

Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 621.43.001.5 (0.8 88)

Б.Т. Кононов¹, О.І. Бондаренко²

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

² Військово-клінічний медичний центр Північного регіону, Харків

ВИБІР ПОКАЗНИКА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

В статті обґрунтовується методичний підхід стосовно вибору діагностичного показника для оцінювання технічного стану дизель-генератора, порівнюються загальні та часткові показники, визначаються чинники, неврахування впливу яких викривляє результати діагностування.

Ключові слова: дизель-генератор, технічна діагностика, діагностичний показник, достовірність, точність, повнота, глибина контролю

Вступ

В процесі експлуатації зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) виникає безліч питань, пов'язаних з визначенням та вивченням ознак, які характеризують її дійсний технічний стан, з розробкою та з удосконаленням методів і засобів експериментального визначення можливих відхилень визначальних параметрів роботи обладнання за граничні межі, визначенням методів прогнозування, діагностування і з'ясування причин зміни технічного стану зразків озброєння та військової техніки для своєчасного запобігання випадків порушення встановлених режимів роботи. Відповідь на ці питання дозволить прийняти рішення щодо розробки та впровадження дієвих технічних засобів забезпечення заданих показників бойової ефективності, зразків ОВТ і вдосконалення існуючої системи управління експлуатацією та відновленням озброєння та військової техніки.

Обґрунтованість управлінських рішень, які приймаються в процесі експлуатації зразків ОВТ, базується на з'ясуванні їх якісного стану, визначенні причин зміни технічного стану об'єкту контролю і розумінні наслідків рішень, які приймаються. При прийнятті рішень, втілення в життя яких дозволить удосконалити систему експлуатації і відновлення зразків озброєння та військової техніки, слід виходити з визначення дійсного технічного стану зразка ОВТ, що є об'єктом контролю, і розуміти, як цей стан може змінюватися у часі у звичайних умовах і в умовах ведення бойових дій. Таким чином, при прийнятті рішень, які сприяють покращенню стану зразків ОВТ і, відповідно, дотриманню їх заданих показників бойової ефективності та значень заданих технічних характеристик, необхідно знати дійсний технічний стан зразка ОВТ, відносно якого приймається рішення про визначення дійсного

технічного стану зразка, причин, які змінюють його технічний стан, і з'ясування наслідків, які супроводжують процеси, що при цьому відбуваються, дозволить уникнути небажаних наслідків для контролюваного об'єкта.

Вирішення питань, пов'язаних з удосконаленням методів і засобів контролю автономних та резервних джерел електричної енергії, які використовуються в системах електропостачання комплексів ОВТ, й з'ясування причин зміни їх технічного стану в процесі експлуатації, тобто вирішення питання діагностування технічного стану таких джерел електричної енергії як дизельні та бензинові електричні станції, перш за все, пов'язано з визначенням показника, який може бути прийнятим для оцінювання технічного стану об'єкту контролю.

Аналіз літератури. У відомій літературі [1–8] існують різні, іноді протилежні думки, щодо визначення показника, який доцільно використовувати під час діагностування технічного стану автономних та резервних джерел електричної енергії, в яких в якості приводного двигуна використовують дизельні або бензинові двигуни внутрішнього згорання.

Мета статті – обґрунтування методичного підходу стосовно вибору діагностичного показника, використання якого доцільне при оцінюванні технічного стану резервних та автономних електричних станцій, які використовуються в якості джерел електричної енергії в системах електропостачання комплексів озброєння та військової техніки.

Основний матеріал

На думку авторів, при виборі діагностичного показника зрозумілими є два підходи. В першому випадку, коли досліднику необхідно дати відповідь щодо

оцінки загального стану дизель-генератора, визначальним представляється з'ясування досконалості процесу перетворення енергії, і в якості загального діагностичного показника доцільно вибирати показник, за допомогою якого можливо оцінити коефіцієнт корисної дії процесів перетворення хімічної енергії палива в теплоту, теплоту – в механічну енергію, механічної енергії – в електричну енергію. Таким показником, наприклад, є питомої витрати палива g , які визначаються відношенням загальних витрат палива G до вихідної потужності генератора N_b .

У другому випадку, коли необхідно оцінити досконалість роботи окремих систем, вузлів і агрегатів дизель-генератора, тобто отримати часткові діагностичні показники, визначальним представляється можливість вимірювання параметра роботи дизель-генератора, який обирається в якості діагностичного показника, й вимоги, які при цьому пред'являються, до достовірності, повноти, глибини та точності контролю. При визначенні часткових діагностичних показників пропонується використовувати запропоновану функціональну схему дизель-генератора, показану на рис. 1, в якій об'єкт діагно-

сування представлений у вигляді складної системи, яка містить послідовно та паралельно з'єднані такі ланки, як паливна система (ПС), циліндро-поршнева група (ЦПГ), вал, ротор та статор генератора, газорозподільний механізм (ГРМ), системи підготовки повітря (СПП), система змащування (СЗ), система охолодження (СО), регулятор швидкості (РШ), регулятор напруги (РН). Вихідними параметрами генератора є напруга U , струм I , частота f , активна потужність P , реактивна потужність Q . На функціональній схемі розглядається шестициліндровий дизель, в камери згоряння якого подається паливо g_i й отримується індикаторна потужність N_i , яка сумується на валу $\sum N_i$, частково використовується у вигляді механічної потужності N_m для забезпечення роботи власних потреб, а саме паливної системи ПС, системи підготовки повітря СПП, газорозподільного механізму ГРМ, системи змащування СЗ і системи охолодження СО, решта потужності N_r використовується для забезпечення збудження генератора $N_{зб}$ і для вироблення електричної енергії N_b .

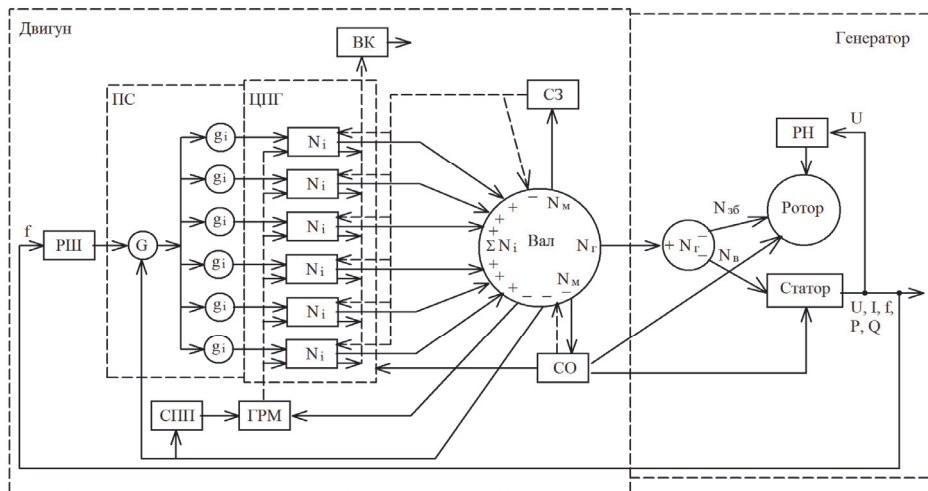


Рис. 1. Функціональна схема дизель-генератора

Для оцінювання роботи паралельних ланок в даній схемі доцільно в якості діагностичного показника вибирати такий показник, за допомогою якого можливо порівняти між собою ступінь досконалості окремих ланок. При оцінюванні роботи послідовних ланок в якості діагностичного показника слід вибирати такий показник, який дозволить дати відповідь на питання, відповідає чи ні значення вихідного параметра контрольованої ланки встановленим вимогам. При використанні питомих витрат палива в якості діагностичного показника для оцінювання загального технічного стану дизель-генератора для підвищення точності оцінки слід враховувати наступні зауваження:

Зауваження 1 – оскільки випробування, зазвичай, проводять в різних атмосферних умовах, виміряні значення потужності N' , слід привести до нормальних атмосферних умов (атмосферний тиск 760 мм ртутного стовпчика, температура навколишнього середовища $+ 20^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря 70 %). Для приведення використовують наступну залежність

$$N = N' \frac{748}{B - P_n} \frac{273 + t}{293}, \quad (1)$$

де B – барометричний тиск, мм ртутного стовпчика,

P_n – парціальний тиск водяних парів, мм ртутного стовпчика

t – температура повітря на відстані 1,5 метра від вхідного повітряного колектора, °С.

Зауваження 2 – величину потужності механічних втрат потрібно визначати експериментальним шляхом з використанням метода прокручування валу, або з використанням методу вибігу. У першому випадку, дизель запускають, виводять на номінальний тепловий стан, вмикають на паралельну роботу з зовнішньою електричною мережею, вимикають направлені релейні захисти, перекривають подачу палива в циліндри. При цьому генератор переходить в режим двигуна і потужність, яку він споживає, визначається сумою потужностей механічних втрат в дизелі та генераторі. При вимірюванні за методом вибігу вимірюють час зупинки дизель-генератора після перекривання подачі палива в циліндри двигуна. Потужність механічних втрат знаходять в результаті розв'язання наступного диференціального рівняння

$$H_i \frac{d\omega}{dt} + M_o = 0, \quad (2)$$

де H_i – інерційна стала, величина якої не змінюється під час експлуатації і може бути взятою із формуляра дизель-генератора;

ω – кутова частота обертання валу, початкове значення якої ω_0 відповідає синхронній кутовій частоті обертання $\omega_0 = 2\pi f_c$;

$f_c = 50$ Гц – частота змінного струму, що отримується на виході генератора

M_o – момент опору, який дорівнює добутку механічної потужності N_m , на кутову частоту.

Результат розв'язання рівняння (2) встановлює залежність між закономірністю зміни кутової частоти обертання ω та інерційною сталою H_i й механічною потужністю N_m , а значення часу вибігу, визначене експериментально, дає змогу обчислити N_m .

При виборі часткових показників оцінювання технічного стану окремих вузлів і агрегатів, які входять до складу дизель-генератора, слід враховувати наступні міркування. При оцінюванні паливної системи апаратура цієї системи, частіше за все, випробовується на спеціальних стендах після її демонтажу. Разом з тим, стан паливних фільтрів оцінюють по перепаду тиску палива на вході та виході фільтрів, стан паливо-підкачуючих насосів оцінюють по тиску палива в магістралі низького тиску. При поглиблених випробуваннях аналізують амплітудно-частотні і фазо-частотні характеристики паливної системи, яку описують динамічними ланками другого або третього порядку і знаходять, як змінюються постійні часу динамічних ланок при зміні амплітуд і частот гармонічних впливів, які подаються на вхід паливної системи. При випробуваннях використовують спеціальну апаратуру, а саме: еталонні фор-

сунки, паливні максиметри, моментоскопи та стробоскопи. Для оцінювання технічного стану циліндро-поршневої групи в якості діагностичного показника, зазвичай, використовують ступінь нерівномірності розподілу навантажень по циліндрах, величина якої може бути визначена прямими або непрямими методами. При використанні прямих методів ступінь нерівномірності знаходять шляхом безпосереднього вимірювання циліндрових потужностей. При визначенні потужності циліндра N_i використовують індикаторні діаграми й величину N_i знаходять з залежності

$$N_i = K \int_0^T P_i(t) V_i(t) dt, \quad (3)$$

де $P_i(t)$ – поточне значення тиску газів в іншому циліндрі двигуна;

$V_i(t)$ – поточне значення об'єму газів в іншому циліндрі двигуна;

T – період повного циклу роботи двигуна;

K – коефіцієнт пропорційності, що враховує тактність двигуна.

При обробці індикаторних діаграм середнє значення індикаторного тиску, яке можна використовувати для визначення ступеня нерівномірності розподілу навантажень по циліндрах двигуна, знаходять, використовуючи наступне співвідношення

$$P_{ср i} = \frac{1}{n} \left[\sum_{k=1}^n P_{ik1}(t) - \sum_{k=1}^n P_{ik2}(t) + \sum_{k=1}^n P_{ik3}(t) - \sum_{k=1}^n P_{ik4}(t) \right], \quad (4)$$

де $\sum_{k=1}^n P_{ik1}(t)$ – сума поточних значень тиску газів в i -му циліндрі визначених в такті робочого ходу від верхньої мертвої точки $P_{i11}(t)$ до нижньої мертвої точки $P_{i1n}(t)$ $P_{i1n}(t)$;

$\sum_{k=1}^n P_{ik2}(t)$ – сума поточних значень тиску газів в i -тому циліндрі визначених в такті впуску від нижньої мертвої точки $P_{i12}(t)$ до верхньої мертвої точки $P_{i2n}(t)$;

$\sum_{k=1}^n P_{ik3}(t)$ – сума поточних значень тиску в такті впуску від верхньої мертвої точки $P_{i13}(t)$ до нижньої мертвої точки $P_{i3n}(t)$;

$\sum_{k=1}^n P_{ik4}(t)$ – сума поточних значень тиску в такті стиску від нижньої мертвої точки $P_{i14}(t)$ до верхньої мертвої точки $P_{i4n}(t)$.

Технічна реалізація вимірювачів циліндрової індикаторної потужності і вимірювачів середнього

індикаторного тиску суттєво ускладняється у зв'язку з необхідністю введення до складу вимірювача перетворювача індикаторної діаграми, в якому потрібно здійснити перехід від координат «тиск P – час t » до координат «тиск P – об'єм V », на точність результатів вимірювання впливає синхронізація моменту початку вимірювань відносно положення верхньої мертвої точки. Слід звернути увагу й на те, що вимірювання слід виконувати тоді, коли тепловий стан дизеля не змінюється. При використанні непрямих методів вимірювання ступеня нерівномірності розподілу навантаження по циліндрам в якості діагностичних показників використовують максимальний тиск в такті стиску P_{ct} , максимальний тиск в процесі згоряння палива P_{cr} , швидкість наростання тиску dP/dt й температури відпрацьованих газів T_r . Слід мати на увазі те, що результати вимірювань величини P_{ct} , P_{cr} , dP/dt й T_r залежать від місця встановлення відповідних датчиків, що приводить до неоднозначності при прийнятті рішень щодо стану того чи іншого циліндра. Більш точний результат діагностування можливо отримати, якщо в якості діагностичного показника використати ступінь нерівномірності чистоти обертання валу дизеля. Можливість цього підтверджується наступними міркуваннями. В усталеному режимі роботи дизель-генератора момент руху M_p дорівнює моменту опору M_o і кутова частота обертання валу ω_0 лишається незмінною. У випадку, коли $M_p > M_o$, надлишкова робота A збільшує кінетичну енергію валу й його кутова частота зростає до ω_1 , що підтверджується наступним співвідношенням:

$$J \frac{\omega_1^2 - \omega_0^2}{2} = A, \quad (5)$$

де J – момент інерції валу дизель-генератора.

Оскільки під ступенем нерівномірності частоти обертання δ розуміють різницю між максимальним та мінімальним значенням кутової частоти обертання, віднесено до середнього значення кутової частоти, тобто в даному випадку

$$\delta = \frac{\omega_c - \omega_0}{\omega_c}, \quad (6)$$

де $\omega_c = \frac{\omega_1 - \omega_0}{2}$, та враховуючи (5) отримаємо

$$\delta = \frac{A}{J\omega_c^2}. \quad (7)$$

З виразу (7) слідує, що якщо i -й циліндр дизеля працює краще у порівнянні з рештою циліндрів, то у такті робочого ходу надлишкова робота поршня цього циліндра приводить до зростання кутової частоти обертання валу. Знаючи кут повороту валу α , що відповідає руху поршня цього циліндра у такті

робочого ходу, і визначивши час, за який вал повернеться на кут α , можна знайти кутову частоту обертання валу ω_i , яка досягається під час роботи i -го циліндру. Після отримання відповідних значень кутової частоти обертання валу для кожного з циліндрів дизеля можливо знайти ω_{max} , ω_{min} , визначити ступінь нерівномірності δ й зробити висновок щодо технічного стану кожного циліндра. Для підвищення точності визначення ступеня нерівномірності частоти обертання валу у випадках, коли це можливо, вимірювання виконують шляхом послідовного вимикання одного з працюючих циліндрів дизеля й знаходять при цьому значення інтервалів часу t_i , які відповідають куту повороту валу в такті розширення i -го відключеного циліндра. Порівнюючи значення цих інтервалів часу t_i зі значенням

$$t_{i\text{сеп}} = \sum_{i=1}^n t_i / n, \text{ можна зробити висновок щодо ста-}$$

ну i -го циліндра, оскільки чим менший t_i у порівнянні $t_{i\text{сеп}}$, тим гірший технічний стан цього циліндра.

Застереження. На точність результатів при користуванні цим показником суттєво впливають крутильні коливання валу, виникнення яких викликає неоднозначність при визначенні кута повороту валу α .

При оцінюванні технічного стану систем змащування і охолодження в якості узагальнюючих діагностичних показників можна використовувати температуру й тиск масла та води, а стан системи змащування можливо визначити вимірюванням витрат масла. Крім того, стан цих систем можливо визначити частотними методами, діючи на вхід цих систем гармонічними впливами, що мають змінну частоту та амплітуду, фіксуючи при цьому на виході систем, які випробуються зміни амплітуди та фази вхідних впливів, можливо визначити зміни за час експлуатації коефіцієнтів у диференціальних рівняннях, які використовуються для опису роботи цих систем, тобто з'ясувати їх технічний стан. Технічний стан газорозподільного механізму, зазвичай, оцінюють методами дефектоскопії, що вимагає зупинки дизель-генератора й часткової або повної розборки дизеля.

Кращі результати можливо отримати, використовуючи віброакустичні методи, які базуються на результатах спектрального аналізу пружних коливань, які виникають при ударах контактуючих деталей. Під час спектрального аналізу визначають зміни частоти і інтенсивності коливань, оскільки частота віброакустичного сигналу визначає джерело звуку, а його інтенсивність – величину зазору. Технічний стан системи підготовки повітря визначають шляхом оцінювання герметичності цієї системи і

шляхом визначення перепаду тиску на вході та виході фільтрів, а у випадку використанні в складі системи агрегатів надуву – за величиною тиску надуву.

При визначенні методів для оцінювання технічного стану механічно спряжених деталей (проміжків між рухомими деталями, між поршнями та гільзами циліндрів, у підшипниках, між шестернями тощо) доцільно використовувати, так званий, метод проб картерного масла, який заснований на визначенні складу частинок матеріалів у випробуваному маслі.

Технічний стан статорних та роторних обмоток генератора оцінюють шляхом контролю стану їх ізоляції відносно корпусу та відносно одна одної. Технічний стан дизель-генератора в цілому може бути встановленим шляхом з'ясування змін у характері електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів, які відбуваються при зміні режимів роботи системи електропостачання. Перехідні процеси системи електропостачання описуються диференціальними рівняннями, значення коефіцієнтів при змінних в цих рівняннях характеризує технічний стан окремих елементів дизель-генератора. Оцінювання технічного стану здійснюється шляхом порівняння відхилень визначених значень коефіцієнтів з полем допуску.

Висновки

Найбільш повну оцінку технічного стану дизель-генератора можливо отримати в перехідних режимах його роботи, коли з'ясовуються зміни його динамічних і статичних характеристик під дією збурюючих впливів.

При виборі діагностичного показника, для оцінювання технічного стану дизель-генератора, в залежності від того, яка оцінка потрібна, загальна чи часткова, в якості визначальних чинників слід враховувати:

- можливість вимірювання діагностичного параметру;
- достовірність результатів, які можуть бути отриманими при його використанні;
- вимоги щодо точності, повноти і глибини контролю;
- несприятливі чинники, які можуть суттєво викривляти результати діагностики.

Список літератури

1. Говоруценко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобиля / Н.Я. Говоруценко. – М.: Транспорт, 1970. – 256 с.
2. Диагностика автотракторных двигателей / Под ред. Н.С. Ждановского. – Л.: Колос, 1977. – 264 с.
3. Кюреган С.К. Оценка износа двигателей внутреннего сгорания методом спектрального анализа / С.К. Кюреган. – М.: Машиностроение, 1966. – 151 с.
4. Карпов Л.И. Диагностика и техническое обслуживание тракторов и комбайнов / Л.И. Карпов. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
5. Павлов В.П. Актуальная диагностика механизма / В.П. Павлов. – М.: Машиностроение, 1970. – 220 с.
6. Магдалевский А.В. Техническая диагностика / А.В. Магдалевский, Д.В. Гаскаров. – М.: Высшая школа, 1975. – 208 с.
7. Техническая диагностика машин / Под ред. В.И. Кирси. – Киев: Урожай, 1975. – 352 с.
8. Источники и первичные преобразователи энергии / В.К. Терещенков, Б.Т. Кононов, В.П. Морозов и др. – МО СССР, 1979. – 554 с.

Надійшла до редколегії 18.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.М. Більчук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Б.Т. Кононов, О.И. Бондаренко

В статье обосновывается методический подход относительно выбора диагностического показателя для оценки технического состояния дизель-генератора, сравниваются общие и частичные показатели, определяются факторы, которые искажают результаты диагностики.

Ключевые слова: дизель-генератор, техническая диагностика, диагностический показатель, достоверность, точность, полнота, глубина контроля.

CHOICE OF INDEX FOR ESTIMATION OF THE TECHNICAL STATE DYSEL-GENERATOR

B. Kononov, O. Bondarenko

In the article methodical approach is grounded in relation to the choice of diagnostic index for estimation of the technical state of dyzel-generator, general and partial indexes are compared, factors neuchet of which distorts the results of diagnostics are determined.

Keywords: dyzel-generator, technical diagnostics, diagnostic index, authenticity, exactness, plenitude, control depth.