

В. Б. Кононов, О. А. Кононова, Ю. Д. Мусаїрова

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕНЗИНОВИХ ТА ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВІЙСЬКОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИЛОВИХ УСТАНОВОК ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

**Анотація.** Розглядаються вимоги до систем та пристроїв діагностування привідних двигунів військових електростанцій і силових установок бронетанкової і автотракторної техніки, обґрунтовується необхідність врахування додаткових показників, які забезпечують необхідну глибину та повноту контролю. На прикладі розроблених оригінальних технічних рішень обґрунтовуються способи та пристрої оцінювання технічного стану двигунів внутрішнього згоряння шляхом визначення ступеня нерівномірності кутової частоти обертання, розглядаються шляхи підвищення точності процесу вимірювань миттєвої кутової частоти обертання, засновані на відмові від виконання операції диференціювання та на впровадженні систем автоматичного фазового підстроювання, при визначенні швидкості й прискорення, організації безперервних вимірювань, використання при проведенні вимірювань виключення одного з працюючих циліндрів для оцінки його внеску в результуючу виробляему потужність, врахуванні в процесі випробувань крутильних коливань, що виникають в пружній системі валопроводу і можуть вплинути на точність визначення кутових відрізків.

**Ключові слова:** привідний двигун об'єктів військової техніки, діагностування, ступінь нерівномірності кутової частоти обертання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При визначенні технічного стану привідних двигунів військових електростанцій і силових установок зразків озброєння і військової техніки можливо використовувати безліч параметрів [1-4], серед яких частіше за все використовують такі як питомі витрати палива, тиск та температура газів в циліндрах двигунів, температура вихлопних газів, миттєве значення частоти обертання вала двигуна тощо, причому з метою уточнення пошуку місця несправності крім загальної оцінки стану об'єкта діагностування проводять оцінювання стану окремих систем та агрегатів двигуна. Для порівняння різних варіантів систем діагностування прийнято [5-7] використовувати такі показники:

- імовірність помилки результатів діагностування  $P_{ij}$ , тобто імовірність того, що об'єкт знаходиться в технічному стані  $i$ , а по результатам діагностування вважається таким, що знаходиться в технічному стані  $j$ ;
- імовірність правильного визначення дійсного технічного стану об'єкта;
- середню оперативну тривалість діагностування  $\tau_{\partial}$ , яка дорівнює математичному очікуванню тривалості однократного діагностування;
- середні витрати на діагностування  $C_{\partial}$ , які дорівнюють математичному очікуванню витрат на однократне діагностування;
- середні працевитрати на виконання діагностування  $S_{\partial}$ , які дорівнюють математичному очікуванню працевитрат при проведенні однократного діагностування.

Зазначених показників в ряді випадків недостатньо при проведенні діагностування привідних дви-

гунів військових електростанцій і особливо силових установок зразків озброєння і військової техніки, а саме бронетанкової і автотракторної техніки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1, 2, 5-7, 16 -20] наводяться відомі теоретичні і практичні результати, які отримані іншими авторами за даним напрямом. Разом з тим, в відомих працях недостатньо уваги приділено вибору та обґрунтуванню додаткових показників, які слід враховувати при розробці систем діагностування зразків озброєння та військової техніки.

**Мета статті** – обґрунтування додаткових показників, які слід враховувати при виборі систем діагностування військових привідних двигунів, і обґрунтування технічних рішень, які дозволяють при їх реалізації досягнути бажаного результату і забезпечити отримання під час проведення діагностування необхідних параметрів, які дозволять отримати вимагаєму глибину, повноту та оперативність контролю.

### Виклад основного матеріалу

При проведенні діагностування привідних двигунів об'єктів військової техніки, крім вже зазначених показників, треба отримати показники, які дозволять забезпечити необхідну глибину та повноту контролю. Глибина контролю  $\lambda$  (глибина пошуку несправності) характеризує ту складову частину об'єкта діагностування, з точністю до якої визначається місце дефекту. Повнота контролю  $P_k$  оцінюється як відношення кількості інформації, яка отримується при кількості параметрів  $N_k$  до кількості інформації, яку можливо отримати по результатам діагностування по всім діагностичним параметрам  $N$ . При оцінюванні глибини контролю в якості показника пропонується імовірність правильного діагностування

$$D = 1 - \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 P_{ij}; \quad j \neq i, \quad (1)$$

де  $i \in \{1, 2\}$  - кількість технічних станів об'єкта діагностування, що розглядаються;  $j \in \{1, 2\}$  - кількість результатів оцінки технічного стану об'єкта, що розглядаються.  $P_{12}$  - імовірність помилки діагностування першого роду, тобто імовірність одночасної появи двох подій: об'єкт працездатний, а в результаті діагностування вважається непрацездатним,

$$P_{12} = \sum_{e=1}^k P_e^c P_{2e}^a P_{12e}^b, \quad (2)$$

де  $P_e^c$  - апіорна імовірність знаходження засобу діагностування в технічному стані  $e \in \{1, k\}$ ;  $P_{2e}^a$  - умовна імовірність отримання результату про те, що об'єкт знаходиться в непрацездатному стані при умові того, що засіб діагностування знаходиться в технічному стані  $e$ ;  $P_{12e}^b$  - умовна імовірність знаходження об'єкта в працездатному стані при умові, що отриманий результат про те, що об'єкт непрацездатний і засіб діагностування знаходиться в технічному стані  $e$ ;  $P_{21}$  - імовірність помилки другого роду, тобто імовірність одночасної появи двох подій, а саме об'єкт непрацездатний, а по результатах діагностування вважається працездатним,

$$P_{21} = \sum_{e=1}^k P_e^c P_{1e}^a P_{21e}^b, \quad (3)$$

де  $P_{1e}^a$  - умовна імовірність отримання результату про те, що об'єкт знаходиться в працездатному стані при умові, що засіб діагностування знаходиться в стані  $e$ ;  $P_{21e}^b$  - умовна імовірність знаходження об'єкта в непрацездатному стані при умові, що отриманий результат про те, що об'єкт працездатний, а засіб діагностування знаходиться в стані  $e$ .

Повнота контролю  $\Pi_k$  є такою

$$\Pi_k = \sum_{n=1}^{N_k} I_n / \sum_{n=1}^N I_n, \quad (4)$$

де  $n \in (1, N)$  - загальна кількість діагностичних параметрів;  $N_k$  - кількість параметрів, які контролюються;  $I_n$  - кількість інформації, яка отримується при діагностуванні об'єкта по параметру  $n$ .

В якості загального показника при виборі системи діагностування слід вибрати імовірність отримання правильного діагнозу  $V$ , яка пропорційна імовірності функціонування технічних засобів діагностування  $P_{зас}$ , повноті контролю  $\Pi_k$  й імовірності правильного діагностування  $D$ , тобто

$$V = P_{зас} \cdot \Pi_k \cdot D. \quad (5)$$

Виходячи з викладеного, обґрунтуємо запропоновані технічні рішення засобів технічного діагностування приводних двигунів об'єктів військової техніки. При визначенні як загального технічного стану привідних

двигунів об'єктів військової техніки, так і стану його окремих циліндрів, виходячи з необхідності правильного діагнозу і маючи на меті забезпечити необхідну повноту контролю в якості діагностичного параметра доцільно вибрати величину нерівномірності обертального моменту двигуна, яка проявляється в нерівномірності частоти обертання вала двигуна. Цей діагностичний параметр характеризує удосконаленість процесів перетворення хімічної енергії палива в тепло і далі перетворення тепла в механічну роботу в кожному з циліндрів двигуна, характеризує максимальні газові і інерційні зусилля, на цей показник впливають безліч чинників, які визначають роботу двигуна. В якості міри для оцінювання нерівномірності обертального моменту пропонується обирати ступінь нерівномірності частоти обертання вала  $\delta$ , для визначення цієї величини в [8] пропонується вимірювати приращення кутової частоти обертання від мінімального її значення до максимального в такті розширення для кожного  $i$ -го циліндра двигуна  $\Delta\omega_i'$ , вимірювати зменшення кутової частоти обертання вала від максимального її значення до мінімального в такті стискування для кожного з  $i$ -го циліндра двигуна  $\Delta\omega_i''$  й знаходити ступінь нерівномірності шляхом визначення відношень сум величин  $\Delta\omega_i'$  та  $\Delta\omega_i''$  до кількості циліндрів  $n$ , а значення  $\delta$  знаходити як відношення максимальної різниці з  $\Delta\omega_i'$  або  $\Delta\omega_i''$  до середнього значення цієї різниці, тобто визначити  $\delta$  з таких відношень:

$$\delta = \Delta\omega_i' \cdot n / \sum_{i=1}^n \Delta\omega_i'; \quad \delta = \Delta\omega_i'' \cdot n / \sum_{i=1}^n \Delta\omega_i''. \quad (6)$$

При отриманні таким чином оцінки стану окремих циліндрів обов'язково слід враховувати величину прискорення кутової частоти обертання вала  $\varepsilon$ , шляхом визначення похідної

$$\varepsilon' = \frac{d\Delta\omega_i'}{dt}; \quad \varepsilon'' = \frac{d\Delta\omega_i''}{dt}. \quad (7)$$

Отримані в такий спосіб результати мають низьку точність, пов'язану з недостатньою точністю визначення значень  $\Delta\omega_i'$ ,  $\Delta\omega_i''$ ,  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$ , обумовленою виконанням операції дискретного диференціювання. На наш погляд, при визначенні ступеня нерівномірності роботи циліндрів двигуна слід вимірювати інтервали часу на протязі яких відбувається поворот вала на заданий кут, який дорівнює куту повороту вала між моментами вприскування палива в сусідніх за порядком роботи циліндрів

$$t_i = \phi_{en} / \omega_i, \quad (8)$$

якщо вимірювати величину  $t_i$  шляхом підрахунку кількості імпульсів  $N_i$ , які поступають за час  $t_i$  з виходу генератора імпульсів, частота  $f_2$  якого стабільна, та величина  $N_i$  буде дорівнювати

$$N_i = \frac{t_i}{T_2} = \frac{\phi_{en}}{\omega_i} f_2, \quad (9)$$

де  $T_2$  - період слідування імпульсів з виходу генератора імпульсів. Оскільки значення миттєвої частоти

обертання вала, які відповідають робочому ходу поршня в тому чи іншому циліндрі двигуна неоднакові, оскільки потужність, яка розвивається циліндрами неоднакова, то час повороту вала  $t_i$  неоднаковий. Таким чином, при порівнянні величин  $N_i$  та  $N_{i+1}$  у відповідності до порядку роботи циліндрів визначається величина відносної ступені нерівномірності частоти обертання  $\bar{\delta}$

$$\bar{\delta} = N_i - N_{i+1} = \phi_{en} f_z (\omega_{i+1} - \omega_i) / (\omega_i \cdot \omega_{i+1}), \quad (10)$$

оскільки  $\delta = (\omega_{i+1} - \omega_i) / \omega_i$ , а  $\bar{\delta} = \delta \cdot f_z / \omega_{i+1}$ .

Значення  $\bar{\delta}$  зазвичай повинні знаходитися в діапазоні від 1/150 до 1/300 [2], що вимагає забезпечувати високу інструментальну точність при реалізації власне процесу вимірювань. Крім того, це вимагає враховувати інші чинники, які можуть впливати на результати вимірювань, а саме помилку, пов'язану з можливим закручуванням валопроводу під дією виникаючих крутильних коливань.

Розглянемо основні принципи електричної схеми вимірювачів ступеня нерівномірності частоти обертання, які дозволяють отримати вимагаєму точність результатів вимірювання [9-14]. При цьому основну увагу приділимо обґрунтуванню оригінальних технічних рішень, прийнятих при розробці вимірювачів миттєвої кутової частоти обертання вала.

На рис. 1 приведена принципова електрична схема пристрою для діагностики дизеля. Пристрій містить у своєму складі датчик положення верхньої мертвої точки поршня двигуна 1, формувач імпульсів 2, Т-тригер 3, диференціюючий блок 4 з'єднаний послідовно. При цьому диференціюючий блок 4 приєднаний до установочного входу розподільника імпульсів 8 першим нерухомим контактом перемикача 26. В пристрої використовується датчик кутового положення колінчатого вала 6, який через формувач імпульсів 7 з'єднаний зі входом множника частоти 8 та з сигнальним входом розподільного блока 5. Вихід множника частоти 8 з'єднаний з S-входом RS-тригера 9 та першим входом логічних елементів АБО 10 R-вхід RS-тригера 9 з'єднаний з виходом генератора імпульсів 12, а вихід RS-тригера 9 з'єднаний з входом активного фільтру 13 у складі трьох послідовно з'єднаних інтегруючих операційних підсилювачів 14, 15 та 16, охоплених зворотними зв'язками. Виходи розподільного блока 5 з'єднані з трьома іншими контактами перемикача 26 та чотирма нерухомими контактами перемикача 27. Рухомі контакти перемикача 26 з'єднані з R-входом RS-тригера 25 та з установочними входами лічильників 28 та 29. На форсунках двигуна установлені датчики 17-20, які з'єднані з нерухомими контактами перемикача 21, рухомий контакт якого з'єднаний зі входом підсилювача 22, вихід якого з'єднаний з сигнальним входом порогового елемента 23 і через дільник напруги 24 з'єднаний з додатковим входом порогового елемента 23, вихід порогового елемента 23 з'єднаний до другого входу елемента АБО 10 та до S-входу RS-тригера 25. Вихід RS-тригера 25 з'єднаний з другим входом елемента АБО 11, вихід якого з'єднаний зі входом лічильника 29.

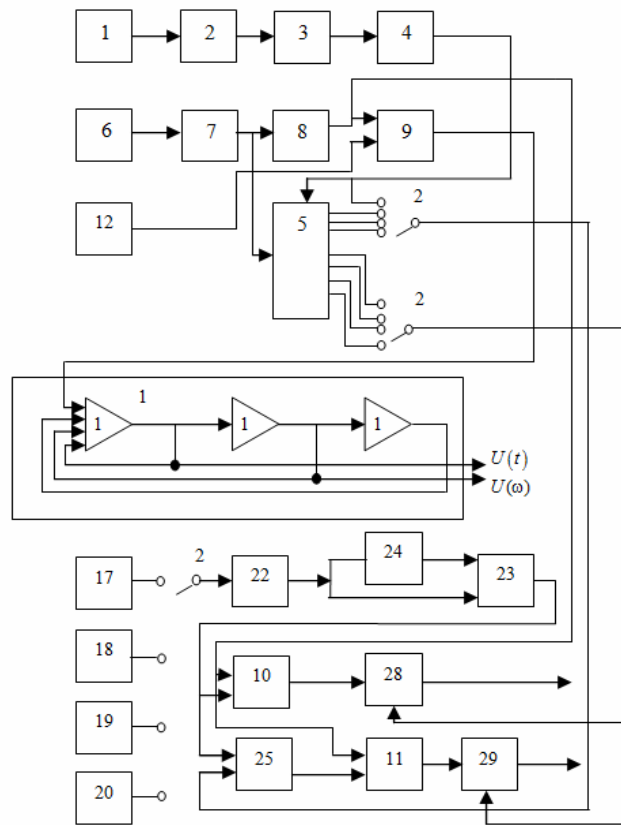


Рис. 1. Принципова електрична схема пристрою для діагностики дизеля

Пристрій працює таким чином. Перед початком вимірювань поршень першого циліндра встановлюється в положення, яке відповідає його стану в верхній мертвій точці. В цьому положенні здійснюється співпадіння положення датчика кутового положення колінчатого вала 6 з однією з кутових міток на колінчатому валі. Кількість кутових міток  $K$  за один оберт вала повинно бути вибрано таким, щоб вона була кратне кількості циліндрів двигуна  $n$ , тобто  $K = m \cdot n$ , де  $m$  - ціле число.

Датчик 1 на своєму виході формує імпульси при заході поршня в верхню мертву точку. Імпульси від датчика 1 через формувач імпульсів 2 поступають на вхід Т-тригера 3, при цьому кожний непарний імпульс встановлює на виході Т-тригера 3 сигнал високого рівня, а кожний парний імпульс встановлює на виході Т-тригера 3 сигнал низького рівня. В момент зміни сигналу на виході Т-тригера 3 з низького рівня на високий диференціюючий блок 4 формує імпульс, який поступає на установочний вхід блока 5. Таким чином на виході диференціюючого блока 4 формується один імпульс за два оберти вала, а саме формується імпульс в момент часу коли поршень першого циліндра заходить в положення верхньої мертвої точки в такті стискування.

Імпульси з виходу датчика 6 положення колінчатого вала через формувач імпульсів 7 подаються на вхід множника частоти 8. Частота слідування імпульсів з виходу датчика 8 визначається кутовою частотою обертання вала і зміна часових інтервалів між імпульсами з виходу формувача імпульсів 7 характеризує нерівномірність кутової частоти обертання вала. Імпу-

льсна послідовність з виходу множника частоти 8 подається на S-вхід першого RS-тригера 9, на R-вхід якого подаються імпульси з виходу генератора імпульсів 12, частота слідування яких обирається таким чином, щоб вона дорівнювала добутку номінальної частоти обертання на кількість міток  $K$  колінчатого валу і на коефіцієнт множення множника частоти 8. Тривалість імпульсів з виходу RS-тригера 9 пропорційна куту зсуву за фазою між дійсним і очікуваним положенням колінчатого валу двигуна.

Відмінною особливістю розглядаемого пристрою від відомих пристроїв такого типу є наявність в цьому пристрої активного фільтра 13, який містить три послідовно з'єднані інтегруючі операційні підсилювачі 14, 15 та 16, охоплені зворотними зв'язками таким чином, що їх результуюча передатна функція  $W(p)$  відповідає передатній функції ланки третього порядку

$$W(p) = K_1 / (ap^3 + bp^2 + cp + 1), \quad (11)$$

де  $K_1$  - коефіцієнт підсилення;  $a, b, c$  - коефіцієнти при змінних;  $p$  - оператор диференціювання.

Оскільки ланка, передатна функція якої описується виразом 11, має певну визначену смугу пропускання, її можна розглядати як фільтр. Напряга на виході операційного підсилювача 16 пропорційна поточному куту зсуву за фазою між дійсним й очікуваним положенням колінчатого валу. Це означає, що напряга на вході інтегруючого операційного підсилювача 16, тобто напряга на виході інтегруючого операційного підсилювача 15 пропорційна різниці між дійсною і розрахунковою кутовою частотою обертання валу. Оскільки це так, то напряга на вході інтегруючого операційного підсилювача 15, тобто напряга на виході першого операційного підсилювача 14 пропорційна прискоренню колінчатого валу, а активний фільтр є вимірювачем кута, кутової швидкості і кутового прискорення, в якому не використовуються блоки диференціювання, що підвищує точність вимірювань.

Вибір циліндра для проведення діагностування здійснюється установкою перемикачів 21, 26, 27 у відповідне положення. Для діагностування першого за порядком роботи циліндра перемикачі 21, 26 та 27, встановлюють в перше положення. Під час подачі палива в перший циліндр двигуна датчик вібрацій 17 встановлений на форсунці цього циліндра, формує сигнал який подається на вхід підсилювача 22. Підсилювач 22 підсилює сигнал, що надходить до його входу і здійснює його селекцію в смузі частот, яка відповідає максимальній інтенсивності коливань, що виникають при спрацюванні форсунок. Сигнал з виходу підсилювача 22 подається на сигнальний вхід порогового елемента 23 та на вхід дільника напруги 24, величина коефіцієнта передачі якого визначається максимальним значенням циклової нестабільності вібраційного сигналу і завжди менше одиниці. Пороговий елемент 23 спрацьовує і на його виході з'являється прямокутний імпульс, передній фронт якого відповідає моменту початку подачі палива, а задній фронт закінченню цього процесу. Сигнал з виходу порогового елемента 23 подається до другого входу першого елемента АБО 10 і до S-входу другого RS-тригера 25. На

перший вхід першого елемента АБО 10 поступає імпульсна послідовність з виходу множника частоти 8. На інтервалі часу, коли існує сигнал з виходу порогового елемента 23, кожен черговий імпульс з виходу множника частоти 8 подається на сигнальний вхід першого лічильника 25, в якому записується число, що пропорційне тривалості подачі палива в 1-й циліндр.

Сигнал з виходу порогового елемента 23 подається на S-вхід другого RS-тригера 25, переводить цей тригер в одиничний стан і через другу логічну схему АБО 11 кожний черговий імпульс з виходу множника частоти 8 подається на сигнальний вхід другого лічильника 29. Запис в лічильнику 29 припиняється в момент приходу імпульсу на R-вхід 2-го RS-тригера 25.

Перший 28 та другий 29 лічильник встановлюються в вихідний стан при появі сигналу на четвертому виході блока 5, до входу якого подається імпульсна послідовність з виходу другого формувача імпульсів 7.

Сигнали на першому, другому і третьому виході розподільного блоку 5 з'являються тоді, коли кількість імпульсів, що подається на його вхід дорівнює  $K/2$ ,  $K$  та  $3/2K$ . Сигнали на четвертому, п'ятому, шостому та сьомому виходах блока 5 з'являються тоді, коли кількість імпульсів, які поступають на його вхід відповідно дорівнює  $K/4$ ,  $3K/4$ ,  $5K/4$ ,  $7K/4$ . Сигнали на четвертому, п'ятому, шостому, сьомому виходах блока 5 забезпечують скидання першого 28 та другого 29 лічильників. Таким чином в запропонованому пристрої здійснюється діагностування паливної апаратури дизеля, а введення до складу пристрою активного фільтра дозволяє здійснювати оцінку ступеня нерівномірності частоти обертання, тобто дати оцінку стану окремих циліндрів двигуна.

Оригінальне технічне рішення побудови вимірювача частоти обертання прийнято при розробці пристрою для оцінювання нерівномірності роботи циліндрів двигуна внутрішнього згорання [10].

Принциповою особливістю цього пристрою, що дозволяє суттєво підвищити точність вимірювання кутової частоти обертання є використання в цьому пристрої системи автоматичного фазового підстроювання частоти при вимірюванні миттєвої кутової частоти обертання валу.

Ефект підвищення точності при використанні в пристроях діагностики систем автоматичного фазового підналаштування частоти досягається завдяки тому, що в цих системах кутову частоту керуемого генератора імпульсів при відсутності керуючої напруги на його вході  $\omega_0$  обирають свідомо меншою кутової частоти діагностуемого двигуна. Завдяки цьому кутовий відрізок пропорційний різниці частот  $\omega_{ном} - \omega_0$  зростає і підвищується точність визначення інтервалу часу, за який вал повернеться на кут між спалахами в сусідніх циліндрах. Це особливо важливо тому, що допускаємо значення ступеня нерівномірності  $\delta$  дуже мале і лежить в діапазоні  $1/300 \div 1/150$ .

Специфічною особливістю способу [11] визначення технічного стану двигуна внутрішнього згорання та пристрою, який реалізує цей спосіб, є його використання для двигунів, у яких є можливість виключа-

ти під час випробувань циліндри двигуна. За цим способом випробування виконуються при послідовному вимиканні одного із працюючих циліндрів. Під час випробувань вимірюють тривалість циклу для одного вимкненого і решти працюючих циліндрів. Вимірюється тривалість часу від моменту, що відповідає положенню вала в верхній мертвій точці в такті стискування на кутовому інтервалі, що відповідає куту між черговими спалахами в циліндрах. Далі знаходять зростання тривалості циклу при вимкненому циліндрі у порівнянні з середньою тривалістю робочого циклу при всіх працюючих циліндрах. По результатах порівняння роблять висновок щодо технічного стану двигуна та вважають циліндр несправним, якщо величина зростання тривалості циклу при вимкненому циліндрі менше величини середньої тривалості циклу  $t_{cp}$ , зменшеної в  $(n-1)(1+\overline{\delta_{don}})$  раз, де  $n$  - кількість циліндрів двигуна;  $\overline{\delta_{don}}$  - ступінь нерівномірності в відносних одиницях, яка допустима для даного типу двигуна. Вибір величини  $t_{cp}/((n-1)(1+\overline{\delta_{don}}))$  в якості показника для оцінювання технічного стану двигуна пояснюється наступним. Коли всі циліндри двигуна знаходяться в справному стані та їх внесок в роботу рівновеликий, тривалість циклу  $t_n$  в  $n$ -му відключеному циліндрі визначається як

$$t_n = (n/(n-1)) \cdot t_{cp}, \quad (12)$$

при цьому величина зростання тривалості циклу  $\Delta t$ :

$$\Delta t = t_{cp} - t_n = t_{cp}/(n-1). \quad (13)$$

Суттєвою особливістю пристрою для визначення нерівномірності роботи циліндрів двигуна внутрішнього згорання [12] є підвищення точності при визначенні технічного стану окремих циліндрів за рахунок врахування при проведенні випробувань впливу на результат вимірювання часу проходження кутових відрізків при повороті вала двигуна круглих коливань, які виникають в пружній системі валопроводу двигуна під час його роботи.

Оригінальне рішення корекції результатів вимірювання кутової частоти обертання запропоновано в пристрої для визначення нерівномірності роботи циліндрів двигуна внутрішнього згорання [13].

Особливістю роботи пристрою для оцінювання нерівномірності роботи циліндрів двигуна внутрішнього згорання [14] є дещо інший шлях врахування впливу круглих коливань на результати визначення миттєвих значень кутової частоти обертання.

До складу пристрою для оцінювання нерівномірності роботи циліндрів двигуна внутрішнього згорання входять датчик положення колінчатого вала, генератор імпульсів, селектори, вихідні індикатори та елемент затримки, введені датчик циклів, датчик верхньої мертвої точки, кількість яких дорівнює кількості циліндрів двигуна, перший з трьох виходами та другий з шістьма виходами розподільника імпульсів, перший з яких послідовно з'єднаний через перший та другий Т-тригери, які утворюють шифратор датчика циклів, власне з датчиком частот, а другий розподільник імпу-

льсьві з'єднаний через п'ять послідовно включених Т-тригерів, які утворюють шифратор датчика положення колінчатого вала, власне з цим датчиком.

Робота пристрою полягає в наступному. Виходячи з рівняння руху вала двигуна, яке в найпростішому випадку представлено рівнянням першого порядку

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_p - M_0, \quad (14)$$

де  $J$  - масовий момент інерції;  $M_p, M_0$  - моменти руху та опору, слідує, що у випадку незмінного моменту опору (незмінного навантаження) нерівномірність частоти обертання вала двигуна  $\omega$  обумовлена нерівномірністю моменту руху, тобто, якщо  $M_p < M_0$ , кутова частота  $\omega$  зростає і навпаки при  $M_0 > M_p$  кутова частота  $\omega$  падає.

Порівнюючі миттєві значення кутової частоти обертання на інтервалах часу, що дорівнюють часу повороту вала в такті робочого ходу на кут, який відповідає куту між спалахами в циліндрах за порядком їх роботи, робиться висновок про стан кожного з циліндрів. Випробування проводять при незмінному навантаженні. Колінчатий вал двигуна встановлюють в таке положення, коли зубець датчика положення колінчатого вала суміщений з однією із відміток, які закріплені на розподільчому валі двигуна. Такт роботи пристрою визначається датчиком циклів, який спрацьовує після фіксації моменту подачі палива в перший, за порядком роботи, циліндр двигуна.

## Висновки

1. При визначенні технічного стану привідних двигунів військових електростанцій та силових установок бронетанкової і автотракторної техніки в процесі вибору діагностичних параметрів, які дозволяють з'ясувати стан об'єкту, що діагностується, крім загальних вимог до способів і засобів діагностування слід враховувати такі вимоги як повнота, глибину та оперативність контролю.

2. Такий діагностичний параметр як нерівномірність кутової частоти обертання вала дозволяє оцінити досконалість процесів перетворення хімічної енергії палива в тепло і далі в механічну роботу, тобто дозволяє оцінити не тільки загальний стан двигуна, а також і стан його окремих циліндрів.

3. Для підвищення точності результатів вимірювання ступеня нерівномірності частоти обертання вала при розробці діагностичних пристроїв доцільно уникати операцій диференціювання при вимірюванні частоти і прискорення, використовуючи при цьому активні фільтри, побудовані на інтегруючих операційних підсилювачах, або для вимірювання кутів та кутових швидкостей обертання використовувати системи автоматичного фазового підстроювання частоти.

4. Для підвищення оперативності діагностування при розробці пристроїв діагностування слід запропонувати таку організацію проведення діагностування, яка дозволяє здійснювати вимірювання на працюючому двигуні і одночасно отримувати інформацію про стан кожного з циліндрів двигуна.

5. Дієвим способом оцінювання стану роботи окремих циліндрів є проведення вимірювань миттєвих значень кутової частоти обертання під час відключення одного з циліндрів двигуна.

6. Наведені технічні рішення пристроїв для оцінювання ступеня нерівномірності роботи двигуна дозволяють розробникам нових пристроїв діагностування спростити розробку пристроїв, що створюються.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы / В.Д. Мигаль. – Х.: Майдан, 2014. – 516 с.
2. Кононов Б.Т. Вибір показника для оцінювання технічного стану дизель-генератора / Б.Т. Кононов, О.І. Бондаренко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2017. – № 3(52). – С. 113-117.
3. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaiev, M. Mozhaiev; H. Kuchuk // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017. – 2017. – P. 359 – 362. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
4. Адамченко М.І., Березуцький В.В., Кучук Н.Г. Палант О.Ю. Загальносистемний ризик відмови системи після модернізації. *Системи обробки інформації*: збірник наукових праць. Х.: ХУПС, 2015. Вип.10 (135). С. 113-118.
5. Диагностика и техническое обслуживание машин / [Ананьин А.Д., Михлин В.М. и др.].— М.: Академия, 2008. – 432 с.
6. Кузнецов А.С. Техническое обслуживание и диагностика двигателя внутреннего сгорания. М.: Академия, 2011. – 80 с.
7. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобилей : справочное пособие в 6 томах. Том 4. Средства диагностирования (Книга 1)/ В.Д. Мигаль.—Х. :Майдан, 2012.—596 с.
8. Грачев В.В. Устройство для диагностирования дизеля / В. В. Грачев, А.П. Болдин. Авторское свидетельство СССР №1255889 от 06.02.1985, опубликовано 07.09.1986, БН №33
9. Григоров Н.И. Устройство для диагностирования дизеля / Н.И. Григоров, М.И. Загороднев, Б.Т. Кононов, С.Т. Поздняков, Б.Ф. Самойленко, К.Г. Сергеев, Ю.И. Стрелков. Авт. свид. СССР №1404867 от 21.11.1986. Опубликовано 23.06.1988. БН № 23.
10. Григоров Н.И. Устройство для оценки неравномерности работы цилиндров двигателя внутреннего сгорания / Н.И. Григоров, Б.Т. Кононов, В.З. Ройк, Б.Ф. Самойленко, К.Г. Сергеев, Ю.И. Стрелков, В.И. Терентьев. Авторское свидетельство СССР №1416882 от 19.09.1986. Опубликовано 15.08.1988. Бюл. № 30.
11. Григоров Н.И. Способ определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания / Н.И. Григоров, М.И. Загороднев, Б.Т.Кононов, В.З. Ройк, Б.Ф. Самойленко, К.Г.Сергеев, Ю.И.Стрелков. Авт. свид. СССР №1469384 от 20.08.1987. Опубликовано 30.03.1989, бюл. № 12.
12. Зайончковский В.Н. Устройство для определения неравномерности работы цилиндров двигателя внутреннего сгорания. / В.Н. Зайончковский, Е.Г. Заславский, Б.Т. Кононов, Б.Ф. Самойленко, А.Ю. Семенов, Ю.Н. Стрелков. Авторское свидетельство СССР №1474502 от 13.07.1987. Опубликовано 23.04.1989. Бюл. № 15.
13. Зайончковский В.Н. Устройство для определения неравномерности работы цилиндров двигателя внутреннего сгорания. / В.Н. Зайончковский, Е.Г. Заславский, Б.Т. Кононов, Ю.Н. Стрелков. Авторское свидетельство СССР №1590949 от 20.03.1988. Опубликовано 15.10.1990. Бюл. № 33.
14. Кононов Б.Т. Пристрій для оцінювання нерівномірності роботи циліндрів двигуна внутрішнього згорання / Б.Т. Кононов, О.А.Кононова, А.О.Нечаус, О.О. Ручка, В.М. Уваров. Патент України на корисну модель № 126897. Заявлено 01.02.2018, опубл. 10.07.2018, бюл. № 13.
15. Кононов Б.Т. Отметчик верхней мертвой точки в цилиндре двигателя внутреннего сгорания / Б.Т. Кононов, Л.М. Крутий, В.Г. Рыкун, В.Н. Терентьев. Авт. Свид. СССР №1063782 от 06.10.1982. Опубл. 30.12.1983. БН№48
16. Вихерт П.М. и др.. Конструкция и расчет автотракторных двигателей. – М.: Машиностроение, 1964. – 552 с.
17. Дизели. Справочник. Под ред. В.А. Ваншейдта и др. – Л.: Машиностроение, 1964. – 600 с.
18. Дизели. Справочник. Под общ. ред. В.А. Ваншейдта и др. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
19. Орлин А.С. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей. – М.: Машиностроение, 1972. – 464 с.
20. Белов П.М. и др. Двигатели армейских машин. Часть 2. Конструкция и расчет. – М.: Воениздат, 1972. – 561 с.

Received (Надійшла) 20.01.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.04.2020

### Substantiation of requirements for modern methods and means of determining the general technical condition of gasoline and diesel engines of military power plants and power installations of weapons and military equipment

V. Kononov, O. Kononova, Yu. Musairova

**Abstract.** In this article the requirements for systems and devices of diagnostics of driving engines of military power plants and power installations of armored and autotractor engineering are considered, the necessity of taking into account additional indicators providing the necessary depth, completeness and efficiency of control is substantiated. Based on the example of the original technical solutions, methods and devices for estimating the technical state of internal combustion engines by determining the degree of non-uniformity of the angular rotational frequency are substantiated, which allows to evaluate the perfection of processes of conversion of chemical energy of fuel into heat and further into mechanical work, is not only the state of motion as well as the condition of its individual cylinders, the ways of improving the accuracy of the process of measuring the instantaneous angular rotation speed are considered, based on the refusal of performing the differentiation operation and on the introduction of systems of automatic phase frequency tuning in determining the speed and acceleration, organization of continuous measurements. It is proposed to perform measurements on the running engine and at the same time to obtain information on the status of each of the engine cylinders, use when measuring the shutdown of one of the working cylinders to evaluate its contribution to the resulting power output, taking into account in the process of testing the torsional vibrations that may occur in the system. affect the accuracy of determining the angular segments. It is suggested to use the technical solutions of the devices to evaluate the degree of unevenness of the engine, which allow to simplify the development of the devices being created.

**Keywords:** the driving engine of military equipment, diagnosis, the degree of irregularity of the angular rotation speed.