідження такого плану можливо проводити ґрунтуючись на діагностичну базу даних, що якісно відображає будь-які зміни в ЗТ. Різнорідна діагностична інформація потребує узагальненого аналізу та виявлення закономірності зміни надійності систем та агрегатів ЗТ, тому формування та виявлення функцій діагностичних параметрів та отримання сенситивів їх зміни є важливим науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень. При досліджені технічного стану та рівня надійності ЗТ, вирішення питання їх прогнозування в залежності від умов використання, особливо впливу умов на значення діагностичних параметрів та їх реагування підчас істотної зміни умов та режимів експлуатації, на увагу заслуговує використання методів теорії чутливості функцій.

Кузьменко А. Г. за допомогою теорії чутливості функцій вирішував проблему розрахунку динамічної системи та визначення похибки відображення функції трибологічних систем [1]. Реалізація теорії чутливості відображена і в роботах Захаріна Ф. М. і Юсупова Р. М. [2, 3], які проводили теоретичні дослідження міри чутливості функцій для визначення параметрів налаштування автоматичних систем. Але методи даної теорії для експлуатації засобів транспорту, рівня їх надійності, оцінки зміни технічного стану практично не використовували.

Мета досліджень. Сформувати теоретичні передумови для дослідження та аналізу технічного стану систем та агрегатів засобів транспорту на основі діагностичної інформації з використанням методів теорії чутливості.

Результати досліджень. Методи екстраполяції тенденцій зміни діагностичних параметрів є найдоступніший серед всієї сукупності методів формування досліджуваних функцій. Використання екстраполяції має у своїй основі припущення про те, що даний процес зміни діагностичного параметра є поєднанням двох складових регулярної і випадкової:

$$D(L) = D(\bar{a}, L) + \eta(L). \tag{1}$$

Вважається, що регулярна складова діагностичного параметра

$D(\bar{a}, L)$ представляє собою функцію від пробігу, що описується вектором параметрів *α*, які зберігають свої значення на екстраполяційний період. Ця складова називається *трендом або тенденцією*. Під цими термінами розуміється інтуїтивне уявлення про очищену від перешкод процесу зміни діагностичного параметра. Інтуїтивне, тому що для більшості технічних, природних процесів не можна однозначно відокремити тенденцію від випадкової складової.

Випадкова складова $\eta(L)$ зазвичай вважається некорельованим випадковим процесом з непередбачуваним математичним очікуванням. Її оцінки потрібні для подальшого визначення точності отриманої функції. Екстраполяційні методи ґрунтуються на виділенні найкращих значень в деякому розумінні опису тенденції і на визначенні досліджуваних значень діагностичних параметрів шляхом їх екстраполяції.

Специфічними рисами екстраполяції можна назвати методи попередньої обробки наявних даних з метою перетворення їх до виду, зручного для аналізу логіки і фізики процесу зміни діагностичного параметру, що впливає на вибір виду екстраполюючої функції, так і на визначення меж його зміни.

У загальному вигляді формула згладжування для середньої точки діагностики ковзаючої групи з $m = 2p + 1$ точок може бути записана як:

$$\tilde{D}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=j-p}^{j+p} D_j \,. \tag{2}$$

При великому числі діагностик початкового діагностичного ряду цю процедуру можливо привести до рекурентної, що використовує кожного разу попереднє значення згладженого рівня:

$$\tilde{D}_j = \tilde{D}_{j-1} + \frac{D_{j+p} - D_{j-(p+1)}}{2p+1}. \tag{3}$$

Лінійне згладжування є досить грубою процедурою, що виявляє загальний приблизний вигляд тенденції зміни діагностичних параметрів. Для точного визначення форми згладженої кривої зміни діагностичного параметра може застосовуватися операція нелінійного згладжування або зважені ковзаючі середні. У цьому випадку значенням діагностичних параметрів, що входять до ковзаючої групи, приписуються різні вагові коефіцієнти залежно від їх відстані від середини інтервалу згладжування. Вибирається крива, зазвичай 2-го або 3-го порядку, і її ордината, що відповідає центру інтервалу згладжування, береться за згладжене значення рівня. Ординату центральної точки можна розрахувати як деяку зважену середню з усіх ординат точок згладжуючої групи. Так, для параболічного згладжування можна використати наступні формули згладжування по п'яти і семи точкам для центрального рівня [3, 4]:

$$m=5:\tilde{D}_L=\frac{1}{35}\begin{pmatrix}-3D_{L-2}+12D_{L-1}+\\+17D_L+12D_{L+1}-3D_{L+2}\end{pmatrix};$$

$$m=7:\tilde{D}_L=\frac{1}{21}\begin{pmatrix}-2D_{L-3}+3D_{L-2}+6D_{L-1}+\\+7D_L+6D_{L+1}+3D_{L+2}-2D_{L+3}\end{pmatrix}. \tag{4}$$

Згладжування діагностичних рядів по великому числу точок *m* використовується відносно рідко: воно прийнятне лише по відношенню до великих по протяжності діагностичних рядів. Окрім цього, по краях ряду залишається значне число незадовільно згладжених точок діагностик, а для екстраполяції кінцеве значення діагностичного параметру має найбільш важливе значення.

Якщо згладжування спрямоване на первинну обробку інформації діагностичного параметру для виключення випадкових коливань і виявлення тенденції, то необхідно використати вирівнювання для зручнішого представлення значень діагностичних параметрів, залишаючи колишніми його значення. Вирівнюванням можна представити перетворення емпіричної формули $D=f(L,\bar{a})$ до виду:

$$\tilde{D}=A+BL. \tag{5}$$

Очевидно, що ця процедура може бути реалізована не в усіх випадках, не для усіх функцій зміни діагностичного параметру проте більшість функцій відносно просто піддаються вирівнюванню.

Найбільш загальними прийомами вирівнювання є логарифмування і заміна змінних [5–7]. Розглянемо ці прийоми на ряду функцій, що можуть представляти діагностичні параметри:

1. Для досліджування діагностичних параметрів, що описуються степеневою функцією $D=aL^b$ застосовують логарифмічне перетворення виду $\ln D=\ln a+b\ln L$ і заміну змінних: $L=\ln L; D=\ln D$. В результаті маємо (5), де $A=\ln a, B=b.$

Таким чином, побудувавши діагностичні параметри, що описуються степеневою залежністю в логарифмічній сітці, отримаємо лінійну залежність, яку легко описати і екстраполювати, а потім перерахувати результати по формулах, зворотних початковому перетворенню змінних.

2. Для показникової функції $D=a\exp(bl)$ також можна застосувати логарифмічне вирівнювання: $\ln D=\ln a+bL$ і заміну: $L=L;\tilde{D}=\ln D.$ Отримаємо (5), де $A=\ln a; B=b.$

В цьому випадку, очевидно, слід передбачити перестроювання експериментальних точок в напівлогарифмічному масштабі з подальшим аналізом отриманого графіку.

3. Для залежності $d = \dfrac{1}{a + bL}$ – використовуються перетворення:

$$\tilde{D} = \frac{1}{d} = A + BL\text{, де } A = a, B = b; \quad (6)$$

4. Якщо передбачувана емпірична залежність зміни діагностичного параметру має вигляд $d = \dfrac{1}{a + b\exp(L)}$, то перетворення вирівнюванням має вигляд: $\tilde{D} = \dfrac{1}{d}$, $\tilde{L} = \exp(L)$. Тоді коефіцієнти формули $\tilde{D} = A + B\tilde{L}$ будуть $A = a, B = b$.

Вирівнювання можна розглядати не лише як метод представлення початкових діагностичних даних, але і як метод безпосереднього наближеного визначення параметрів функції, що їх апроксимує. Найчастіше саме так і використовується цей метод в деяких екстраполяціях. Відмітимо, що можливість безпосереднього їх використання для визначення параметрів апроксимуючої функції діагностичних параметрів визначається головним чином видом початкових діагностичних даних і мірою наших знань, нашої впевненості відносно виду їх функції зміни, що описує процес зміни технічного стану.

У тому випадку, якщо вид функції нам невідомий, вирівнювання слід розглядати як попередню процедуру, в процесі якої шляхом застосування різних формул і прийомів з'ясовується найбільш відповідний вид функції, що описує наявні значення діагностичних параметрів. Одним з різновидів методу вирівнювання є дослідження емпіричного ряду діагностичного параметру з метою з'ясування деяких властивостей функції, що описує його. Наприклад, це використання диференціальних функцій зростання. При цьому не обов'язково перетворення призводять до лінійних форм, але результати діагностування слід піддати певним процедурам, щоб полегшити процес вибору апроксимуючої функції в завданнях екстраполяції. У простому випадку пропонується використати наступні три типи диференціальних функцій зростання:

1. Перша похідна, або абсолютна диференціальна функція зростання:

$$\varphi(L) = D' = \frac{dD}{dL}. \quad (7)$$

На графіку $D = D(L)$ ця функція представляється кутовим коефіцієнтом в кожній точці графіку; $\varphi(L) = const$ для лінійного закону зміни $D(L)$. Для кривих другого порядку вона має лінійний характер зміни, а для експоненціальних кривих – є експоненціальною.

Зазначимо, що значення $\varphi(L)$ залежить від вибраних масштабів виміру діагностичних параметрів і пробігу.

2. Відносний диференціальний коефіцієнт, або логарифмічна похідна:

$$\omega(L)=\frac{\frac{dD}{dL}}{D}=\frac{d(\ln D)}{dL}. \tag{8}$$

Таким тип функції диференціального зростання можна виявити побудувавши графік залежності $D(L)$ в напівлогарифмічному масштабі. В такому випадку $\omega(L)$ також буде кутовим коефіцієнтом в кожній точці. При цьому для експоненціальної залежності $\omega(L)=const$, а для степеневої функції – має гіперболічний характер.

3. Еластичність функції:

$$\varepsilon(L)=\frac{dDL}{DdL}=\frac{d(\ln D)}{d(\ln L)}. \tag{9}$$

На графіку динамічного ряду діагностичного параметру, побудованому в логарифмічному масштабі, еластичність визначиться як кутовий коефіцієнт в кожній точці. При цьому $\varepsilon(L)=const$ для степеневої функції $D(L)$; для експоненціальної функції $\varepsilon(L)$ – має лінійний характер зміни, лінійна вона є і для комбінованої експоненціально-степеневої функції. Потрібно відмітити, що еластичність $\varepsilon(L)$ є безрозмірною величиною. Ця перевага дозволяє порівнювати характер зміни різних процесів, що протікають у власних або різних масштабах і визначають технічний стан об’єкта.

Прирости функції зміни діагностичного параметру *D(L)*, заданої числовим рядом, визначаються кінцевими різницями ряду $\Delta_L = D_L - D_{L-1}$. Кінцеві різниці, взяті від Δ_L, називаються різницями 2-го порядку і т.д.

$$\Delta_L^{(2)} = \Delta_L - \Delta_{L-1};\ \Delta_L^{(3)} = \Delta_L^{(2)} - \Delta_{L-1}^{(2)};\ \ldots . \tag{10}$$

Якщо згладити різниці, то отримаємо значення середніх приростів, які, очевидно, для різного числа *m* точок інтервалу згладжування матимуть вигляд:

$$m=3; \tilde{\Delta}_L = \frac{-D_{L-1}+D_{L+1}}{2};\ m=5; \tilde{\Delta}_L = \frac{-2D_{L-2}-D_{L-1}+D_{L+1}+2D_{L+2}}{10}. \tag{11}$$

При згладжуванні кінцевих різниць інших порядків отримаємо значення середніх приростів відповідних порядків $\tilde{\Delta}_L^{(2)}, \tilde{\Delta}_L^{(3)}$ і т.д.

Побудова кінцевих різниць діагностичних рядів є одним із способів визначення порядку функції, що апроксимує діагностичний ряд. Виходячи з передбачуваного виду опису діагностичного ряду (1) здійснюється припущення про те, що *m-на* кінцева різниця $D(L)$ при зростанні *m* прагнутиме до деякої межі, що визначається дисперсією випадкової складової $\eta(L)$. Тоді, якщо $\tilde{\Delta}_L^{(m)} \approx const$ можна вважати, що функція $f(\bar{a}, L)$ має *m*-й порядок. На практиці у зв'язку з обмеженим числом точок діагностичного ряду, його нестаціонарністю, випадковими викидами і іншими причинами отримати таку картину вдається дуже рідко.

На підставі середнього приросту спробуємо перейти до постійного рівня або лінійної залежності. Для цього використаємо ряд похідних величин і логарифмів від середнього приросту:

$$W_1(L) = \tilde{\Delta}_L; W_2(L) = \tilde{\Delta}_L^{(2)}; W_3(L) = \tilde{\Delta}_L / \tilde{D}_L;$$
$$W_4(L) = \log \tilde{\Delta}_L, W_5(L) = \log \tilde{\Delta}_L / \tilde{D}_L; \qquad (12)$$
$$W_6(L) = \log \tilde{\Delta}_L / D_L^2.$$

Очевидно, що деякі з них відповідають згаданим вище диференціальним функціям зростання ($\varphi(L) \sim W_1(L); \omega(L) \sim W_3(L)$), інші розширюють склад характеристик діагностичного ряду, відкриваючи можливості вирівнювання для великого асортименту видів функцій. У порівнянні з диференціальними функціями зростання характеристики середніх приростів більше пристосовані для аналізу діагностичних рядів, легко піддаються безпосередньому обчисленню і є дуже корисним засобом виявлення властивостей апроксимуючої функції [6–8].

При прогнозуванні, експлуатації і відповідній зміні технічного стану ЗТ з теоретичної точки зору доцільно відображати у вигляді математичної моделі причинно-наслідкові зв’язки між сукупністю факторів, які зазначать причину, та цільовою функцією, яка характеризує наслідок. При цьому слід врахувати, що велика кількість елементів систем та агрегатів ЗТ взаємодіють як між собою, так із зовнішнім середовищем. Інформацію про процеси, які протікають в них підчас експлуатації ЗТ та технічний стан отримують різними фізичними методами, а при її обробці можна використати методи узагальненої теорії графів та теорії чутливості цільової функції. В процесі дослідження зміни цільових функцій технічного стану та їх чутливості від зміні істотних факторів на увагу заслуговують наступні переваги теорії відносної чутливості цільової функції (теорії сенситивів) [1–6]:

- сенситив будь-якої функції є безрозмірною величиною;
- постійний множник перед функцією не впливає на її сенситив;
- сенситив степеневої функції не залежить від аргументу і є постійною величиною, що дорівнює показнику степеня функції;
- сенситив добутку двох функцій однієї змінної дорівнює сумі сенситивів цих функцій;

- сенситив добутку однієї функції, розділений дробом на іншу функцію дорівнює добутку сенситивів функції чисельника дробової функції на добуток сенситиву функції знаменника;
- сенситив суми двох функцій однієї змінної дорівнює сумі сенситивів функції кожен з яких помножений на свій ваговий коефіцієнт та інші.

Дані властивості можливо дотримуватись та використати при аналізі діагностичної бази даних про технічний стан систем та агрегатів ЗТ. Математична сутність підходу полягає у використанні сенситиву функції як відношення відносного приросту функції до відносного приросту аргументу:

$$sen\, D(L) = D^S(L) = \frac{dD(L)}{D(L)} \cdot \frac{L}{dL} = \frac{dD(L)}{dL} \cdot \frac{L}{D(L)}. \tag{5}$$

Приведену форму представлення сенситиву можна використати для оптимальної оцінки будь-якого параметру, який необхідно піддавати контролю при визначенні технічного стану систем і агрегатів ЗТ. Взявши за основу вираз (5), можна визначити коефіцієнт чутливості кожного діагностичного параметру.

Найбільш поширеною мірою абсолютної чутливості функцій стану до зміни факторів є їх кінцевий приріст або диференціал. Для цільової функції стану *S(D)* одного фактору (діагностичного параметру) D, маємо:

$$dS(D) = \frac{dS(D)}{dD} dD. \tag{15}$$

Абсолютна чутливість функції стану, як правило, є розмірною величиною, тобто похідна від функції стану є розмірною мірою по діагностичним параметрам її чутливості:

$$\frac{dS(D)}{dD} = S'(D). \tag{16}$$

Якщо функція стану залежить від вектора діагностичних параметрів $D=(D_1,D_2,\dots,D_n)$, то розрізняють цілу систему часткових абсолютних чутливостей функції стану:

$$\begin{gathered} \frac{\partial S(D_1,D_2,\dots,D_n)}{\partial D_1} = S'_{D_1}(D_1,D_2,\dots,D_n)\,; \\ \frac{\partial S(D_1,D_2,\dots,D_n)}{\partial D_2} = S'_{D_2}(D_1,D_2,\dots,D_n); \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots; \\ \frac{\partial S(D_1,D_2,\dots,D_n)}{\partial D_n} = S'_{D_n}(D_1,D_2,\dots,D_n)\,. \end{gathered} \tag{17}$$

Відносна безрозмірна чутливість цільової функції стану $S^S(D)$ або її сенситив дорівнює:

$$sen(S(D)) = S^s(D) = \frac{dS(D)}{S(D)} \bigg/ \frac{dD}{D}, \tag{18}$$

де: *dS(D)/S(D)* – відносний приріст цільової функції, *dD/D* – відносний приріст діагностичного параметру.

Виходячи з формули (18), сенситив функції технічного стану можна записати в наступному вигляді:

$$Sen\,S(D) = \frac{dS(D)}{dD} \cdot \frac{D}{S(D)} = S'(D) \cdot \frac{D}{S(D)}. \tag{19}$$

Рівняння (19) визначає взаємозв’язок відносної чутливості функції однієї змінної та абсолютної чутливості функції технічного стану. У разі залежності функції стану від вектора діагностичних параметрів $D = \left(D_1, D_2, ...D_i ..., D_n\right)$, їхні часткові сенситиви дорівнюють:

$$\begin{aligned} &Sen\,S_{D_1}(D_1) = S'_{D_1}(D_1) \cdot \frac{D_1}{S_{D_1}(D_1)}; \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots; \\ &Sen\,S_{D_2}(D_i) = S'_{D_2}(D_i) \cdot \frac{D_2}{S_{D_2}(D_i)}; \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots; \\ &Sen\,S_{D_n}(D_n) = S'_{D_n}(D_n) \cdot \frac{D_n}{S_{D_n}(D_n)}. \end{aligned} \tag{20}$$

Використовуючи правило диференціювання логарифмічної функції, маємо:

$$senS(D) = S^s(D) = \frac{d(\ln S(D))}{d \ln D} = \frac{(\ln S(D))' S(D)}{(\ln D)' D}. \tag{21}$$

Таким чином, чутливість і частинна чутливість можуть бути визначені як відношення похідної (частинної похідної) від логарифму функції стану до похідної логарифму діагностичного і частинних діагностичних параметрів.

На практиці, в основному, використовують абсолютні і відносні чутливості (сенситиви) першого і другого порядків:

$$S^{ss}(D) = S^s(S^s(D)) = \frac{dS^s(D)}{dD} \cdot \frac{D}{S^s(D)}. \tag{22}$$

Абсолютна чутливість першого порядку від функції стану – це швидкість зміни приросту функції стану від зміни значень діагностичних параметрів, а абсолютна чутливість другого порядку від функції стану – це швидкість швидкості зміни функції стану або прискорення зміни приросту функції зі зміною приросту діагностичного параметру. Абсолютну чутливість другого і більш високих порядків можна використовувати для аналізу сходження розрахункових алгоритмів. Сенситив відносної чутливості першого і другого порядку функції стану від діагностичних параметрів є безрозмірним, а отже зручним при аналізу бази даних, особливо при використанні інформаційних технологій і методів обробки на ПК.

Визначення чутливості узагальнюється на випадок довільного числа суми або різниці функцій зміни діагностичних параметрів, що складають функцію стану системи та агрегатів ЗТ:

$$S(D)=U_1(D)+U_2(D)+U_3(D)+\ldots+U_N\left(D\right)=\sum_{i=1}^{N}U_i(D), \tag{23}$$

де: $U_i(D)$ – функція зміни діагностичних параметрів, $i=\overline{1,N}$ – номер відповідного агрегату.

Відносна чутливість (сенситив) вище зазначеної функції буде мати вигляд:

$$\begin{gathered} S^s(D)=S^s(U_1(D))\frac{U_1(D)}{\sum\limits_{i=1}^{N}U_i(D)}+S^s(U_2(D))\frac{U_2(D)}{\sum\limits_{i=1}^{N}U_i(D)}+ \\ +\ldots+S^s(U_N(D))\frac{U_5(D)}{\sum\limits_{i=1}^{N}U_i(D)}; \end{gathered} \tag{24}$$

де: $S^s(D)$ – загальний сенситив (відносна чутливість) функції стану від діагностичних параметрів D; $S^s(U_i)$ – часткові сенситиви; $U_i(D)$, $i=\overline{1,N}$ – функції зміни відповідного діагностичного параметру для різних систем і агрегатів ЗТ.

Реалізації методу сенситивного аналізу, дає можливість отримати частинні сенситиви по кожному з діагностичних параметрів на різних періодах пробігу ЗТ [6]. При цьому функції надійності за діагностичними параметрам. Функцію діагностичного параметру та загальну функцію надійності ЗТ можна вважати параметрично заданими:

$$\left.\begin{aligned} x_j&=D_j(L)\\ y_j&=P_j(L) \end{aligned}\right\} \tag{25}$$

Використовуючи правила знаходження сенситиву і його властивості відносно надійності агрегату, на певному пробігу можна отримати наступне рівняння:

$$sen\,D_j(L)=\frac{P_j(L)'}{D_j(L)'}\cdot\frac{D_j(L)}{P_j(L)}=\frac{\dfrac{dP_j}{dL}\cdot D_j(L)}{\dfrac{dD_j}{dL}\cdot P_j(L)}. \tag{26}$$

Рівняння (26) описує залежності, відносної чутливості діагностичних параметрів від функції надійності агрегатів та систем і ЗТ в цілому.

Висновки

1. Запропонована модель представлення діагностичних параметрів технічного стану систем і агрегатів ЗТ у вигляді адитивної складової, що відображає його регулярну та ймовірнісну складову.

2. Сформовано процедуру згладжування діагностичних рядів технічних станів ЗТ для п'яти та семи точок діагностик.

3. Запропоновано прирости функцій зміни діагностичних параметрів використовувати для аналізу діагностичного ряду під час прогнозування технічного стану систем і агрегатів ЗТ.

4. Наведено переваги використання відносної чутливості (сенсетивів) діагностичних параметрів при дослідженні зміни цільових функцій технічного стану.

5. Відображено аналітичні формули використання сенситивів діагностичних параметрів під час дослідження технічного стану систем та агрегатів ЗТ та оцінки їх надійності.

Список літератури

1. *Кузьменко А. Г.* Теоретическая и экспериментальная трибология. В 12 т. Т. 7. Надежность узлов трения по прочности и износу: монография. Хмельницкий. ХНУ. 2011. 391 с.

2. *Захарин Ф. М., Юсупов Р. М., Городецкий В. И., Пономарев В. М.* Прямые и обратные задачи теории чувствительности // АН СССР. Техническая кибернетика. 1971. № 5. С. 177—187.

3. *Юсупов Р. М.* Элементы теории испытания и контроля технических систем: монография. Ленинград. Энергия. 1978. 420 с.

4. *Аулин В. В., Гринькив А. В., Лысенко С. В.* Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств // Материалы X международной заочной научно-технической конференции "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: эксплуатация и развитие автомобильного транспорта". 2015. Ч. 2. С. 33—44.

5. *Гриньків А. В.* Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2016. 29. С. 25—32.

6. *Аулін В. В., Гриньків А. В.* Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів транспортних засобів на основі теорії сенситивів // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2016. № 5. С. 109—117.

7. *Аулин В. В., Гринькив А. В.* Использование теоретико-информационного подхода для анализа технического состояния топливной системы автомобиля // Motrol. Journal According of the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2016. Vol. 18. № 2. P. 63—69.

8. *Аулін В. В., Гриньків А. В.* Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської і автотракторної техніки // Вісник житомирського державного технологічного університету. Секція: технічні науки. 2016. №2 (77). С. 36—41.

References

1. *Kuzmenko A. G.* (2011). Theoretical and experimental tribology. 12 T. T. 7. Reliability of friction strength and wear. Khmelnitsky. Henna. 391.

2. *Zacharin M. F., Yusupov R. M., Gorodetsky V. S., Ponomarev V. M.* (1971). Direct and inverse problems of sensitivity theory // Academy of Sciences of USSR. Technical Cybernetics. No 5. 177-187.
3. Yusupov R. M. Elements of theory testing and inspection of technical systems: monograph. Leningrad. Energy. 1978. 420.
4. *Aulin V. V., Hrynkiv A. V., Lysenko S. V.* (2015). Relationship of information entropy with reliability of the units and vehicles // Proceedings of X International correspondence scientific-technical conference. Quality problems and maintenance of vehicles: maintenance and development of road transport. Part 2. 33-44.
5. *Hrynkiv A. V.* (2016). Use of methods of forecasting in the management of the technical condition of units and systems vehicles Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation. 29. 25-32.
6. *Aulin V. V., Hrynkiv A. V.* (2016). Methods of selection of diagnostic parameters of the technical condition of vehicles the vehicles on the basis of the theory sensitiv // Technical services agriculture, forestry and transportation systems. No 5. 109-117.
7. *Aulin V. V., Hrynkiv A. V.* (2016). Use of information-theoretical approach to analyze the technical condition of the fuel system of a car // Motrol. Journal of According the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 18. No 2. 63-69.
8. *Aulin V. V., Hrynkiv A. V.* (2016). Challenges to effectiveness of system of technical operation of mobile agricultural and automotive machines // Bulletin of Zhytomyr State Technological University. Section: technical sciences. No 2 (77). 36-41.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ И АГРЕГАТОВ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

В. В. Аулин, А. В. Гринькив

Аннотация. *Анализ диагностических параметров дает возможность качественно управлять техническим состоянием систем и агрегатов и средств транспорта в целом, потому для решения вопросов анализа диагностической информации предложено реализовать и обобщать их в виде диагностических рядов. Данное представление сформировано на основе периодического контроля систем и агрегатов средств транспорта.*

Анализ диагностических рядов заключается в проведении операции экстраполяции. Сами диагностические параметры предложено представлять в виде аддитивнойй модели, которая сочетает его регулярную и вероятностную составляющее. Исходя, из представлений данной модели и сформированной процедуры сглаживания для пяти и семи точек диагностических параметров становится возможным получать тренд их изменения. Теоретически отображен анализ диагностических параметров не за числовыми их значениями, а за разницей изменения их функций. На основе данных исследований предложено использовать сенсистив в качестве локального анализа диагностических параметров.

Ключевые слова: ***диагностический параметр, сенситив, диагностический ряд, техническое состояние, система, агрегат, средство транспорта***

THEORETICAL ANALYSIS OF DIAGNOSTIC PARAMETERS OF SYSTEMS AND COMPONENTS OF VEHICLES USING SENSITIVITY THEORY

V. V. Aulin, A. V. Hrynkiv

Abstract. *Analysis of the diagnostic parameters makes it possible to efficiently control the technical condition of systems and components, and vehicles in general, because for issues analysis of the diagnostic information suggested to implement and generalize them in the form of diagnostic lines. This view formed on the basis of periodic monitoring of the systems and components of vehicles.*

Analysis of the diagnostic lines is contained in realization of the operation of extrapolation. Themselves diagnostic parameters requested to provide in the form of additionally model, which combines regular and stochastic component. On the basis of representations of this model and formed the procedure of smoothing for five and seven points diagnostic parameters it is possible to obtain the trend of their changes. The analysis of the diagnostic parameters not for their numerical values, and the difference changes in their functions is theoretically shown. On the basis of these studies it is proposed to use sensitive as a local analysis of the diagnostic parameters.

Key words: ***diagnostic parameter sensitiv, diagnostic line, technical state, system, assembly, means of transport***

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

ОСОБЛИВОСТІ ЛАЗЕРНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ З ЧАВУНУ

Ю. О. Ковальчук, І. О. Лісовий, В. В. Шевчук,
кандидати технічних наук
Уманський національний університет садівництва
e-mail: temp1405@mail.ru

Анотація. *Розглянуто проблему підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей сільськогосподарських машин, виготовлених із чавуна. Визнано ефективною їх термічну обробку за рахунок впливу концентрованих потоків енергії, створюваних променем оптоволоконного лазера. Проаналізовано структури зон*