

Аулін В.В.,  
Гриньків А.В.  
Кіровоградський національний технічний  
університет  
e-mail: Aulin@mail.ru

**МЕТОДИКА ВИБОРУ ДІАГНОСТИЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ  
ТЕОРІЇ СЕНСИТИВІВ**

УДК 629.083

***Анотація.** Системи, агрегати і транспортні засоби в цілому розглянуто, як функціональні системи, що мають вхідні внутрішні параметри, що контролюються під час діагностики і зовнішні параметри експлуатації, що характеризуються технічним обслуговуванням та на вихідні функціональні параметри їх надійності. Для таких складних систем запропоновано використовувати теорію сенситивів, яка дозволяє оцінити міру відносної чутливості функції діагностичного параметру по відношенню до функції надійності досліджуваного технічного об'єкта. В якості прикладу взято коробку перемикачів передач автомобіля КамАЗ – 4310. Показано, що сенситиви діагностичних параметрів технічного стану агрегату відображають їх інформативність та значимість під час, що і рекомендується використовувати під час вибору та контролю систем і агрегатів транспортних засобів.*

***Ключові слова:** теорія чутливості, сенситив, діагностичний параметр, функція надійності.*

**Вступ** Сучасні технічні системи, агрегати і транспортні засоби (ТЗ) мають складну конструкцію та повинні мати високий рівень надійності на протязі всього періоду експлуатації. Даний рівень надійності повинен забезпечуватися не тільки конструктивними та технологічними методами, а також експлуатаційними, які ґрунтуються на програмах технічного обслуговування транспортних засобів [1]. Ефективне технологічне обслуговування повинно відповідати технічному стану, що контролюється діагностичними параметрами, а їх вибір має широкий перелік. Не кожен діагностичний параметр вносить однакове інформативне значення про технічний стан та надійність систем, агрегатів та ТЗ, а тому на даному етапі розвитку технічної експлуатації є потреба у розробці методу вибору найбільш інформативних діагностичних параметрів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теорія чутливостей функції станів технічних систем, яка складається з теорії абсолютної і відносної (сенситив) чутливостей має важливе значення в досліджуванні проблеми надійності транспортних засобів (ТЗ) та володіє широким колом можливостей, вкрай необхідних для розв'язання різних технічних задач [2].

Теорія чутливостей та еластичності розвивалася в роботах Дж. Гудвіна, Б.Н. Петрова, П.Д. Крутька, Р.М. Юсупова, Ф.М. Захаріна, Р.Томовіча та ін.

Б.Н. Петров та П.Д. Крутько розв'язували окремі задачі ідентифікації невідомих параметрів звичайних диференціальних рівнянь, збурюючих впливів та початкових умов при неповному лінійному спостереженні фазових координат в дискретні моменти часу. Вони вказують на можливості ідентифікації нестационарних параметрів та приводять класи задач теорії управління системами.

Р.М. Юсупов та Ф.М. Захарін [3,4] розглянули умови ідентифікації невідомих параметрів звичайного диференціального рівняння, збурюючих впливів, початкових умов та питання покращення коректності зворотніх задач, а також отримання рішення у вироджених випадках.

В монографії Р.Томовіча та М.Вукобратовіча [5] в основному розглядається теорія абсолютної чутливості та її прикладні аспекти.

Теорія сенситивів розроблена А.Г. Кузьменком [6], за допомогою якої він вирішував задачі точності математичних моделей процесів тертя та зношування та вимірювання триботехнічних характеристик. Вона має істотні переваги і широкі аспекти застосування, але потребує розв'язання ряду питань щодо її використання у вирішенні важливих технічних проблем і задач, серед яких на увагу заслуговують оцінка технічного стану, надійності об'єкта та еволюція закономірностей його розвитку за діагностичною інформацією.

**Постановка проблеми.** Ефективне розв'язання проблем технічної експлуатації ТЗ здійснюється за рахунок використання нових стратегій технічного обслуговування (ТО), які ґрунтуються на основі контролю технічного стану та оптимізації технологічних процесів і параметрів експлуатації. Інформаційною базою оптимізації при цьому слугують показники надійності елементів систем та агрегатів ТЗ, що можливо оцінити під час їх процесу діагностування. Використання діагностичних даних дозволяє вивчити закономірності забезпечення працездатності із здійсненням перебудови стратегії та системи ТО. Вибір діагностичних параметрів для оцінки технічного стану систем та агрегатів ТЗ є важливою науково технічною проблемою, яка потребує розв'язку.

**Мета публікації.** На основі теорії сенситивів розробити методику вибору діагностичних параметрів для оцінки технічного стану систем і агрегатів транспортних засобів.

**Використання теорії сенситивів в описі технічного стану транспортних засобів.** Під сенситивом будемо розуміти залежність часткових параметрів технічного стану об'єкта від контрольованого параметру. Проблема сенситивів в той чи інший постановці формувалася в теорії чутливості та похибок, в обчислювальній математиці, в теорії розрахунково-обчислювальній техніці, теорії електричних ланцюгів і т.д [6].

Важливою задачею в технічній експлуатації ТЗ є вибір набору параметрів діагностування, який оптимально описує систему технічних станів ТЗ для встановлення можливості її контролю. Якщо позначити через  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$  вектори діагностичних параметрів, що характеризують властивості технічної системи в експлуатації, то функціональну схему технічної системи можна відобразити у вигляді взаємодії сукупності внутрішніх параметрів, параметрів умов та функціональних параметрів експлуатації (рис.1).

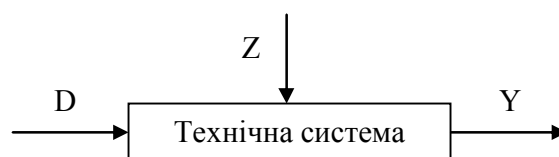


Рис. 1 – Функціональна схема технічної системи станів ТЗ:  
D – сукупність внутрішніх (діагностичних) параметрів, Z – сукупність параметрів умов експлуатації та технічних впливів, Y – сукупність функціональних параметрів

Можна бачити, що в системі спостерігається складна взаємодія сукупностей різномірних параметрів, які потребують математичної інтерпретації та узагальнення можливих зв'язків, щоб більш якісно проводити контроль та моніторинг технічного стану ТЗ. В загальному вигляді функціональні параметри можна подати у вигляді функцій для прямих зв'язків:

$$y_i = f(D_i, \alpha_i, z_i, \delta_i), i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

а для зворотних зв'язків, що пов'язані з надійністю ТЗ та проведенням операцій технічних обслуговувань, подається у вигляді наступних функцій:

$$y_i = f(D_i, \beta_i, \tilde{z}_i, \gamma_i), i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де  $\tilde{z}_i$  - збурення параметрів керування технічним станом при зворотному зв'язку,  $\gamma_i$  - параметри прийняття рішень, стосовно технічної експлуатації.

За умов фіксованих математичних моделей виразів (1), (2) технічний стан системи визначається вибором технічних параметрів  $\alpha_i$ , умов експлуатації  $\beta_i$ , похибок вимірювання  $\delta_i$ , параметрів прийняття рішення -  $\gamma_i$ .

Оскільки через  $\alpha_i, \beta_i$  позначено сукупність технічних та експлуатаційних параметрів, а сукупність станів об'єкту зводимо в один вектор  $\vec{Y}$ , то за різних умов значення технічного стану буде описуватися, складною векторною функцією:

$$\vec{Y} = (\vec{\alpha}, \vec{\beta}, \vec{\gamma}, \vec{\delta}). \quad (3)$$

Зміна будь-якого діагностичного параметру буде вносити деяку мінливість в інформацію для визначення технічного стану ТЗ, який характеризує його функціональні властивості. Умову нормального функціонування ТЗ з урахуванням векторної функції (3) можливо відобразити у вигляді співвідношення множин:

$$R(\vec{Y}) \subset M_y, \quad (4)$$

де  $R(\vec{Y})$  - простір векторів значень технічного стану  $\vec{Y}$ , який ТЗ може набувати під час експлуатації.  $M_y$  – множина працездатних станів для технічної експлуатації ТЗ.

Виходячи із співвідношення (4) множин значень технічного стану ТЗ, можна бачити, що для забезпечення працездатного стану необхідно постійно контролювати параметри, які максимально описують технічний стан ТЗ в даних умовах експлуатації. Контроль умов експлуатації ТЗ важко та енергозатратно контролювати і враховувати динамічну зміну технічного стану, тому що нестационарні технічні системи, агрегати ТЗ можуть на певному проміжку часу знаходитись в різних експлуатаційних умовах [7]. Значення похибки діагностичного параметру є також немаловажливий фактор, що впливає на ТО систем, агрегатів ТЗ. Прийняття рішень та використання різномірних стратегій відновлення працездатного стану ТЗ потребують теоретичного обґрунтування, з описом та врахуванням усіх факторів, які спостерігаються під час експлуатації, та характеру зміни технічного стану систем, агрегатів і ТЗ в цілому.

При розв'язанні зазначених проблем доцільне використання теорії сенситивів, яка є новим математичним апаратом аналізу та наукового синтезу теоретичних моделей різномірних факторів та технічних параметрів.

Зручність і ефективність використання теорії сенситивів впливає із узагальнення властивостей самих сенситивів:

- сенситив будь-якої функції є безрозмірною величиною;
- постійний множник перед функцією не впливає на її сенситив;
- сенситив степеневій 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 можна дотримуватись та використати при аналізі бази даних про технічний стан агрегатів і систем ТЗ. У роботі [6] розроблено ефективний метод оцінки похибок, який можна використати для обчислення параметрів контролю технічного стану ТЗ. Математична сутність підходу полягає у використанні сенситиву функції як відношення відносного приросту функції до відносного приросту аргументу:

$$\text{sen } y(x) = y^s(x) = \frac{dy(x)}{y(x)} \cdot \frac{x}{dx} = \frac{dy(x)}{dx} \cdot \frac{x}{y(x)}. \quad (5)$$

Приведену форму представлення сенситиву можна використати для оптимальної оцінки будь-якого параметру, який необхідно піддавати контролю при визначенні технічного стану ТЗ. Взавши за основу вираз (5), можна визначити коефіцієнт чутливості кожного діагностичного параметру технічного стану системи та агрегатів ТЗ. З урахуванням функціональних параметрів технічного стану ТЗ, маємо наступний частинний сенситив:

$$\text{sen } y_i(\alpha_i) = \frac{y_i'(\alpha_i)}{y_i} \cdot \alpha_i = f'_{\alpha_i}(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i) \cdot \frac{\alpha_i}{f(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i)} \quad (6)$$

**Розробка методики вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів.** Загальною функцією функціональних параметрів технічного стану систем і агрегатів ТЗ є функція надійності. Якщо розглядати коробку перемикачів передач автомобіля КамАЗ - 4310, як складну технічну систему, то функція надійності  $P(L)$  (ймовірність безвідмовної роботи) буде залежати від пробігу ТЗ. В якості контрольованих параметрами, що необхідно проаналізувати, візьмемо термоокислювальну стабільність  $T_s$  і діелектричну проникність  $\varepsilon$  робочої оливи. Зазначені два параметра в загальному випадку можуть контролювати технічний стан силового агрегату автомобіля.

Використавши методику реалізації методу сенситивного аналізу, отримаємо частинні сенситиви по кожному з контрольованих параметрів на різних періодах пробігу. Зробимо спробу теоретично отримати розрахунковий вираз сенситивів функції надійності по розглянутим параметрам.

Функцію контрольованого параметру термоокислювальної стабільності оливи та загальну функцію надійності ТЗ можна вважати параметрично заданими:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= T_s(L) \\ y_i &= P(L) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Використовуючи правила знаходження сенситиву і його властивості для термоокислювальної стабільності відносно надійності агрегату, на певному пробігу, дорівнює:

$$\text{sen } P_{T_s}(L) = \frac{P(L)'}{T_s(L)'} \cdot \frac{T_s(L)}{P(L)} = \frac{\frac{dP}{dL} \cdot T_s(L)}{\frac{dT_s}{dL} \cdot P(L)}. \quad (8)$$

Аналогічно параметрично заданими можна вважати і функцію діелектричної проникності оливи відносно загальної функції надійності:

$$\left. \begin{aligned} x_j &= \varepsilon(L) \\ y_j &= P(L) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Відповідно чутлив на певному пробігу для діелектричної проникності відносно надійності агрегату дорівнює:

$$sen P_{\epsilon}(L) = \frac{P(L)'}{\epsilon(L)'} \cdot \frac{\epsilon(L)}{P(L)} = \frac{\frac{dP}{dL} \cdot \epsilon(L)}{\frac{d\epsilon}{dL} \cdot P(L)} \quad (10)$$

Експериментальні дані, щодо технічного стану коробки перемикачів автомобіля КамАЗ – 4310, з його пробігом, та відповідно розраховані частинні сенсетиви і зведені до таблиці 1. Математичні моделі функцій на ПК вибирали таким чином, щоб коефіцієнти апроксимації були більше  $> 0,95$ .

Аналізуючи таблицю 1, бачимо, що частинний сенсетив  $sen P_{T_s}(L)$  має від'ємні значення. Це свідчить про те, що діагностичний параметр  $T_s$  має спадаючий характер з пробігом автомобіля. Частинний сенсетив  $sen P_{\epsilon}(L)$  має додатні значення, які стрімко зростають з пробігом автомобіля. Це свідчить, про зростання діагностичного параметру  $\epsilon$  працюючої оливи з пробігом автомобіля.

Таблиця 1.

**Зведена таблиця експериментальних даних визначення діагностичних параметрів технічного стану коробки передач автомобіля КамАЗ – 4310, функції надійності та її частинних сенсетивів по вибраних параметрах**

| L,<br>тис.<br>км | Експериментальні значення температури спалаху оливи $T_s(L)$ | Зміна функції $T_s(L)$ від пробігу автомобіля | Експериментальні значення діелектрична проникність оливи $\epsilon(L)$ | Зміна функції $\epsilon(L)$ від пробігу автомобіля | Оцінка надійності агрегату (ймовірність безвідмовної роботи) | Зміна функції надійності від пробігу автомобіля $P(L)$ | Сенсетив       |                     |
|------------------|--|---|--|--|--|--|----------------|---------------------|
|                  |  |   |  |  |  |  | $sen_{T_s}(L)$ | $sen_{\epsilon}(L)$ |
| 5                | 225  | $T_s(L)=226,52e^{-0,01L}$<br>$R^2=0,097$      | 2,577  | $\epsilon(L)=0,047 \ln L + 2,4$<br>$R^2=0,983$     | 0,992  | $P(L)=0,00015L^3 + 0,010432L + 1,002$<br>$R^2=0,983$   | -2,282         | 5,992               |
| 15               | 223  |   | 2,62   |  | 0,984  |  | -12,982        | 94,904              |
| 25               | 222  |   | 2,64   |  | 0,9759   |  | -37,612        | 419,711             |
| 35               | 219  |   | 2,664  |  | 0,9679   |  | -79,616        | 1151,24             |
| 45               | 218  |   | 2,68   |  | 0,9719   |  | -143,13        | 2433,38             |
| 55               | 217  |   | 2,69   |  | 0,9719   |  | -234,34        | 4442,72             |

Порівняльним аналізом абсолютних значень сенсетивів можна визначити найбільш впливовий діагностичний параметр на функцію надійності від пробігу автомобіля, тобто можна визначити ступінь чутливості діагностичних параметрів на технічний стан агрегату і автомобіля в цілому. Характер зміни абсолютних значень частинних сенсетивів  $sen P_{T_s}(L)$ ,  $sen P_{\epsilon}(L)$  наведено на рис. 2.

Можна бачити, що інтенсивність зміни абсолютних значень величини сенсетиву  $sen P_{\epsilon}(L)$  більші від абсолютних значень величини  $sen P_{T_s}(L)$ , а отже діагностичний параметр  $\epsilon(L)$  є більш інформативний для внутрішнього технічного стану агрегату, дослідженого в даній роботі.

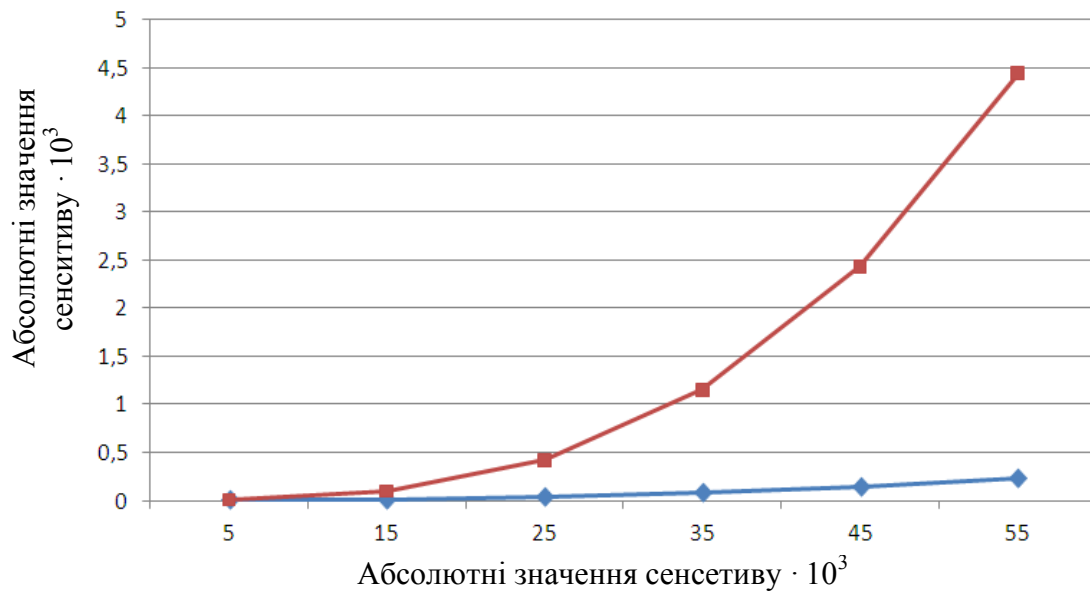


Рис.2 – Залежність сенсетиву діагностичного параметру агрегату від пробігу автомобіля: —◆— сенсетив температури спалаху оливи, —■— сенсетив діелектричної проникненості оливи.

### Висновки

1. Системи, агрегати і ТЗ в цілому, розглянуто як функціональну систему, що має вхідні внутрішні параметри системи, зовнішні параметри умов експлуатації і технічних впливів на систему, а на виході отримуємо функціональні параметри надійності системи.
2. Запропоновано для реалізації поставленої мети в роботі використовувати теорію сенсетивів, що дозволяє оцінити міру відносної чутливості функції по відношенні до приросту аргументу. У технічних об'єктах за цільову функцію можна прийняти зміну значень показників надійності, а в якості аргументів - діагностичні параметри.
3. Розглянуто метод вибору діагностичних параметрів термоокислювальної стабільності оливи та діелектричної проникненості для коробки перемикачів передач автомобіля КамАЗ-4310. Результати досліджень зведено до таблиці 1 і отримано функції регресії з відповідними коефіцієнтами кореляції. Також дано дані про надійність автомобілів відносно їх пробігу.
4. На основі теорії сенсетивів показано, що діагностичний параметр такий, як діелектрична проникність оливи більш інформативний по відношенню до функції надійності автомобілів ніж температура спалаху у відкритому тиглі,

### Литература

1. Аулін В.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегії технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, А.В. Гриньків // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування. – 2015. - № 28. С126-131.
2. Аулін В.В. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості /В.В. Аулін, А.В. Гриньків, Т.М. Замота// Вісник інженерної академії наук України - №3, 2015. С 66 – 73.
3. Захарин Ф.М. Прямые и обратные задачи теории чувствительности/Ф.М.Захарин, Р.М.Юсупов, В.И.Городецкий, В.М.Пономарев// АН СССР. – Техническая кибернетика, 1971. - №5 – С.177-187.

4. Юсупов Р.М. Элементы теории испытания и контроля технических систем: Монография/Р.М. Юсупов. – Ленинград: Энергия, 1978 – 420с.
5. Томович Р. Общая теория чувствительности. / Р.Томович, М. Вукобратович Пер. с серб. и с англ. под ред. Я.З. Цыпкина, - М. Советское радио, 1972. – 240 с.
6. Кузьменко А.Г. Теоретическая и экспериментальная трибология. В 12т. Т.7 Надежность узлов трения по прочности и износу: монография/ А.Г.Кузьменко. – Хмельницкий: ХНУ, 2011. – 391с.
7. Аулін В.В. Інформаційне забезпечення зміни технічного стану дизелів засобів транспорту/В.В. Аулін,О.Ю. Жулай//Вісник інженерної академії наук України - №1, 2011. С166 – 172.

## Summary

**Aulin V.V, AV Hrynkiv.** Method of choice diagnostic parameters technical condition of vehicles based on the theory sensitive

*Effective problem solving technical operation of vehicles is carried out through the use of new maintenance strategies, based on based control and optimization of processes and operation parameters. Informative base while optimizing performance are the reliability of systems and units of vehicles, which may evaluate them during the process of diagnosis. Selecting diagnostic parameters for assessing technical condition is an important technical challenge operation.*

*The method of selection of informative diagnostic parameters based on the theory of functions of state sensitive technical objects.*

*The functional system that has a function on the input of diagnostic parameters and technical state of recovery during maintenance operations, and the output function is implemented safety systems, vehicle unit. Using the theory to assess the sensitivity of the tool relative to the growth of argument provides an estimate sensitivity of diagnostic parameters with respect to the reliability of the system.*

*Experimental and calculated data tabulated by which examines the technical condition KAMAZ - 4310, and given the relative sensitivity coefficients diagnostic parameters. An allocation schedule reliability sensitive function unit for vehicle diagnostic parameters change with mileage [0 ... 55] thousand km .. Analysis graphical display sensitive given the opportunity to choose the diagnostic option that best responds to changes in the technical system reliability*

**Keywords:** Theory sensitive, sensitive, diagnostic parameter, function reliability.

## References

1. Aulin V.V. Problemi pIdvischennya ekspluatatsIynoYi nadIynostI ta mozhlivostI udoskonalennya strategIYi tehnIchnogo obslugovuvannya mobilnoYi sIlskogospodarskoYi tehnIki / V.V. Aulin, A.V. GrinkIv // ZbIrnik naukovih prats KIrovogradskogo natsIonalnogo tehnIchnogo unIversitetu: TehnIka v sIlskogospodarskomu virobnitstvI, galuzeve mashinobuduvannya. – 2015. - № 28. S126-131.
2. Aulin V.V. Zabezpechennya ta pIdvischennya ekspluatatsIynoYi nadIynostI transportnih zasoblIv na osnovI vikoristannya metodIv teorIYi chutlivostI /V.V. Aulin, A.V. GrinkIv, T.M. Zamota// VIsnik InzhenernoYi akademIYi nauk UkraYini - №3, 2015. S 66 – 73.
3. Zaharin F.M. Pryamyie i obratnyie zadachi teorii chuvstvitelnosti/F.M.Zaharin, R.M.Yusupov, V.I.Gorodetskiy, V.M.Ponomarev// AN SSSR. – Tehnicheskaya kibernetika, 1971. - №5 – S.177-187.

4. Yusupov R.M. Elementyi teorii ispytaniya i kontrolya tehniceskikh sistem: Monografiya/R.M. Yusupov. – Leningrad: Energiya, 1978 – 420s.
5. Tomovich R. Obschaya teoriya chuvstvitelnosti. / R.Tomovich, M. Vukobratovich Per. s serb. i s angl. pod red. Ya.Z. Tsyipkina, - M. Sovetskoe radio, 1972. – 240 s.
6. Kuzmenko A.G. Teoreticheskaya i eksperementalnaya tribologiya. V 12t. T.7 Nadezhnost uzlov treniya po prochnosti i iznosu: monografiya/ A.G.Kuzmenko. – Hmel'nitskiy: HNU, 2011. – 391s.
7. Aulln V.V. InformatsIyne zabezpechennya zmIni tehnlchnogo stanu dizellv zasoblv transportu/V.V. Aulln,O.Yu. Zhulay//VIsnik InzhenernoYi akademIYi nauk UkraYini - #1, 2011. S166 – 172.