

## ДІАГНОСТУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ОКРЕМИХ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ МЕТОДОМ ЇХ ВІДКЛЮЧЕННЯ

**Молодан А.О., к.т.н., доц., докторант**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Отримане рівняння потужності для суміщених режимів при діагностуванні, використовуючи рівність індикаторної потужності відключених циліндрів та різниці ефективної потужності двигуна і потужності довантаження при послідовному відключенні спочатку однієї групи циліндрів, потім іншої групи циліндрів з однаковим числом циліндрів та обох груп циліндрів разом.*

*Визначена потужність двигуна при діагностуванні, що розвивається досліджуванним циліндром, якщо досліджуваний циліндр справний, з допомогою оцінки додаткової потужності привода на режимі номінальної частоти обертання колінчатого валу*

**Ключові слова:** *діагностування, автотракторний двигун, потужність одного циліндру, відключений циліндр, механічні втрати, метод розгону.*

**Вступ.** У разі використання загальної системи діагностування двигун в цілому виступає в якості об'єкта діагностування. Воно може проводитися при встановленні транспортного засобу (автомобіля, трактора і т.п.) на стаціонарних гальмівних стендах з біговими барабанами (наприклад, на стенд КІ-4856) [1]. На таких стендах здійснюється функціональне діагностування двигуна за такими діагностичними параметрами, як ефективна потужність, питома витрата палива, вміст окису вуглецю у відпрацьованих газах і т.п. Діагностування ведеться в основному зовнішніми засобами, тобто як правило, всі датчики та вимірювальна діагностична апаратура знаходяться на стенді [2].

Незважаючи на безперечні переваги, складні і дорогі стаціонарні стенди для діагностування двигунів спільно з установками не завжди економічно виправдано, особливо, коли здійснюється діагностування окремих агрегатів, механізмів і систем двигунів, тобто створюються локальні системи діагностування.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Для автотракторних двигунів розроблені парціальний і диференціальний методи [3, 4], що дозволяють проводити діагностування працюючих двигунів на гальмівних стендах (як правило, електричних) малої потужності або без звичайних гальмівних пристроїв. В цьому випадку для діагностування використовуються різні переносні прилади чи їх сукупність у вигляді пересувних або переносних стендів типу мотор-тестер, автотестер [2]. Парціальний і диференціальний методи засновані на виключенні із роботи окремих циліндрів [4]. Перший метод передбачає поділ циліндрів двигуна на групи, по черзі вимикати з роботи, другий метод – почергову роботу двигуна на одному циліндрі при

вимкнених інших. Циліндри відключаються при припиненні подачі в них палива. Обидва методи передбачають проведення випробувань на режимі номінальної частоти обертання колінчатого валу двигуна при повній подачі палива в циліндри працюють. При цьому проводиться діагностування як працюючих, так і непрацюючих циліндрів [4]. При виключенні циліндрів створюється навантаження на працюючі циліндри.

У разі використання парціального методу навантаження, створювана при відключенні групи непрацюючих циліндрів, недостатня для забезпечення номінальної частоти обертання колінчатого валу. Цей недолік методу усувають застосуванням пристроїв, що довантажують. В якості цих пристроїв використовуються або гальмівні пристрої стенду, або внутрішні споживачі потужності транспортної установки (трактори, тепловози тощо).

**Мета і постановка задачі.** Метою даного дослідження є діагностування потужності окремого циліндру за допомогою різниці показань між першим та наступними розгонами з відключеним циліндром для якого визначається індикаторна потужність.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

– визначити потужність групи циліндрів при діагностуванні у разі відомої потужності довантаження, що перевіряються з рівняння балансу потужності;

– отримати рівняння потужності при діагностуванні для суміщених режимів використовуючи рівність індикаторної потужності відключених циліндрів та різниці ефективної потужності двигуна і потужності довантаження при послідовному відключенні спочатку однієї групи циліндрів, потім іншої групи циліндрів з однаковим числом циліндрів та обох груп циліндрів разом;

– визначити потужність двигуна, що розвивається досліджуванним циліндром при діагностуванні з допомогою оцінки додаткової потужності привода на режимі номінальної частоти обертання колінчатого валу.

**Постановка питання визначення потужності окремого циліндра автотракторного двигуна шляхом діагностування при його відключенні.** Для визначення потужності групи циліндрів, що перевіряються треба виходити з рівняння балансу потужності [5-6]. У разі відомої потужності довантаження (за вимірами на установці) рівняння має наступний вигляд

$$z_p N_{iц} = N_m + N_{доп}, \quad (1)$$

де:  $z_p$  – число працюючих циліндрів;  $N_{iц}$  – індикаторна потужність одного циліндра;  $N_m$  – потужність механічних втрат двигунів;  $N_{доп}$  – додаткова потужність допоміжної установки.

Звідки

$$N_{iц} = (N_m + N_{доп}) / z_p \quad \text{і} \quad N_{ец} = \eta_m N_{iц}, \quad (2)$$

де:  $N_{e_{ц}}$  – ефективна потужність одного циліндра (з числа працюючих);  
 $\eta_m$  – механічний ККД двигуна при повній циклової подачі палива на номінальному режимі.

Ці розрахунки справедливі при допущенні рівності потужності механічних втрат двигуна для двох суміщених режимів: при роботі з вимкненими циліндрами і при роботі всіх циліндрів. Експериментальні дослідження, проведені на автотракторних двигунах, підтверджують правомірність цього припущення [1, 2].

Похибка визначення потужностних показників [7] при ретельному проведенні вимірювань наближається до похибки гальмівного методу. Крім того, парціальний метод доцільно застосовувати у разі визначення ефективної потужності двигуна  $N_e$ . Якщо вироблено відключення групи циліндрів  $z_k$  із загального числа циліндрів  $z$ , то ефективна потужність працюючих циліндрів ( $z - z_k$ )

$$N_{e, z-z_k} = N_{m z_k} + N_{\text{дод} z_k}, \quad (3)$$

де:  $N_{m z_k}$  – потужність механічних втрат відключених циліндрів;  
 $N_{\text{дод} z_k}$  – потужність довантаження при відключених циліндрах.

Так як

$$N_{m z_k} = N_{i z_k} - N_{e z_k}, \quad (4)$$

де  $N_{i z_k}$  і  $N_{e z_k}$  – індикаторна і ефективна потужність двигуна при відключенні  $z_k$  циліндрів.

Отже,  $N_{i z_k} = N_e - N_{\text{дод} z_k}$ .

Використовуючи рівність індикаторної потужності [4] відключених циліндрів різниці ефективної потужності двигуна і потужності довантаження при послідовному відключенні спочатку однієї групи циліндрів ( $z_k$ ), потім іншої групи циліндрів ( $z_m$ ) з однаковим числом циліндрів ( $z_k = z_m$ ) і, нарешті, обох груп циліндрів разом, отримуємо рівняння потужності для суміщених режимів

$$N_{i z_k} = N_e - N_{\text{дод} z_k}, \quad (5)$$

$$N_{i z_m} = N_e - N_{\text{дод} z_m}, \quad (6)$$

$$N_{i, z_k+z_m} = N_e - N_{\text{дод}, z_k+z_m}. \quad (7)$$

Підсумовуючи рівняння (5) та (6) і віднімаючи (7), отримуємо вираз для ефективної потужності двигуна

$$N_e = N_{\text{дод } z_k} + N_{\text{дод } z_m} - N_{\text{дод, } z_k + z_m}. \quad (8)$$

Всі три члени правої частини рівняння (8) визначаються їх вимірами на трьох режимах при постійній частоті обертання колінчатого валу двигуна і незмінному положенні рейки паливного насоса високого тиску.

При диференціальному методі, навантаження на одного працюючого циліндра непрацюючими циліндрами (особливо у багаточиліндрового двигуна) призводить до перевантаження працюючого циліндра (при повній циклової подачі палива), і для забезпечення номінальної частоти обертання колінчатого валу необхідно підключення зовнішнього джерела енергії. Як правило, для цієї мети може бути використаний невеликий стенд з електродвигуном або навісний електропривод з динамометричним пристроєм [2].

Потужність, що розвивається досліджуваним циліндром, визначається з допомогою оцінки додаткової потужності привода на режимі номінальної частоти обертання колінчатого валу двигуна.

Якщо досліджуваний циліндр справний, то при роботі він розвиває номінальну ефективну потужність [8]

$$N_{e1n} = N_m - N_m / z - N_{\text{дод } 1n}, \quad (9)$$

де:  $N_m$  – потужність механічних втрат двигуна на номінальному режимі;  
 $N_{\text{дод } 1n}$  – додаткова потужність привода при роботі на одному циліндрі;  
 $z$  – число циліндрів двигуна.

При відхиленні значень показників від номінальних рівняння (9) має вигляд

$$N_{e1} = N_m - N_m / z - N_{\text{дод } 1}, \quad (10)$$

Віднімаючи з рівняння (9) рівняння (10), отримуємо

$$N_{e1n} - N_{e1} = N_{\text{дод } 1} - N_{\text{дод } 1n}. \quad (11)$$

Таким чином, відхилення ефективної потужності одного циліндра від номінального значення дорівнює відхиленню додаткової потужності від її номінального значення. Отже,  $\Delta N_{e1} = N_{\text{дод } 1} - N_{\text{дод } 1n}$ .

Номінальна додаткова потужність

$$\begin{aligned}
 N_{\text{дод1н}} &= N_{\text{м}} - N_{i1н} = N_{\text{м}} [1 - N_{iн} / (zN_{\text{м}})] = \\
 &= N_{\text{м}} [1 - 1 / (zN_{\text{м}} / N_{iн})] = N_{\text{м}} \{1 - 1 / [z(1 - \eta_{\text{м.н}})]\},
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

де:  $\eta_{\text{м.н}}$  – номінальне значення механічного ККД двигуна.

У практиці досліджень для оцінки роботи окремого циліндра використовується [9, 10] ступінь додаткової потужності при забезпеченні номінального режиму по частоті обертання  $\delta_{\text{дод1н}} = N_{\text{дод1н}} / N_{eн}$ .

З урахуванням того, що  $N_{\text{м.н}} / N_{eн} = 1 / \eta_{\text{м.н}} - 1$ , отримуємо  $\delta_{\text{дод1н}} = \{1 - 1 / [z(1 - \eta_{\text{м.н}})]\} \cdot (1 / \eta_{\text{м.н}} - 1)$ .

Найважливішою умовою отримання надійних результатів при діагностуванні двигунів з допомогою безгальмівних методів навантаження є дотримання теплового режиму. Температура охолоджуючої води і мастила в картері повинна бути не вище 75 °С, так як температурний режим мастильної системи і системи охолодження визначає рівень механічних втрат двигуна. Для чотиритактних дизелів при використанні безгальмівного навантаження довантаження двигуна може бути здійснена шляхом дроселювання газів на випуску з двигуна. Це додаткове навантаження можна отримати як для відключених, так і для працюючих циліндрів установкою на випускному трубопроводі пристрою з дросельної заслінкою і манометром. Перед заслінкою для зменшення коливань протитиску встановлюють ресивер.

Крім гальмових і безгальмівних методів навантаження двигунів при перевірці потужностних показників може бути застосований метод розгону двигуна до максимальної частоти обертання холостого ходу при різкому збільшенні подачі палива.

Потужність вимірюють на прогрітому двигуні. Розгін здійснюється різким відкриттям дросельної заслінки або рейки насоса подачі палива від мінімально стійкої частоти обертання колінчатого валу холостого ходу до максимального. Процес одного виміру триває не більше 5 с, а з урахуванням допоміжного часу близько 3 хв. Прилад досить точний [11], різниця у визначенні потужності на стенді і з допомогою приладу не перевищує 3%.

Для виміру потужності, що розвивається окремими циліндрами, спочатку здійснюється розгін двигуна для визначення повної потужності. Потім відключається циліндр, потужність якого потрібно виміряти, і повторюється розгін. По різниці показань між першим і другим розгонами визначається індикаторна потужність у відключеному циліндрі.

Висновки з даного дослідження. Визначена потужність групи циліндрів при діагностуванні у разі відомої потужності довантаження, що перевіряються з рівняння балансу потужності.

Отримане рівняння потужності для суміщених режимів при діагностуванні використовуючи рівність індикаторної потужності відключених циліндрів та різниці ефективної потужності двигуна і потужності довантаження при послідовному відключенні спочатку однієї групи циліндрів, потім іншої

групи циліндрів з однаковим числом циліндрів та обох груп циліндрів разом.

Визначена потужність двигуна, що розвивається досліджуваним циліндром при діагностуванні з допомогою оцінки додаткової потужності привода на режимі номінальної частоти обертання колінчатого валу.

### Список використаних джерел

1. Молодан А.О. Вплив відключення частини циліндрів на режим роботи двигуна під навантаженням / А.О. Молодан // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка: Проблеми надійності машин. – 2018. – Вип. 192. – С. 195-203.
2. Молодан А.А. Оценка технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя с учетом разделения потоков газов, проходящих в картер: дис. канд. техн. наук. – Харьков, ХНАДУ, 2011. – 184 с.
3. Подригало М. А. Застосування методу парціальних прискорень для оцінювання тягово-швидкісних властивостей автомобілів та бойових машин / М. А. Подригало, Д.В. Абрамов, Р.О. Кайдалов // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – 2016. – №2 (28). – С. 16–21.
4. Медведев А.Н. Повышение топливной экономичности и экологической безопасности дизельных двигателей / А.Н. Медведев, Е.П. Меркулов // Научный вестник: сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЧВАИ, 2003. – №16 – С. 38-45.
5. Подригало М.А. Визначення потужності двигуна при русі автомобіля / М. А. Подригало, Д. В. Абрамов, Д. М. Клец [та ін.] // Новітні технології – для захисту повітряного простору: тези доповідей сьомої наукової конференції Харківського університету повітряних сил імені Івана Кожедуба, 13–14 квітня 2011 року. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2011.– С. 189.
6. Абрамов Д.В. Розробка експериментального методу визначення потужності двигуна при русі автомобіля по дорозі / Д.В. Абрамов, В.О. Тесля // Новітні технології – для захисту повітряного простору: тези доповідей дев'ятої наукової конференції Харківського університету повітряних сил імені Івана Кожедуба, 17–18 квітня 2013 року. – Х.:ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013. – С. 238.
7. Абрамов Д.В. Експериментальні дослідження потужності двигуна автомобіля в дорожніх умовах / Д.В. Абрамов, В.О. Тесля // Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України: зб. тез доповідей V науково-практичної конференції 28 березня 2013. – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2013. – С. 99.
8. Молодан А.О. Зміна потужності автотракторного двигуна колісної машини з вимкненим циліндром / А.О. Молодан // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: Науковий журнал. – Харків: ННІ ТС, ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2018. – С. 198-205.
9. Molodan A. 2018. Change of power and mechanical losses of a wheel vehicle engine with cylinders cutout / A. Molodan, O. Polyansky, M. Potapov // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2018. Vol.20. No.1 . 99-103.

10. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для ВУЗов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др. [Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова] // 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
11. Пат. 80213 Україна, МПК G01L 5/13. Спосіб визначення потужності двигуна автомобіля в експлуатації / Подригало М. А., Клец Д. М., Абрамов Д. В., Коробко А. І., Мостова А. М., Тесля В. О.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u 2012 07280; заявл. 15.06.2012; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.

## Аннотация

### **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ИХ ОТКЛЮЧЕНИЯ**

А.А. Молодан

*Получено уравнение мощности для совмещенных режимов при диагностировании, используя равенство индикаторной мощности отключенных цилиндров и разницы эффективной мощности двигателя и мощности догрузки при последовательном отключении сначала одной группы цилиндров, затем другой группы цилиндров с одинаковым числом цилиндров и обеих групп цилиндров вместе.*

*Определена мощность двигателя при диагностировании, которая развивается исследуемым цилиндром, если исследуемый цилиндр исправный, с помощью оценки дополнительной мощности привода на режиме номинальной частоты вращения коленчатого вала.*

## Abstract

### **DIAGNOSING THE POWER OF INDIVIDUAL CYLINDERS OF AUTOMOBILE AND TRACTOR ENGINES BY SHUTTING THEM OFF**

A. Molodan

*A power equation is obtained for combined modes in diagnosing using the equality of the indicated power of the disconnected cylinders and the difference between the effective power of the engine and the power of the additional load when first disconnecting one cylinder group, then another cylinder group with the same number of cylinders and both cylinder groups together.*

*The engine power was determined during the diagnosis, which is developed by the cylinder under study, if the cylinder under study is in good condition, by estimating the additional power of the drive in the rated speed mode of the crankshaft.*