

О. М. Лосіков

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАГНІТАЛЬНОГО НАСОСА СИСТЕМИ МАЩЕННЯ ДВИГУНА 5ТДФ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКОЮ «ПОДАЧА–ПЕРЕПАД ТИСКУ»

Анотація. Запропоновано адаптований підхід до функціонального оцінювання технічного стану нагнітального насоса системи мащення двигуна 5ТДФ при ремонтному діагностуванні. Підхід ґрунтується на порівнянні характеристики «подача–перепад тиску» досліджуваного насоса з базовою характеристикою технічно справного агрегату за однакових контрольних умов та передбачає окрему перевірку редукційного клапана. Для кількісного оцінювання запропоновано використовувати коефіцієнт збереження подачі та узагальнений показник відхилення контрольованої ділянки характеристики.

Ключові слова: нагнітальний насос; 5ТДФ; технічний стан; характеристика «подача–перепад тиску»; ремонтне діагностування.

Annotation. An adapted approach to the functional assessment of the technical condition of the 5TDF engine lubrication-system pressure pump during repair diagnostics is proposed. The approach is based on comparing the flow–pressure differential characteristic of the tested pump with the baseline characteristic of a serviceable unit under the same controlled operating conditions and includes a separate check of the pressure relief valve. A flow retention coefficient and an integral deviation index of the controlled section of the characteristic are proposed for quantitative assessment.

Keywords: pressure pump; 5TDF; technical condition; flow–pressure differential characteristic; repair diagnostics.

Працездатність системи мащення двигуна залежить, зокрема, від здатності нагнітального насоса забезпечувати необхідну подачу мастила в установлених режимах роботи. Погіршення стану спряжень качаючого вузла супроводжується зростанням внутрішніх перетікань, об'ємних втрат і зниженням фактичної подачі. У попередній роботі автора для насоса системи мащення двигуна 5ТДФ розглянуто вплив торцевого і радіального зазорів на внутрішні втрати та запропоновано ремонтно-технологічні заходи з підвищення довговічності [1]. Подальший розвиток напряму пов'язано з функціональним оцінюванням насоса під час ремонтного контролю без визначення повного набору геометричних параметрів спряжень.

Продуктивність масляного насоса належить до параметрів, за якими оцінюють технічний стан системи мащення; під час діагностування окремо визначають продуктивність насоса та тиск відкриття редукційного клапана [2]. Характеристика масляного насоса розглядається як залежність кількості мастила, що подається насосом, від тиску в системі [2]. Сучасні дослідження шестеренних насосів також підтверджують доцільність аналізу залежності між тиском і подачею при оцінюванні технічного стану, а збільшення внутрішніх зазорів пов'язують зі зростанням внутрішніх витоків і зниженням об'ємного ККД [3, 4].

Метою роботи є обґрунтування адаптованого підходу до функціонального оцінювання технічного стану нагнітального насоса системи мащення двигуна 5ТДФ за зміною характеристики «подача–перепад тиску» при ремонтному діагностуванні.

Фізичною основою запропонованого підходу є причинно-наслідковий зв'язок: зміна стану спряжень → зміна внутрішніх перетікань → зміна фактичної подачі. При цьому фактична подача залежить не лише від стану насоса, а й від режимних факторів. Тому порівняння характеристик справного та досліджуваного агрегатів повинно виконуватися за однакових частоти обертання приводного вала, температури та властивостей робочої рідини, умов на вході в насос і після досягнення усталеного режиму. Загальний принцип визначення характеристик об'ємних насосів в усталених режимах відповідає методології ISO 4409:2019 [5], яку в цій роботі використано як загальну методичну основу, а не як спеціальний норматив ремонтного контролю насоса 5ТДФ.

Для стендового контролю доцільно використовувати перепад тиску на насосі:

$$\Delta p = p_{\text{вих}} - p_{\text{вх}} \quad (1)$$

визначати характеристику:

$$Q = f(\Delta p) \quad (2)$$

за контрольованих значень частоти обертання та температури робочої рідини:

$$n = n_K = \text{const} \quad (3)$$

$$T = T_K = \text{const} \quad (4)$$

де Q – фактична подача;

n_K – контрольна частота обертання приводного вала насоса;

T_K – контрольна температура робочої рідини.

Окремого врахування потребує редукційний клапан. Після початку його відкриття зміна подачі визначається не тільки станом качаючого вузла, а й перепусканням мастила через клапан. Тому перед формуванням основної діагностичної характеристики пропонується окремо перевіряти працездатність клапана та визначати перепад тиску $\Delta p_{кл}$, що відповідає початку його спрацювання. Для переважного оцінювання функціонального стану качаючого вузла контрольовану ділянку доцільно обрати до області істотного впливу клапана:

$$\Delta p_1 \leq \Delta p \leq \Delta p_2 < \Delta p_{кл} \quad (5)$$

У межах цієї ділянки послідовно встановлюють значення Δp_i , визначають відповідні значення фактичної подачі $Q_{\phi i}$ та формують характеристику досліджуваного насоса $Q_{\phi} = f(\Delta p)$. Одержані результати порівнюють із базовою характеристикою $Q_{\phi} = f(\Delta p)$, отриманою за тих самих контрольних умов для технічно справного насоса або як усереднену характеристику однорідної групи справних насосів. Таким чином, базовою величиною є не довідкове максимальне значення продуктивності, а фактично визначена характеристика справного агрегату за однакових умов випробування.

Для кількісного порівняння в окремій контрольній точці пропонується використовувати коефіцієнт збереження подачі:

$$K_{Q,i} = \frac{Q_{\phi,i}}{Q_{\phi,i}} \quad (6)$$

де $Q_{\phi,i}$ – фактична подача досліджуваного насоса при заданому Δp_i ;

$Q_{\phi,i}$ – відповідна подача базового справного насоса.

Значення $K_{Q,i} = 1$ відповідає збігу подач у даній контрольній точці, а відхилення від одиниці характеризує відмінність функціональної характеристики досліджуваного агрегату від базової. При практичному використанні показника необхідно враховувати невизначеність вимірювань і природний розкид характеристик технічно справних насосів.

Оскільки одна контрольна точка не характеризує відмінність усієї робочої ділянки, для узагальненої кількісної оцінки за m контрольними точками, заданими з рівномірним кроком за Δp пропонується показник відхилення подачі D_Q :

$$D_Q = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m |1 - K_{Q,i}| \quad (7)$$

Узагальнений показник відхилення подачі D_Q характеризує середнє абсолютне відносне відхилення подачі досліджуваного насоса від базової характеристики на вибраній ділянці та виражається у відсотках. За повного збігу характеристик $D_Q = 0$. Використання модуля виключає взаємну компенсацію відхилень різного знака, а рівномірний крок за Δp забезпечує однакову вагу контрольних точок.

Запропоновану послідовність функціонального контролю наведено на рис. 1.

Розроблений підхід не призначений для визначення абсолютної величини торцевого чи радіального зазору за фактичною подачею. Відхилення характеристики $Q_{\phi} = f(\Delta p)$ може бути наслідком сукупного впливу різних змін технічного стану, тому K_Q і D_Q слід розглядати як функціональні показники, а не як непрямі вимірювачі конкретного геометричного дефекту. Локалізація причин погіршення характеристики потребує подальшого розбирання і дефектації деталей.

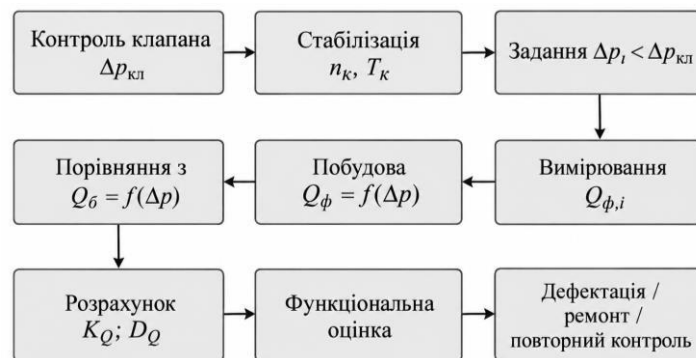


Рисунок 1 - Послідовність функціонального оцінювання технічного стану нагнітального насоса

Практичне значення підходу полягає у можливості використання однакової процедури під час первинного та післяремонтного стендового контролю, що створює передумови для кількісного порівняння функціонального стану агрегату без використання непідтверджених геометричних параметрів його внутрішніх спряжень

Висновки. Запропоновано адаптований підхід до функціонального оцінювання технічного стану нагнітального насоса системи мащення двигуна 5ТДФ при ремонтному контролі, заснований на порівнянні характеристик «подача–перепад тиску» досліджуваного та базового технічно справного насосів за однакових режимних умов. Для зменшення впливу редуційного клапана передбачено його окрему перевірку та проведення основного порівняння на ділянці $\Delta p < \Delta p_{\text{кл}}$. Для кількісного опису відхилення запропоновано коефіцієнт K_Q та узагальнений показник D_Q . Запропоновані показники характеризують функціональне відхилення від базового стану, але не визначають величину конкретного геометричного зносу; встановлення їх допустимих і бракувальних меж потребує подальшої експериментальної верифікації на вибірці насосів із підтвердженим технічним станом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лосіков О. М., Сидоренко В. К. Шляхи забезпечення надійності нагнітальних насосів системи мащення двигуна 5ТДФ ремонтно-технологічними методами. Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки: матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, 13–14 листопада 2024 р. Вінниця: ВНТУ, 2024. ISBN 978-617-8163-25-9.
2. Єпіфанов В. В., Дудар В. І., Янчик О. Г. та ін. Основи експлуатації бронетанкового озброєння та техніки в сучасних умовах: підручник. Харків: Факт, 2026. 447 с. ISBN 978-617-8784-09-6.
3. Ren L., Ma H., Zhou W., Huang S., Wu X. A Condition Monitoring Method of Hydraulic Gear Pumps Based on Multilevel Mechanism-Data Fusion. International Journal of Aerospace Engineering. 2024. Vol. 2024. Article 5587168. DOI: 10.1155/2024/5587168.
4. Yang H., Jang H. S., Ji S. Volumetric Efficiency Prediction of External Gear Pumps Using a Leakage Model Based on Dynamic Clearances. Actuators. 2026. Vol. 15, No. 1. Article 56. DOI: 10.3390/act15010056.
5. ISO 4409:2019. Hydraulic fluid power – Positive-displacement pumps, motors and integral transmissions – Methods of testing and presenting basic steady state performance. 3rd ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2019.

Лосіков Олександр Михайлович – старший викладач кафедри галузевого машинобудування, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, 49010, e-mail: a.m.losikov@ust.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5523-7651>.

Oleksandr Mykhailovych Losikov – Senior Lecturer, Department of Industrial Mechanical Engineering, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Lazariana St. 2, 49010, Ukraine, e-mail: a.m.losikov@ust.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5523-7651>.