

Надточій О.В.

Тітова Л.Л.

Роговський І.Л.

Національний університет біоресурсів і природокористування
України
e-mail: rogovskii@yandex.ua

МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ПАРАМЕТРІВ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИН ДЛЯ
ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

УДК 621.436: 534

Розглянуто модель розпізнавання образу справного і несправного станів циліндропоршневої групи (далі – ЦПГ) при віброакустичному діагностуванні машин для лісотехнічних робіт. Для моделі використані дані відносної амплітуди та фази виникнення удару в ЦПГ двигунів машин для лісотехнічних робіт. Моделювання проводилось в пакеті Mathcad 15.

Ключові слова: образ, розпізнавання, спектр, амплітуда, баланс енергії, правдоподібність, прецедент.

Вступ. Методи розпізнавання образів являють собою найбільш математизований розділ теорії штучного інтелекту, в якому вирішуються задачі, пов'язані з класифікацією об'єктів довільної природи. Розпізнавання образів одна з тих задач які постійно в щоденному житті вирішує «природний» інтелект.

Зусилля ж вчених вже на протязі півстоліття направлені на розробку методів і алгоритмів «автоматичного» вирішення цієї задачі. Стосовно питань віброакустичного діагностування вузлів і механізмів машин для лісотехнічних робіт навіть отримавши цілком достовірні дані, головним питанням стає питання класифікації. Куди віднести ці дані, до якого класу (образу).

Визначення ступеню зношеності з'єднання “поршень – гільза” при віброакустичному діагностуванні двигунів машин для лісотехнічних робіт здійснюється шляхом отримання ряду непрямих (побічних) параметрів: амплітуда, потужність, спектр, фаза тощо. Отримання однозначного діагнозу (класифікація) є досить актуальним завданням, особливо з позиції автоматизації прийняття рішення.

Стан системи описується множиною параметрів технічного стану машин для лісотехнічних робіт, які його визначають [1]. Розпізнавання стану системи можливе за рахунок віднесення її до одного із всіх класів (діагнозів). Число діагнозів (класів, типових станів, еталонів) залежить від особливостей задачі і мети дослідження [2].

Стосовно віброакустичного діагностування ЦПГ двигунів машин для лісотехнічних робіт найбільш інформаційними параметрами можуть виступати максимальна енергія віброударного посилення від перекладки поршня в зазорі x_1 та фаза його виникнення x_2 (рис. 1, а).

Найбільш просто адаптуються (трансформуються) на багатомірні системи методи мінімального ризику та метод найбільшої правдоподібності [3, 4]. У випадках, коли в методі статистичного рішення потрібно визначити межі області прийняття рішення, розрахункова сторона задачі суттєво ускладнюється [5]. Тому для спрощення розглянемо процес розпізнавання при наявності одного діагностичного параметру – x фази виникнення віброударного посилення (рис. 1, б).

Постановка проблеми. Мета досліджень – сформулювати аналітичні положення моделі розпізнавання образів параметрів технічного стану машин для лісотехнічних робіт.

Результати дослідження. Задача полягає у встановленні для з'єднання “поршень – гільза” одного з діагнозів “справне” чи “не справне”. Сукупність послідовних дій у процесі розпізнавання і є потрібним алгоритмом розпізнавання. Суттєвою частиною процесу

розпізнавання є вибір параметрів роботи алгоритмів, які б повністю описували і виявляли зміну стану системи. Дані ж параметри повинні бути досить інформативними, щоб при вибраному числі діагнозів існувала можливість процесу розділення. Фактично ж стосовно даної задачі завдання полягає у виборі значення x_0 параметра x таким чином, що при $x > x_0$ слід приймати рішення про зняття двигуна з експлуатації, а при $x_0 < x$ продовжувати подальшу його експлуатацію.

Так як стан системи характеризуватимемо одним параметром, то система матиме одномірний простір (матрицю–вектор) ознак. Розділення проводиться на два класи (образи стану). Умовимося вважати: D_0 – образ справного стану і D_1 – образ несправного стану. Тоді стан системи може бути описаний таким виразом:

при
$$\begin{cases} x < x_0 & x \in D_0 \\ x > x_0 & x \in D_1 \end{cases}, \quad (1)$$

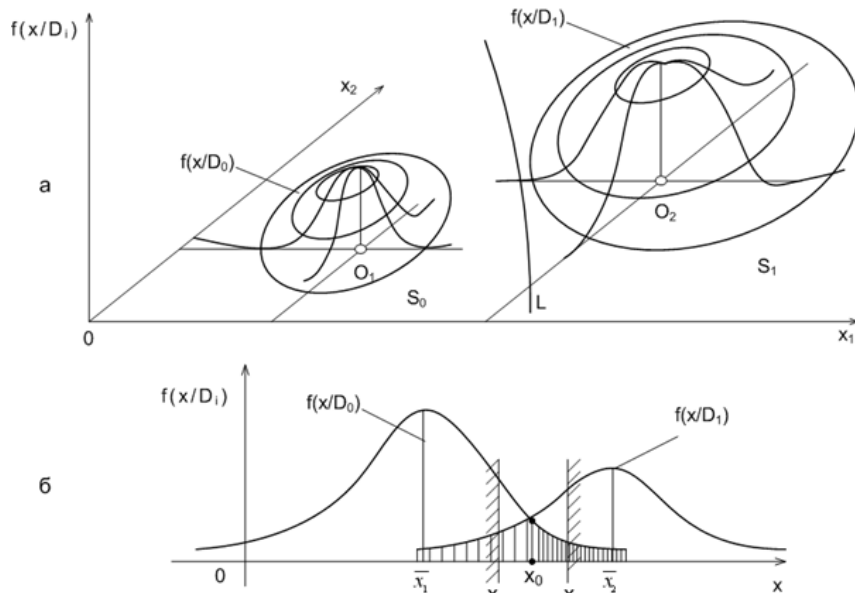


Рис. 1 – Схема статистичного розподілу D_0 – роботоздатного та D_1 – нероботоздатного станів ЦПГ:
 а – для двох діагностичних ознак; б – для однієї діагностичної ознаки

Фаза виникнення віброударного посилення неоднозначно характеризує стан ЦПГ дизельного двигуна (нерівномірна подача палива, спрацювання газорозподільчого механізму тощо (рис. 2).

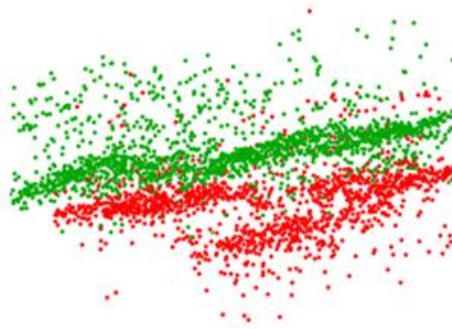
У залежності від зазначених факторів закон розподілу фази x відповідно для справного і несправного стану системи “циліндр–поршень” може мати вигляд показаний на рис. 1, б. Суттєво те, що області справного і несправного (дефектного) станів пересікаються і тому в спільній зоні принципово неможливо вибрати значення x_0 , при якому правило (1) не давало б помилкових рішень.

Розглянемо для початку можливі помилки при прийнятті рішень стану системи.

Хибна тривога (помилка першого виду α) – випадок, коли приймається рішення про несправний стан системи, хоча в дійсності вона перебуває в справному стані, тобто замість D_0 приймається D_1 .

Пропуск дефекту (помилка другого виду β) – прийняття рішення про справний стан, тоді як система є несправною (замість D_1 приймається D_0).

Вирішальне правило у відповідності з яким приймається рішення про діагноз за методом Байєса полягає у порівнянні ознаки x з рівнем розпізнавання P_i для діагнозу D . При цьому вірогідність найближчого конкуруючого діагнозу не вище $1 - P_i$.



В, С

Рис. 2 – Реальний розподіл фази удару в ЦПГ з відповідними зонами справного (зелений) і несправного (червоний) станів з'єднання

Для виявлення дійсного стану системи позначимо через $\Pi_{i,j}$ ($i=0,1; j=0,1$) можливі рішення за правилом (1) (i –індекс прийнятого діагнозу, j – індекс дійсного стану). Тоді $\Pi_{0,1}$ – пропуск дефекту, а $\Pi_{1,0}$ – хибна тривога; $\Pi_{0,0}, \Pi_{1,1}$ – правильні рішення.

Розглянемо вірогідність хибної тривоги $P(\Pi_{1,0})$ при використанні правила (1). Площа під кривою щільності вірогідності справного стану, яка відповідає $x > x_0$, виражає умовну вірогідність ситуації $x > x_0$ для справної системи:

$$P(x > x_0 / D_0) = \int_{x_0}^{\infty} W\left(\vec{x} / D_0\right) dx \cdot \quad (2)$$

Вірогідність хибної тривоги визначається, як добуток двох подій: наявність справного стану і значення $x > x_0$. Тоді

$$P(\Pi_{1,0}) = P(D_0) \cdot P(x > x_0 / D_0) = P_0 \int_{x_0}^{\infty} W\left(\vec{x} / D_0\right) dx, \quad (3)$$

де P_0 – апіорна вірогідність діагнозу D_0 .

Подібним чином знаходимо вірогідність пропуску дефекту

$$P(\Pi_{0,1}) = P(D_1) \cdot P(x < x_0 / D_0) = P_1 \int_{-\infty}^{x_0} W\left(\vec{x} / D_1\right) dx, \quad (4)$$

У більшості випадків при віброакустичному діагностуванні рішення про віднесення ознаки x діагностування до класу D_0 чи D_1 можна пов'язати з величиною відношення правдоподібності $L\left(\vec{x}\right)$ (відношення щільності вірогідності розподілу x при двох станах):

$$L\left(\vec{x}\right) = \frac{W\left(\vec{x} / D_1\right)}{W\left(\vec{x} / D_0\right)}, \quad (5)$$

де $W\left(\vec{x} / D_0\right)$ – щільність вірогідності розподілу x при справному стані;

$W\left(\vec{x} / D_1\right)$ – щільність вірогідності розподілу x при несправному стані.

У відповідності з правилом (1) за методом мінімального ризику приймається наступне рішення про стан об'єкта, який має дане значення параметра x .

$$\begin{aligned}
 x \in D_0 \quad \text{якщо} \quad & \frac{W\left(\vec{x}/D_1\right)}{W\left(\vec{x}/D_0\right)} > \frac{(\Pi_{0,1} - \Pi_{1,1}) \cdot P_1}{(\Pi_{1,0} - \Pi_{0,0}) \cdot P_0}, \\
 x \in D_1 \quad \text{якщо} \quad & \frac{W\left(\vec{x}/D_1\right)}{W\left(\vec{x}/D_0\right)} < \frac{(\Pi_{0,1} - \Pi_{1,1}) \cdot P_1}{(\Pi_{1,0} - \Pi_{0,0}) \cdot P_0}
 \end{aligned} \tag{6}$$

де $\frac{(\Pi_{0,1} - \Pi_{1,1}) \cdot P_1}{(\Pi_{1,0} - \Pi_{0,0}) \cdot P_0}$ – заздалегідь вибраний рівень розпізнавання (зазвичай $\geq 0,9$).

Таким чином, використовуючи залежності (5), (6) для прийняття рішення не потрібне визначення значення параметру x_0 .

Відношення правдоподібності несе всю статистичну інформацію, яка міститься в векторі діагностичних ознак. Хоча на практиці буває дещо зручніше розглядати не відношення правдоподібності, а логарифм цього відношення. Це не змінює результату, так як логарифмічна функція монотонно зростає разом із своїм аргументом, але для нормального і деяких інших законів розподілу використання логарифму відношення правдоподібності є дещо простішим.

Тоді:

$$\begin{aligned}
 x \in D_0 \quad \text{якщо} \quad & \ln L\left(\vec{x}\right) > \ln \left[\frac{(\Pi_{0,1} - \Pi_{1,1}) \cdot P_1}{(\Pi_{1,0} - \Pi_{0,0}) \cdot P_0} \right], \\
 x \in D_1 \quad \text{якщо} \quad & \ln L\left(\vec{x}\right) < \ln \left[\frac{(\Pi_{0,1} - \Pi_{1,1}) \cdot P_1}{(\Pi_{1,0} - \Pi_{0,0}) \cdot P_0} \right]
 \end{aligned} \tag{7}$$

Слід також зважати на те, що оцінки вартості помилок першого α та другого виду β часто бувають невідомі, а їх достовірне визначення пов'язане із значним ускладненням. Тому бажано завжди при певному рівні однієї із помилок (частіше першого виду) мінімізувати значення іншої. В практиці для попередніх розрахунків значення цих помилок приймають $\alpha = \beta = 0.05$. Після прийняття рішення про стан системи відповідні значення помилок потребують уточнення. Для цього використовуються залежності:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \alpha &= \frac{N_{\Pi_{1,0}}}{N_{\Pi_{0,0}} + N_{\Pi_{1,0}}}, \\
 \beta &= \frac{N_{\Pi_{0,1}}}{N_{\Pi_{1,1}} + N_{\Pi_{0,1}}}
 \end{aligned} \right. \tag{8}$$

де $N_{\Pi_{1,0}}$, $N_{\Pi_{0,1}}$ – кількість неправильних рішень відповідно для справного і несправного станів системи;

$N_{\Pi_{0,0}}$, $N_{\Pi_{1,1}}$ – кількість правильних рішень відповідно для справного і несправного станів.

Хоча метод Баеса займає особливе місце серед методів технічної діагностики, йому притаманні деякі недоліки: великий об'єм попередньої інформації, “пригнічення” діагнозів, які рідко зустрічаються та наявність одного рівня порівняння, що в решті решт створює перешкоди при використанні, при наявності спільної зони законів розподілу діагностичної ознаки x для справного і несправного станів.

Тому для двохкласової задачі розпізнавання оптимальним є послідовний метод, який визначається наступними нерівностями:

При прийнятті рішення D_0 :

$$\begin{cases} \ln C_0 < \ln L(x_1 \dots x_{n-1}) < \ln C_1, \\ \ln C_0 \geq \ln L(x_1 \dots x_n) \end{cases}, \quad (9)$$

При прийнятті рішення D_1 :

$$\begin{cases} \ln C_0 < \ln L(x_1 \dots x_{n-1}) < \ln C_1, \\ \ln L(x_1 \dots x_n) \geq \ln C_1 \end{cases}, \quad (10)$$

де C_0 і C_1 – пороги відповідно для справного і несправного станів.

Пороги C_0 і C_1 визначаються за формулами:

$$C_1 = \frac{1 - \beta_{зад}}{\alpha_{зад}}, \quad C_0 = \frac{\beta_{зад}}{1 - \alpha_{зад}} \quad (11)$$

де $\alpha_{зад}$ і $\beta_{зад}$ – відповідно задані вірогідності помилок першого та другого виду.

В даному випадку, коли потрібна висока надійність розпізнавання, доцільно ввести зону невизначеності (зону відмови від розпізнавання). Правило прийняття рішення в цьому випадку буде мати вигляд (рис. 2):

$$\begin{cases} \text{при } x < x_a & x \in D_0 \\ \text{при } x > x_b & x \in D_1 \\ \text{при } x_a < x < x_b & x \notin D_0, D_1 \end{cases}, \quad (12)$$

Коли виконується умова $x_a < x < x_b$, настає відмова від розпізнавання.

Відмова від розпізнавання свідчить, що наявної інформації недостатньо для прийняття рішення і потрібні додаткові дані.

При попаданні в зону невизначеності слід використовувати зрізаний метод.

Він полягає в тому, що при досягненні встановленої кількості накоплені значення логарифму відношення правдоподібності порівнюються тільки з одним порогом C при $n_i = n_{\max}$. Найчастіше $C=1$. Тобто:

$$\begin{cases} \ln C_0 < \ln L(x_1 \dots x_{n_{\max}}) \Rightarrow (x_1 \dots x_{n_{\max}}) \in D_0 \\ \ln C_0 < \ln L(x_1 \dots x_{n_{\max}}) < \ln C_1 \Rightarrow \ln L(x_1 \dots x_{n_{\max}}) \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \ln C, \\ \ln C_1 < \ln L(x_1 \dots x_{n_{\max}}) \Rightarrow (x_1 \dots x_{n_{\max}}) \in D_1 \end{cases}, \quad (13)$$

При використанні цього методу вірогідність помилок $\alpha_{зріз}$ і $\beta_{зріз}$ виє більшими ніж $\alpha_{зад}$ і $\beta_{зад}$, так як помилкові рішення можливо і не з'явилися б при продовженні діагностування за послідовною схемою.

Аналіз даних методів свідчить, що для адаптивного непараметричного синтезу оптимальних методів в умовах апріорної не обумовленості необхідно визначити наступні дані:

- закони розподілу віброакустичної ознаки $W\left(\frac{\vec{x}}{D_1}\right)$ і $W\left(\frac{\vec{x}}{D_0}\right)$ для класів;
- значення помилок першого і другого виду α і β ;
- максимальну кількість діагностичних ознак n_{\max} для штучного зрізування;
- величину порогів C , C_0 та C_1 .

Наведені теоретичні залежності алгоритму були використані нами для розробки комп'ютерної програми прийняття рішення (Mathcad 15), при діагностуванні ЦПГ дизельних двигунів за діагностичною ознакою – фазою виникнення віброакустичного посилення від переключки поршня.

Була знайдена дискримінантна функція по прецедентах методом потенціальних функцій (рис. 3).

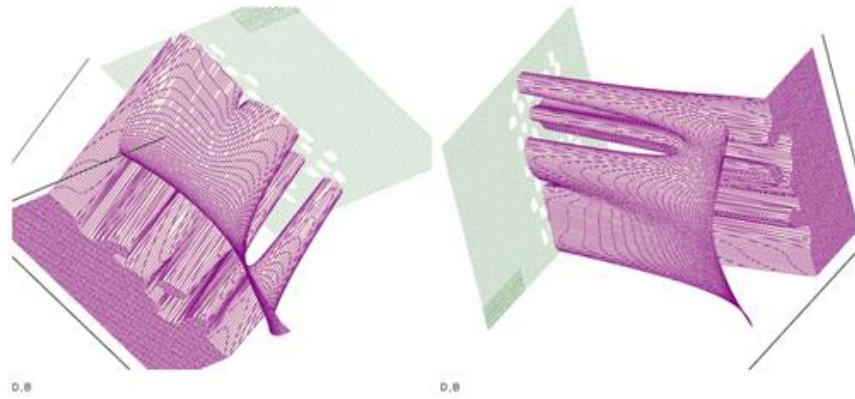


Рис. 3 – Візуалізація дискримінантної функції і прецедентів

Результатом роботи програми було створення гістограм розподілу щільності вірогідності векторів діагностичних ознак по навчальній вибірці.

Наведені закономірності розподілу щільності вірогідності та відповідних логарифмів відношення правдоподібності приведені на рис. 4 для 1000 хв^{-1} .

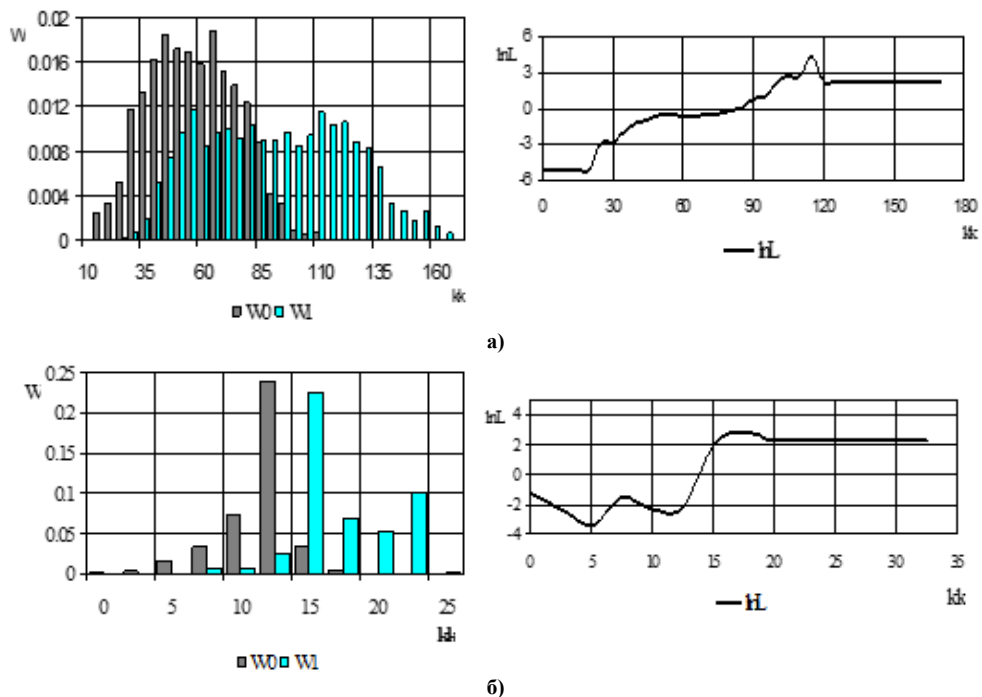


Рис. 4 – Гістограми розподілу щільності вірогідності векторів діагностичних ознак та логарифмів відношення правдоподібності при 1000 хв^{-1} :
 а – відносна амплітуда, б – фаза

Аналіз приведених закономірностей показує, що характеристика розподілу фази в є одномодальною, тоді як амплітуда має двомодальний характер (“двогорбий”). Як видно з графіків області справного D_0 і несправного D_1 станів перетинаються. Величина зони невизначеності значно більша у амплітудного параметру і становить -18 комірок (величина комірки 5). Зона невизначеності для фазового параметру становить 5 комірок (величина комірки 2.5). Однак, порівнюючи величини щільностей вірогідності векторів фази в зоні перекриття, можна відмітити значну різницю між векторами справного і несправного станів, що свідчить про добру роздільність цих станів.

Висновки. Проведений розрахунок показує, що краще розпізнавання стану з’єднання “поршень – гільза” системи ЦПГ дизельного двигуна машини для лісотехнічних робіт можливе для діагностичної ознаки – фази виникнення віброакустичного імпульсу викликаного перекладкою поршня при 1000 хв^{-1} .

При цьому значення хибної тривоги не перевищить 7 випадків на 1000 об'єктів діагностування, а значення пропуску дефекту 20 випадки на 1000. Ці дані певною мірою можуть характеризувати точність постановки діагнозу про дійсний стан ЦПГ.

Література

1. Тітова, Л. Л. Совершенствование системы восстановления работоспособности машин для лесотехнических работ / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – 2015. – Том 17, №3. – Р. 253–264.
2. Тітова, Л. Л. Класифікація машин для лісотехнічних робіт за нормативною періодичністю відновлення їх працездатності / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 167. – С. 243–249.
3. Тітова, Л. Л. Алгоритм розподілу об'ємів відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт / Л. Л. Тітова, І. Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 167. – С. 290–296.
4. Надточій, О. В. Теоретичні спектри віброакустичних сигналів ЦПГ і їх зв'язок з тривалістю ударів / О. В. Надточій, Л. Л. Тітова // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2016. – Вип. 241. – С. 151–159.
5. Горбань, А. Н. Нейринформатика / А. Н. Горбань, Д. А. Россиев, А. Н. Кирдин. – Новосибирск: Наука, 1998. – 304 с.

Nadtochij, A.V, Titova, L.L., Rogovskii, I.L. Model pattern recognition options of parametrec of technical condition for forestry machinery

Pattern recognition methods are the most mathematical section of the theory of artificial intelligence, which solved the problem associated with the classification of objects arbitrary nature. Pattern recognition is one of those problems that are constantly in everyday life solves natural intelligence.

The efforts of scientists is already over half a century, aimed at the development of methods and algorithms for automatically solving this problem. With respect to matters vibroacoustic diagnostics units and mechanisms for forestry machinery even received quite reliable data, the main issue is the question of classification. To include this data, which class (image).

Determination of deterioration connection "piston – liner" when vibroacoustic diagnostics engine machines for forestry machinery is mitigated by a number of indirect (side) parameters: amplitude, power spectrum, phase, etc. Getting a clear diagnosis (classification) is a fairly urgent task, especially from the perspective of automation decision.

System status describes the set of parameters for technical condition of vehicles Forestry works that define it. Recognition of the system is possible by classifying it as one of the all classes (diagnoses). The number of diagnoses (classes, typical conditions, standards) depends on the particular tasks and objectives of the study.

Most simply adapted methods for multidimensional system of minimum risk and the greatest likelihood method. In cases where the method of statistical solutions need to define the boundary decision, estimated side task much more difficult. Therefore, to consider simplifying the process of recognition of the presence of one diagnostic parameter – phase occurrence vibration shot link.

Key words: image, recognition range, amplitude, energy balance, credibility, precedent.

References

1. Titova, L. L. Sovershenstvovanye systemy vosstanovleniya rabotosposobnosti mashyn dlja lesotehnycheskyh rabot / L. L. Titova, I. L. Rogovskii // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – 2015. – Tom 17, №3. – P. 253–264.
2. Titova, L. L. Klasyfikacija mashyn dlja lisotehnichnyh robit za normatyvnoju periodychnistju vidnovlennja i'h pracezdatnosti / L. L. Titova, I. L. Rogovskii // Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka. – H.: HNTUSG, 2015. – Vyp. 167. – S. 243–249.
3. Titova, L. L. Algorytm rozpodilu ob'jemiv vidnovlennja pracezdatnosti mashyn dlja lisotehnichnyh robit / L. L. Titova, I. L. Rogovskii // Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka. – H.: HNTUSG, 2015. – Vyp. 167. – S. 290–296.
4. Nadtochij, O. V. Teoretychni spektry vibroakustychnyh sygnaliv CPG i i'h zv'jazok z tryvalistju udariv / O. V. Nadtochij, L. L. Titova // Naukovyj visnyk Nacional'nogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrai'ny. Serija: tehnika ta energetyka APK. – K., 2016. – Vyp. 241. – S. 151–159.
5. Gorban, A. N. Nejrynformatyka / A. N. Gorban, D. A. Rossyev, A. N. Kyrbyn. – Novosybyrsk: Nauka, 1998. – 304 s.