

УДК 629.331.083

А.П. Поляков<sup>1</sup>, М.Ю. Миرونюк<sup>2</sup>, О.Б. Куренко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет, Вінниця

<sup>2</sup> Воєнно-наукове управління Генерального штабу Збройних Сил України, Київ

<sup>3</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ НА ПОКАЗНИКИ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ ЯЗТА-238 ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*Розроблена методика досліджень впливу регулювальних параметрів паливної апаратури (ПА) на показники паливного насоса високого тиску ЯЗТА-238 транспортних засобів (ТЗ) аеродромно-технічного обслуговування (АТО) літальних апаратів (ЛА). Наведено результати стендових безмоторних випробувань впливу параметрів ПА на роботу паливного насоса високого тиску.*

**Ключові слова:** транспортні засоби, аеродромно-технічне обслуговування, літальні апарати, паливна апаратура, паливний насос високого тиску.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** В сучасних умовах можливості авіації Збройних Сил (ЗС) України значно залежать від якісного, своєчасного та повного наземного забезпечення дій авіації, основу якого складають засоби АТО ЛА [1]. Високу ефективність застосування засобів АТО ЛА неможливо досягти без підтримання в належному стані парку ТЗ.

З точки зору оперативної оцінки паливних показників дизельних двигунів ТЗ АТО ЛА, певний інтерес можуть представляти методи непрямого виміру паливних показників, що виключають втручання в систему паливоподачі. Діагностичними показниками, за якими можна було б непрямим чином проводити оцінку витрат палива двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), є компонентний склад і димність відпрацьованих газів (ВГ). Застосування методів оцінки технічного стану двигуна і паливної апаратури дизелів по димності і складу ВГ є зручним з точки зору оперативності контролю.

Розробці методичного рішення розглянутого питання присвячена робота. Дослідження направлено на вдосконалення методів інструментального контролю технічного стану дизельних двигунів шляхом розробки і застосування діагностування технічного стану ДВЗ і ПА з використанням аналізу складу ВГ.

Проведений аналіз літературних джерел [2–3] показав, що, незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених контролю технічного стану ТЗ за показниками токсичності, димності ВГ і витрати палива, питанням розробки методики діагностування еколого-паливних показників дизельних двигунів

ТЗ на основі теоретичного і експериментального дослідження взаємозв'язків між складом ВГ, технічним станом ДВЗ та витрати палива, приділено недостатньо уваги.

Успішне рішення цього складного, такого, що не має однозначної відповіді комплексного завдання, можливо лише на основі проведення поглиблених теоретичних і багатофакторних експериментальних досліджень зв'язку викидів сажі і інших шкідливих речовин з технічними параметрами, зокрема, регулюваннями ТЗ, при використанні сучасних інструментальних засобів контролю.

**Метою статті** є розробка методики досліджень впливу регулювальних параметрів ПА на показники паливного насоса високого тиску ЯЗТА-238 ТЗ АТО ЛА ЗС України.

### Викладання основного матеріалу

Досвід останніх локальних військових конфліктів, сучасні погляди на ведення збройної боротьби вказують на необхідність мати у військах такі ТЗ АТО ЛА, які б мали гарні експлуатаційні властивості й могли забезпечити паритет або військово-технічну перевагу перед аналогічними ТЗ армій імовірного супротивника.

Серед експлуатаційних властивостей технічних систем дизелів, що мають безпосередній зв'язок з показниками потужності, паливної економічності і складу ВГ, що діагностуються, доцільно виділити технічний стан ПА, циліндро-поршневої групи, систем повітряподачі, газорозподілу. Найбільший вплив на економічність і склад ВГ здійснює технічний стан ПА. Дослідженнями встановлено, що до 75 % експлуатаційних відмов дизелів доводиться на ПА, причому біля 50% відмов в роботі ПА обумов-

лено відхиленнями її регулювальних параметрів в процесі експлуатації від номінальних значень [4]. Саме тому дослідження впливу регулювальних параметрів ПА на показники паливного насоса високого тиску ЯЗТА-238 ТЗ АТО ЛА є актуальним.

Як об'єкт досліджень був обраний дизель ЯМЗ-238 (8Ч130/140). Випробування паливних насосів проводилися на безмоторному стенді NC-104 «Motorpal».

Для оцінки впливу тиску початку впорскування палива форсунками і переміщення регулювального гвинта циклової подачі палива щодо положення, відповідного циклової подачі при номінальній частоті обертання валу паливного насоса на показники паливного насоса на безмоторному стенді знімалися регуляторні характеристики насоса відповідно при тиску початку впорскування палива форсунками  $P_{\phi}$ , рівному 14,5; 16,0; 17,5; 19,0; 20,5 МПа і положення регулювального гвинта циклової подачі палива  $h_b$  рівному -0,7; -0,4; 0; +0,4; +0,7 мм.

Циклова подача палива при номінальній частоті обертання валу паливного насоса регулювалася на безмоторному стенді у відповідності до стандарту з робочими комплектами форсунок і паливпроводів високого тиску. Контрольні випробування форсунок ФД-22 і розпилювачів форсунок РД 4x0,29 проводилися відповідно до стандарту.

Вимірювання величини переміщення регулювального гвинта циклової подачі палива щодо положення, відповідного циклової подачі при номінальній частоті обертання валу паливного насоса здійснювалося мікрометром з індикаторної голівкою.

В якості оціночних показників роботи паливного насоса були прийняті величини середньої циклової подачі палива  $q_{ц}$ , годинної подачі палива  $G$  і нерівномірності подачі палива по лініях нагнітання  $\sigma$ . Випробування насоса проводилися на дизельно-моторному стенді за ДСТУ 305-82.

Розрахунок оціночних показників паливного насоса проводився відповідно до вимог стандарту. Годинна подача палива  $G$  в кг/год. підраховувалася за формулою:

$$G = 6 \cdot 10^{-3} \frac{n' \cdot \sum_{i=1}^z V_{p_i}}{i}, \quad (1)$$

де  $\sum_{i=1}^z V_{p_i}$  – сумарний об'єм палива, що надійшло в мірні ємності, см<sup>3</sup>;

$n'$  – частота обертання валу паливного насоса, об/хв;

$p_{\tau}$  – щільність палива під час випробувань, кг/м<sup>3</sup>;

$i$  – число циклів.

Середня циклова подача палива  $q_{ц}$  в мм<sup>3</sup>, підраховувалася за формулою:

$$q_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^z V \cdot 1000}{z} \cdot i, \quad (2)$$

де  $z$  – число ліній високого тиску.

Нерівномірність подачі палива по лініях високого тиску ( $y$  %) підраховувалася за формулою:

$$\sigma = 200 \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}}, \quad (3)$$

де  $V_{\max}$  і  $V_{\min}$  – відповідно, максимальна і мінімальна подача палива по лініях високого тиску, см<sup>3</sup>.

Сумарна похибка величин вимірювання визначалася як:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_i + \delta_b + \delta_o, \quad (4)$$

де  $\delta_i$  – помилки, що виникають в процесі отримання вихідної інформації;

$\delta_b$  – помилки, пов'язані з процесом обчислення;

$\delta_o$  – помилки оператора.

Відносна помилка або похибка визначалася за формулою:

$$\delta = \frac{|x_n - x|}{x}, \quad (5)$$

де  $|x_n - x|$  – абсолютна похибка;

$x$  – справжня величина параметра.

Джерелами помилок при отриманні вихідної інформації є помилки вибірки та вимірювання. Помилка вибірки визначалася зі ставлення:

$$\delta_{\text{внб}} = \frac{|m_x - (m_x^1)|}{(m_x^1)}, \quad (6)$$

де  $m_x = M[X]$  – середня генеральної сукупності;

$(m_x^1) = M[X]$  – середня вибірка.

Для виключення цієї помилки встановлювався мінімальний обсяг вибірки (кількість об'єктів спостережень відповідно до стандарту) з урахуванням отримання достовірної інформації при відносній помилці ( $\delta_{\text{внб}} = 0,1$ ).

Помилки вимірювання складаються з систематичних помилок вимірювального приладу і випадкових помилок, які є результатом взаємодії великого числа незначних окремих факторів. Систематична помилка обумовлена недостатньою точністю використовуваних приладів.

Можливість помилки при визначенні потужності двигуна визначається неточностями відліку показань ваг гальмівної установки і частоти обертання колінчастого вала. Точність одного виміру характе-

ризується середньоквадратичною величиною  $\sigma_n$  зі значень помилок:

$$\sigma_n = \left( \sum \frac{(x_i - m_x)^2}{m-1} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

де  $m$  – число вимірювань.

Іноді за міру точності одного виміру приймалася імовірна помилка

$$\sigma(p) = 0,6745\sigma_n. \quad (8)$$

Випадкові помилки відповідно до закону Гауса [5] закладаються в нормальний розподіл. При цьому, чим більше число вимірювань, тим менше ймовірність виходу помилки за певні межі. Помилки обчислювального характеру включають:

- помилки округлень;
- помилки апроксимації;
- помилки статистичної перевірки гіпотез.

Помилки округлення підпорядковані нормальному закону з центром розподілу  $\sigma_{окр} = 0$ . Середньоквадратичне відхилення помилок округлень  $\sigma_{окр}$  дорівнює [5]:

$$\sigma_{окр} = \frac{1}{3\left(\frac{1}{2}\right)} \delta_{гр\,окр}, \quad (9)$$

де  $\delta_{гр\,окр}$  – гранична помилка округлення.

Помилки апроксимації пов'язані з недостатньою точністю математичної моделі, яка описує реальний процес. Вони визначаються екстраполяцією за методом найменших квадратів. Помилки, пов'язані з якістю роботи оператора, зайнятого виміром параметра, його реєстрацією та розрахунком, є наслідком недостатньої кваліфікації персоналу та його індивідуальних особливостей і називаються промахами.

З метою виключення їх із статистичного ряду проводять перевірку того, чи виходять ці відмінності за межі випадкової варіації параметра чи ні, для чого:

- знаходять характеристики розподілу  $m_x, \sigma_x$  без промаху;
- виходячи з правила, що в межах випадкової варіації величина помилки не повинна перевищувати  $\pm 3\sigma_x$ , виключають, якщо це правило не виконується, тобто

$$(m_x - 3\sigma_x) < \chi_{пр} < (m_x + 3\sigma_x), \quad (10)$$

де  $\chi_{пр}$  – значення параметра промаху.

Помилка при визначенні величин параметрів з осцилограм складається з помилки вимірювання (датчика), помилки підсилювача і осцилографа, прийнятої рівною 2% [5], а також помилки при об-

робці осцилограм, яка залежить від товщини лінії ( $\pm 0,5$  мм) і масштабних коефіцієнтів кривих реєстрованих параметрів (частоти обертання колінчатого валу, кутового прискорення, ходу рейки паливного насоса, тиску в циліндрі і т.д.). Для вирішення даного роду технічних завдань максимальна величина похибки повинна знаходитися в межах 2...3%.

Безмоторні випробування проводилися для оцінки впливу тиску початку упорскування палива форсунками і величини переміщення регульовального гвинта циклової подачі палива на показники паливного насоса ЯЗТА-238. При цьому дослід проводився на частоті обертання кулачкового валу насоса  $700 \text{ хв}^{-1}$  (максимальний крутний момент двигуна) та на номінальній частоті –  $1100 \text{ хв}^{-1}$ . На рис. 1–5 показано зміни середньої циклової та годинної подачі палива паливного насоса в залежності від величини переміщення регульовального гвинта циклової подачі палива та величини тиску початку упорскування палива форсунками.

Аналіз результатів безмоторних випробувань ПА показав, що середнє значення циклової подачі паливного насоса ЯЗТА-238 лінійно залежить від величини переміщення гвинта номіналу на номінальній частоті обертання кулачкового валу так і на частоті обертання, що відповідає максимальному крутному моменту дизеля. Діапазон розкиду номінальних значень циклової подачі при частоті обертання вала насоса  $1100 \text{ хв}^{-1}$ , заданий технічними умовами і дорівнює  $1,8 \text{ мм}^3/\text{цикл}$  та відповідає величині ходу гвинта номіналу  $0,2 \text{ мм}$ . Максимальне значення циклової подачі палива ( $88 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ ) при даній комплектації ПА отримано при вкручуванні гвинта номіналу на  $0,7 \text{ мм}$ . Подальше його переміщення до збільшення циклової подачі не призводило.

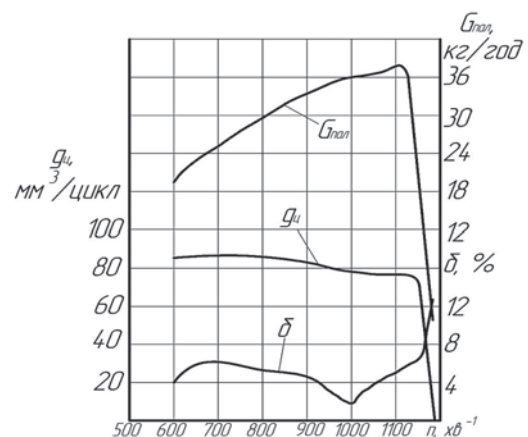


Рис. 1. Регульовальна характеристика паливного насоса ЯЗТА-238

З рис. 1–2 видно, що переміщення регульовального гвинта циклової подачі палива від  $-0,7$  мм (відносно положення, відповідного номінальній цик-

ловій подачі палива) до +0,7 мм призводить до збільшення циклової та годинної подачі палива.

Так, циклова подача палива при цьому збільшується з 56 до 88 мм<sup>3</sup>/цикл (на 57%) при частоті обертання вала паливного насоса  $n=1100$  хв<sup>-1</sup> і з 68,5 до 104 мм<sup>3</sup>/цикл (на 52%) при  $n=700$  хв<sup>-1</sup>.

Годинна подача палива в цьому випадку збільшується з 12,5 до 19,1 кг/год. (на 53%) при  $n=1100$  хв<sup>-1</sup> і з 9,6 до 14,5 кг/год. (на 51%) при  $n=700$  хв<sup>-1</sup>.

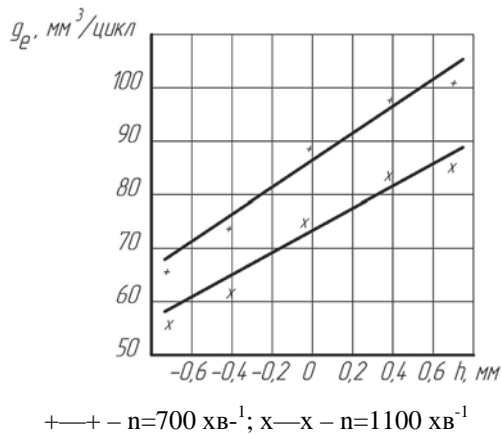


Рис. 2. Залежність циклової подачі палива паливного насоса ЯЗТА-238 від положення регулювального гвинта циклової подачі палива відносно положення, відповідного номінальній циклової подачі палива

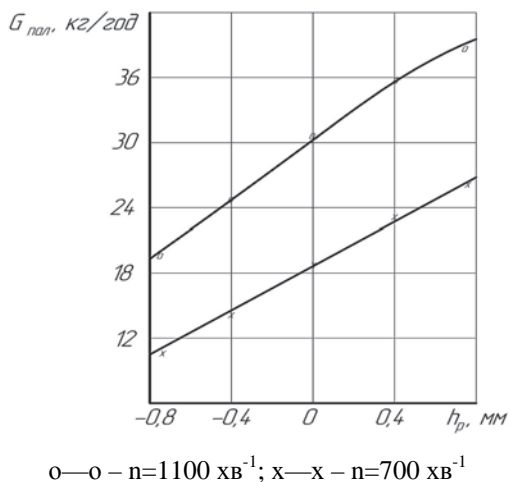


Рис. 3. Залежність годинної витрати палива паливного насоса ЯЗТА-238 від положення регулювального гвинта циклової подачі палива відносно положення, відповідного номінальній циклової подачі палива

Зміна тиску початку упорскування палива форсунками здійснює істотний вплив на показники роботи паливного насоса. Так збільшення  $P_{\phi}$  з 14,5 до 20,5 МПа призводить до зниження циклової подачі палива з 78 до 71 мм<sup>3</sup>/цикл (на 9%) при  $n=1100$  хв<sup>-1</sup> та з 92 до 78 мм<sup>3</sup>/цикл (на 15%) при  $n=700$  хв<sup>-1</sup>. Годинна подача палива при цьому зменшується з 12,8

до 10,9 кг/год. (на 15%) при  $n=700$  хв<sup>-1</sup> та з 17,0 до 15,6 кг/год. (на 8%) при  $n=1100$  хв<sup>-1</sup> (рис. 3–4).

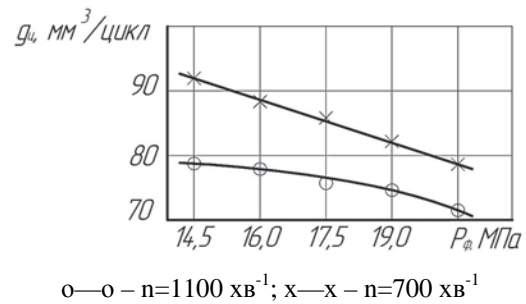


Рис. 4. Залежність циклової подачі паливного насоса ЯЗТА-238 від величини тиску початку упорскування палива форсунками на різних режимах роботи

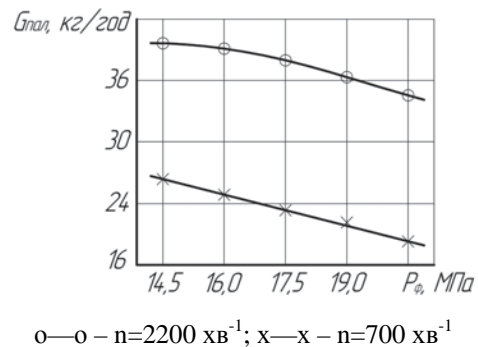


Рис. 5. Залежність годинної витрати палива паливного насоса ЯЗТА-238 від величини тиску початку упорскування палива форсунками на різних режимах роботи

## Висновки

Таким чином, розроблено методику досліджень впливу регулювальних параметрів паливної апаратури на показники паливного насоса високого тиску ЯЗТА-238.

Аналіз результатів стендових безмоторних випробувань паливного насоса показує, що зниження середніх циклової і часової подачі палива на 5 і більше відсотків, характеризуються як відмова паливного насоса та відбувається при різних значеннях параметрів паливної апаратури залежно від швидкісного режиму насоса. Тому обґрунтування оптимальних значень параметрів ПА необхідно проводити не тільки для номінального режиму роботи дизеля, але і для інших режимів, характерних для умов експлуатації.

Використання запропонованої методики та обладнання дозволить знизити витрати на ремонт за рахунок запобігання несподіваних виходів обладнання з ладу, зменшити час знаходження в обслуговуванні, скоректувати терміни використання запчастин та матеріалів, прогнозувати позапланові технічні обслуговування (ТО), що сприятиме підвищенню ефективності ТО та дозволить при відносно низьких

витратах здійснити переведення ТЗ АТО ЛА ЗС України на експлуатацію за технічним станом.

### Список літератури

1. Біла книга – 2015. Збройні Сили України. – К.: МО України, 2016. – 104 с.
2. Абрамов Д.В. Визначення доцільності проведення позапланового технічного обслуговування автомобілів за критерієм витрат на паливо в експлуатації / Д.В. Абрамов, В.О. Тесля // Вісник національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2012. – Випуск 25. – С. 286-290.
3. Сахно В.П. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність: навч. посібн. / В.П. Сахно, Г.Б. Безбородова, М.М. Маяк, С.М. Шарай. – К: В-во КВІЦ, 2004. – 174 с.

4. Кутенев В.Ф. Проблема создания и эксплуатации экологически чистого автомобиля / В.Ф. Кутенев. – М.: Транспорт, 1989. – 40 с.

5. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 168 с.

Надійшла до редколегії 27.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. М.А. Подригало, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ЯЗТА-238 ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ АЭРОДРОМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.П. Поляков, Н.Ю. Миронюк, А.Б. Куренко

*Разработана методика исследования влияния регулировочных параметров топливной аппаратуры на показатели топливного насоса высокого давления ЯЗТА-238 транспортных средств аэродромно-технического обслуживания летательных аппаратов. Приведены результаты стендовых безмоторных испытаний влияния параметров топливной аппаратуры на работу топливного насоса высокого давления.*

**Ключевые слова:** транспортные средства, аэродромно-техническое обслуживание, летательные аппараты, топливная аппаратура, топливный насос высокого давления.

### THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR STUDYING THE EFFECT OF ADJUSTING THE PARAMETERS OF THE FUEL EQUIPMENT IN THE PERFORMANCE OF THE FUEL PUMP OF HIGH PRESSURE YAZTA-238 VEHICLES AVIATION GROUND SUPPORT OF AIRCRAFT

A. Polyakov, N. Mironyuk, A. Kurenko

*The method study of the effect of adjusting the parameters of the fuel equipment in the performance of high-pressure fuel pump YAZTA-238 vehicles aviation ground support of aircraft was developed. The results of bench tests of the effect of non-motorized fuel equipment parameters on the high-pressure fuel pump was presented.*

**Keywords:** vehicles, aviation ground support, aircraft, fuel equipment, high-pressure fuel pump.