

# **11. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ, ВУЗЛІВ, АГРЕГАТІВ, МАШИН ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЄЮ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ**

УДК 629.083

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМ ЗМАЩЕННЯ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**В.В. Аулін, д-р. техн. наук, проф.,**

**В.В. Слонь, асист.**

**О.М. Лівіцький, асист.,**

**А.В. Гриньків, канд. техн. наук,**

**Є.Г. Артюх, студ.,**

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

Конструктивне вдосконалення автомобілів, зокрема їх основного агрегату – двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), спрямоване на: забезпечення диференціації величини параметрів функціонування в залежності від мінливості умов і режимів експлуатації; підвищення технічного ресурсу при їх використанні за призначенням в заданих умовах експлуатації.

Прогресивне підвищення технічного і технологічного потенціалу автомобілів, їх енергетичних установок однозначно зумовлене конструктивними ускладненням механізмів, прецизійним виготовлення їх деталей і параметрів функціонування в передбачених нормативами режимах і умовах експлуатації.

В даний час стало очевидним, що використовувані засоби функціонального діагностування механізмів і систем, що визначають працездатність автомобілів, в цілому, не дозволяють з необхідною точністю, достовірністю встановлювати зміни технічного стану та правильність функціонування робочих процесів ДВЗ. Тому при загальному зростанні технічної надійності ДВЗ кращих зразків автомобілів збільшилась кількість прихованих відмов складних технічних систем.

Невідповідність технологічної спроможності методів і засобів діагностування щодо конструктивної складності механізмів основних систем автомобілів, прецизійне їх функціонування при мінливості режимів і умов експлуатації зумовлює зниження ефективності використання потенціалу споживчих властивостей машин.

Розв'язання розглянутого вище технічного протиріччя вимагає розробки нових методів і засобів діагностування, які за своєю технологічною здатні (точності, достовірності) повинні відповідати вимогам сучасної і перспективної техніки.

Основна мета роботи – це підвищення ефективності процесу діагностування систем змащення агрегатів автомобілів на основі реалізації нових методів і засобів їх тестового діагностування. В рамках роботи досліджували процеси діагностування технічного стану механізмів основних систем і агрегатів автомобілів на тестових режимах їх функціонування.

Для того, щоб встановити зв'язок діагностичних параметрів систем і агрегатів автомобілів з їх функціонуванням слід розглянути питання:

– концепція вдосконалення методів та засобів технічного діагностування основних систем ДВЗ;

– модель формування цільової функції забезпечення працездатності машин при використанні зовнішніх і вбудованих засобів діагностування;

– модель формування цільової функції по обґрунтуванню методів і засобів діагностування автотракторних ДВЗ;

- визначення ефективності використання системи технічної діагностики (СТД) з урахуванням їх універсальності і багатоканальності;
- розрахунок ефективності від впровадження вбудованого СТД.

Процес діагностування є складним технологічним процесом, в якому одні параметри є визначеними або заданими, другі – керуючими, треті являють собою випадкові фактори (рис. 1).

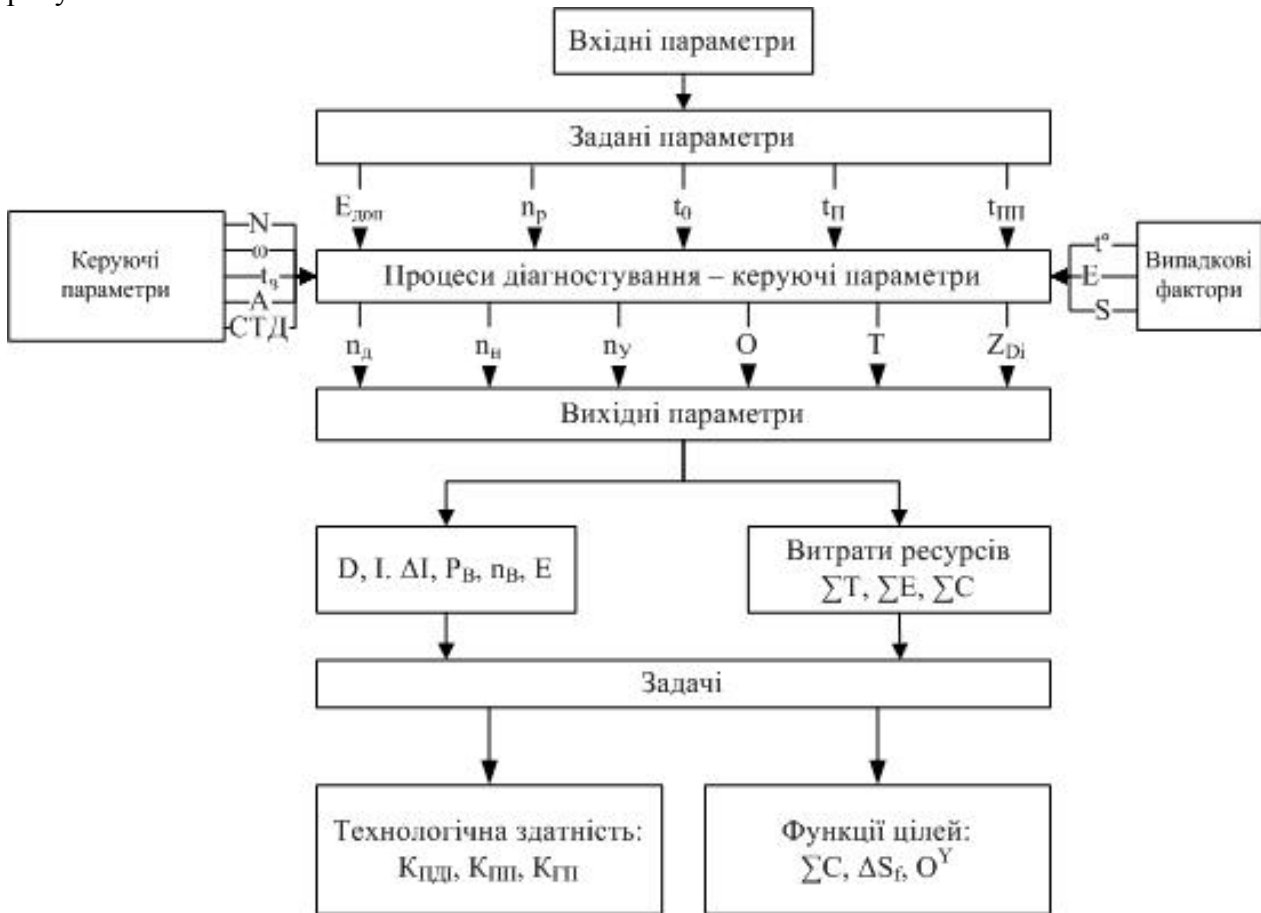


Рисунок 1 – Структурна схема взаємозв'язку параметрів в процесі діагностування силового агрегату автомобіля

До числа заданих параметрів відносяться:  $E_{\text{доп}}$  – допустиме відхилення діагностичних параметрів (ДП) (по ТУ);  $n_p$  – кількість діагностичних параметрів,  $t_0$  – мінімальна кількість дій при обробці діагностичної інформації;  $t_{\text{п}}$  – швидкість під'єднання СТД;  $t_{\text{пп}}$  – час підготовки і реалізації СТД.

Керуючими параметрами є:  $\omega$  – режим роботи ДВЗ (частота обертання);  $N$  – навантажувальний режим роботи ДВЗ;  $A$  – алгоритм діагностування; СТД – засіб технічного діагностування;  $t_b$  – час тестового впливу. Зміною цих параметрів у певних межах можна забезпечити необхідні оптимуми по точнісних показниках при діагностуванні.

До випадкових збурень відносяться:  $t^\circ$  – температура навколишнього середовища;  $E$  – рівень електромагнітних завад;  $S$  – ступінь впливу на результат діагностування технічного стану інших вузлів і механізмів ДВЗ.

До керованих параметрів відносять:  $n_d$  – кількість діагностичних операцій;  $n_n$  – додаткове число діагностичних параметрів нового СТД;  $n_y$  – число вузлів, механізмів, діагностування даними СТД;  $T$  – трудомісткість діагностування;  $O$  – помилки оцінки технічного стану;  $Z_{Di}$  – структура діагностичних операцій.

Якість технологічної системи, в тому числі змашувальної, визначають вихідні параметри:  $D$  – достовірність діагнозу;  $I$  – інформаційна ємність;  $\Delta I$  – втрати інформації у процесі передачі, прийому і обробки;  $P_b$  – ймовірність виявлення несправностей;  $n_b$  – число виявлених несправностей;  $E$  – якісний показник концентрації вихлопних газів, а також

витрати ресурсів:  $\Sigma T$  – витрати праці, люд-год;  $\Sigma E$  – витрати енергії, МДж;  $\Sigma C$  – витрати грошових коштів, грн.

Критерієм обґрунтування ефективності процесу діагностування є відшукання таких керуючих параметрів для кожної системи, які забезпечили б необхідну достовірність діагностування при мінімально можливих кількості вимірювань і витратах праці.

Зазначене, можна записати у вигляді цільових функцій:

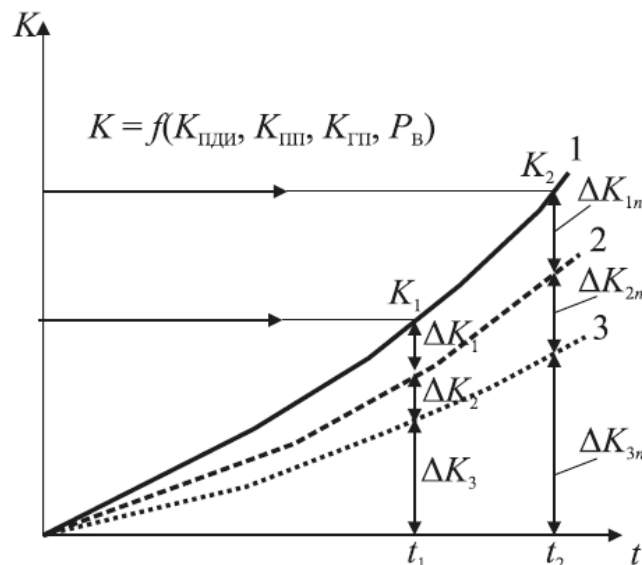
$$F_1 = f(E, \Delta I, \Sigma T, \Sigma E, \Sigma C) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$F_2 = f(D, I, P_B, n_B) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Вихідні параметри  $E, D, I, \Delta I, P_B, n_B, \Sigma T, \Sigma C, \Sigma E$  не можуть бути рівними нулю. Звідси випливає, що на ці вихідні параметри накладаються обмеження, які в узагальненому вигляді подаються функцією виду:

$$F = f(E, \Delta I, \Sigma T, \Sigma E, \Sigma C, D, I, P_B, n_B) > 0. \quad (3)$$

Керуючі параметри повинні мати межі, значення яких рекомендуються спеціальними дослідженнями та рекомендаціями, конструктивними особливостями СТД, що забезпечують поряд з необхідністю досягнення поставленої мети експлуатаційну надійність і довговічність СТД, тобто на керуючі параметри також накладаються обмеження. Вихідним завданням є визначення показників технологічної спроможності і функцій мети. Сучасний рівень конструктивного удосконалення систем автомобілів йде зі значним випередженням по відношенню до конструктивного вдосконалення СТД (рис. 2).



1, 2, 3 – відповідно показники конструктивного вдосконалення систем ДВЗ, перспективних СТД, традиційних СТД;  $\Delta K_1, \Delta K_{1n}$  – перевищення конструктивного рівня удосконалення систем ДВЗ над рівнем конструктивного вдосконалення перспективних СТД в момент часу  $t_1$  і  $t_2$ ;  $\Delta K_2, \Delta K_{2n}$  – перевищення конструктивного рівня вдосконалення перспективних СТД над рівнем конструктивного вдосконалення традиційних СТД в момент часу  $t_1$  і  $t_2$ ;  $\Delta K_3, \Delta K_{3n}$  – рівень конструктивного вдосконалення традиційних СТД в момент часу  $t_1$  і  $t_2$ .

Рисунок 2.2 – Залежність конструктивної досконалості системи ДВЗ і засобів технічного діагностування  $K$  від часу  $t$ , год

На рис. 2 можна бачити, що до моменту  $t_1$  тимчасового інтервалу показник конструктивного вдосконалення систем ДВЗ досягне рівня  $K_1$ , а до моменту часу  $t_2$  –  $K_2$ . Причому якщо використовувати традиційні методи і засоби діагностування (крива 3), то показники  $K_{\text{ПДД}}, K_{\text{ПП}}, K_{\text{ДП}}$  ймовірність виявлення несправностей  $P_B$  будуть на низькому рівні. Використання перспективних методів і засобів діагностування (крива 2) дозволяє підвищити показники контролепридатності та ймовірність виявлення несправностей.

Ймовірність виявлення несправностей у випадку регулярного процесу:

$$P_B = (1 - \delta) \cdot \alpha \cdot T_D, \quad (2.4)$$

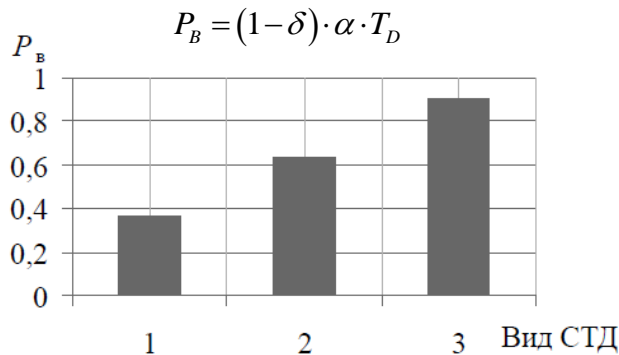
де  $\alpha = 1 / (T_{до} - T_D)$  – коефіцієнт пропорційності, що визначає сумарну трудомісткість діагностування при використанні існуючої і нової технологій, 1/люд-год;  $T_{до}$  – трудомісткість діагностування, включаючи по елементну, новими методами і засобами, люд-год;  $T_D$  – трудомісткість діагностування за існуючою технології, люд.-год.

Технологічну ефективність методів і засобів діагностування можливо подати коефіцієнтом технологічної ефективності:

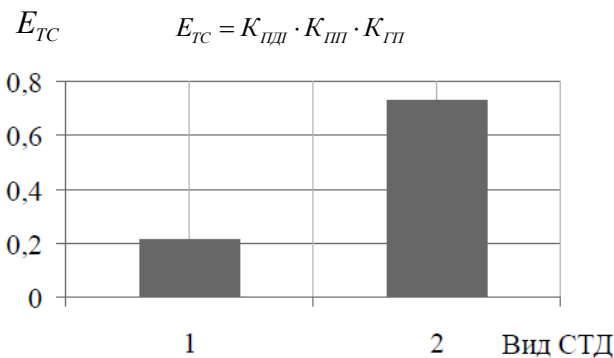
$$E_{ТС} = K_{пдд} \cdot K_{пш} \cdot K_{гп}, \quad (2.5)$$

де  $K_{пдд}$  – коефіцієнт повноти діагностичної інформації;  $K_{пш}$  – коефіцієнт повноти перевірки;  $K_{гп}$  – коефіцієнт глибини перевірки.

Підставляючи дані для різних СТД у вирази (4) і (5), побудуємо діаграми  $P_B$  і  $E_{ТС}$  від виду СТД (рис. 3).



а



б

Рисунок 3 – Залежності імовірності виявлення несправностей системи мащення  $P_B$  від виду СТД (а) і коефіцієнта технологічної ефективності методів і засобів діагностування системи мащення  $E_{ТС}$  від виду СТД (б)

При використанні тестових методів і засобів діагностування розглядалися наступні питання: алгоритм розробки тестових методів і засобів діагностування системи змащування ДВЗ автомобілів; методика та результати експериментальних досліджень способів та засобів діагностування системи змащення ДВЗ. Окремі елементи системи змащення розглядалися в процесі послідовного проходження через них масла. Заданий рівень навантаження на двигун забезпечувався шляхом відключення трьох циліндрів і навантаженням залишив в роботі одного циліндра відключенням кожного другого імпульсу форсунки або свічки запалювання при повністю відкритій дросельній заслінці на мінімально можливою частотою обертання колінчастого валу двигуна.

Основним приладом, який забезпечує режими навантаження підшипників КШМ, є вимикач електромагнітних форсунок. Для вимірювання пульсацій тиску використовувався датчик Д06М-3 (У2), що має робочий діапазон вимірювань 0,06–0,6 МПа, з цифровим тензопідсилювачем з коефіцієнтом посилення 1000. У центральній масляній магістралі за допомогою приладових коштів вимірювали осцилограму тиску.

При експериментальних дослідженнях корінних підшипників (на ДВЗ ЗМЗ-4062) була отримана залежність різниці мінімальних амплітуд тиску  $P_2 - P_1$ , МПа, двох сусідніх циклів при роботі першого циліндра (2, 3, 4-ї відключені) через цикл, з навантаженням і без навантаження від технічного стану першого корінного підшипника (величини зазору  $Z_K$ , мм) при частоті обертання колінчастого валу двигуна  $n = 880 \text{ хв}^{-1}$ , яка описується поліномом:

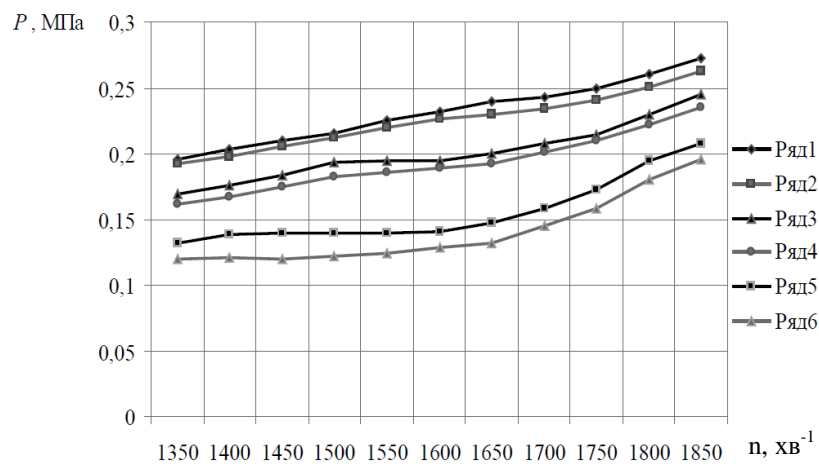
$$Z_K = 1.961 \cdot 10^5 \cdot (A_2 - A_1)^3 - 7.725 \cdot 10^3 \cdot (A_2 - A_1)^3 + 97.548 \cdot (A_2 - A_1)^3 - 0.28, \quad (2.6)$$

де  $P_2 - P_1$  – різниця мінімальних амплітуд тиску двох сусідніх циклів при роботі першого циліндра (2, 3, 4-й циліндри відключені) через цикл, з навантаженням і без навантаження, МПа;  $Z_K$  – зазор в корінній шийці, мм.

Проведені експериментальні дослідження по інших підшипників показали адекватність застосування виразу (2.6) до будь-яких корінним підшипникам даного двигуна.

При проведенні експериментальних досліджень по визначенню зв'язку технічного стану шатунних підшипників з величиною сигналу тиску було виявлено, що найбільш чутливим режимом, на якому вплив технічного стану шатунних підшипників максимально, є режим при частотах обертання колінчастого валу для  $n = 1300-1950 \text{ хв}^{-1}$  і навантаження для першого циліндра – 2, 3, 4-й циліндри вимкнені, перший циліндр працює при завантаженні потужністю механічних втрат трьох інших циліндрів. При цьому оціночним показником приймалася мінімальна амплітуда тиску в момент такту згоряння при роботі циліндра під максимальним навантаженням.

За даними багатофакторного експерименту були побудовані залежності мінімальної амплітуди тиску в момент такту згоряння від технічного стану корінного і шатунного підшипників на вибраних режимах діагностування, представлені на рисунку 4.



Ряд 1 при  $Z_{ш} = 0,05$  мм і  $Z_K = 0,09$  мм; ряд 2 при  $Z_{ш} = 0,10$  мм і  $Z_K = 0,09$  мм;  
 ряд 3 при  $Z_{ш} = 0,05$  мм і  $Z_K = 0,12$  мм; ряд 4 при  $Z_{ш} = 0,10$  мм і  $Z_K = 0,12$  мм;  
 ряд 5 при  $Z_{ш} = 0,05$  мм і  $Z_K = 0,15$  мм; ряд 6 при  $Z_{ш} = 0,10$  мм і  $Z_K = 0,15$  мм

Рисунок 4 – Залежність мінімальної амплітуди тиску  $P$ , МПа, від частоти обертання колінчастого валу двигуна  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$

При аналізі отриманих залежностей (рис.4) встановлено, що сумарний вплив технічного стану корінної і шатунної шийки характеризується порушенням лінійності зростання тиску. Причому із зростанням зазорів докорінної і шатунної шийки при їх взаємному впливі збільшується діапазон нелінійності тиску.

За даними багатофакторного експерименту було отримано загальне рівняння регресії, що зв'язує максимум нелінійності з величиною зазору докорінної і шатунної шийки:

$$Z_{ш} = (243.889 \cdot Z_K^2 - 68.217 \cdot Z_K + 4.97) \cdot \Delta P - (34.898 \cdot Z_K^2 - 8.076 \cdot Z_K + 0.467). \quad (7)$$

Проведені теоретичні, лабораторні та експлуатаційні випробування дозволили розробити нові засоби, методики та алгоритми діагностування бензинових і дизельних ДВЗ за параметрами пульсації тиску в центральній масляній магістралі.

Представлені алгоритми та технології тестових методів діагностування основних систем ДВЗ; ефективність реалізації розроблених тестових методів і засобів діагностування; економічна ефективність реалізації розроблених методів тестового діагностування системи живлення; економічна ефективність реалізації розроблених методів тестового діагностування системи змащування.

Аналіз показників оцінки існуючих і розроблених способів і засобів діагностування базувався на моделях, розроблених у другому розділі. Результати розрахунку показників оцінки існуючих та розроблених способів і засобів діагностування системи паливоподачі.

Аналогічні високі показники технологічної спроможності розроблених способів і засобів одержано для ДМРВ, системи змащування. У середньому розроблені діагностичні засоби дозволяють підвищити показники контролепридатності: час пошуку несправностей  $T$  зменшити в 1,2...5 разів; час підготовки МЕС до діагностування заданим числом фахівців  $T_B$  зменшити в 1,2...7 разів; коефіцієнт повноти діагностичної інформації  $K_{ПД}$ , коефіцієнт повноти перевірки справності  $K_{ПП}$  і коефіцієнт глибини пошуку дефекту  $K_{ГП}$  збільшити на 10...60 %; коефіцієнт використання спеціальних засобів діагностування  $K_{ІС}$  знизити за рахунок використання розроблених спеціальних СТД на 20...30 %.

Таким чином, розроблені способи і засоби тестового діагностування при реалізації у виробничих умовах підтвердили високу технологічну здатність при визначенні технічного стану механізмів систем живлення, змащення та управління, а також при практичній реалізації результатів дослідження підтвердили перевагу, оцінюючи техніко-економічними показниками, розроблених методів і засобів діагностування в порівнянні з існуючими.