

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2026-299-1-35-40>

УДК 629.017

## ВПЛИВ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЧАСТИНИ ЦИЛІНДРІВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ КРУТНОГО МОМЕНТУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Подригало М.А., Вахнюк С.А.

## THE EFFECT OF CYLINDER DEACTIVATION ON THE UNEVENNESS OF THE TORQUE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Podrygalo M.A, Vakhniuk S.A.

Одним з напрямків в підвищенні енергоефективності роботи автомобілів при часткових навантаженнях є відключення частини циліндрів їх двигунів внутрішнього згоряння. Нерівномірність крутного моменту впливає на динамічні властивості автомобіля і його енергоефективність. В роботі було проведено дослідження впливу відключення частини циліндрів на нерівномірність індикаторного крутного моменту двигунів внутрішнього згоряння. В багатьох роботах для оцінки енергоефективності моторно-трансмісійних установок було запропоновано цикловий пружно-динамічний коефіцієнт корисної дії. Однак в цих роботах не визначався вплив на нерівномірність індикаторного крутного моменту відключення частини циліндрів при зниженні зовнішнього навантаження на двигун внутрішнього згоряння. З метою оцінки впливу відключення частини циліндрів на нерівномірність індикаторного крутного моменту двигуна внутрішнього згоряння встановленого на автомобіль необхідно провести дослідження та вирішити такі завдання як: визначити зміну коефіцієнта нерівномірності індикаторного крутного моменту при відключенні частини циліндрів двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) та максимальну кількість циліндрів, яку можливо відключити при виконанні умови забезпечення руху автомобіля. Проведені дослідження вказують на те, що незалежно від кількості відключених циліндрів, коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту не змінюється. При цьому зменшуються як амплітуда коливань індикаторного крутного моменту, так і його середнє значення. Показано, що при реалізації максимальної ефективної потужності двигуна  $N_{\text{emax}}$  та середньої ефективної потужності двигуна під час експлуатації  $N_e$  можливе відключення до половини

циліндрів. При відключенні частини циліндрів двигуна внутрішнього згоряння можливий випадок коли може збільшитися зовнішній опір руху автомобіля. За рахунок реалізації максимальної потужності в циліндрах, які залишилися працюючими, проведена оцінка можливості подолання цього опору. Для проведення в подальшому досліджень виникає питання о доцільності реалізації в кожному відключеному циліндрі двигуна внутрішнього згоряння максимальної індикаторної потужності. Для вирішення цього питання більш раціональним може бути економічно доцільним варіант підключення частини відключених циліндрів. Результати проведеного дослідження в подальшому можуть бути використані при оцінці енергоефективності автомобілів.

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згоряння, індикаторний крутний момент, колінчастий вал, автомобіль, відключення частини циліндрів, цикл коливаний.

**Вступ.** Відключення частини циліндрів двигуна внутрішнього згоряння при часткових навантаженнях є одним з напрямків в підвищенні енергоефективності автомобілів [5 – 8].

В цій статті досліджено вплив відключення частини циліндрів на нерівномірність індикаторного крутного моменту ДВЗ. Визначено, що незалежно від кількості відключених циліндрів, коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту не змінюється. Показано, що при реалізації максимальної ефективної потужності двигуна  $N_{\text{emax}}$  та середньої ефективної потужності двигуна під час експлуатації  $N_e$

можливе відключення до половини циліндрів. Результати проведеного дослідження в подальшому можуть бути використані при оцінці енергоефективності автомобілів.

#### Аналіз останніх досягнень та публікацій.

Нерівномірність крутного моменту впливає на динамічні властивості автомобіля і його енергоефективність. Для оцінки енергоефективності моторно-трансмісійних установок в роботах [1 – 3] запропоновано цикловий пружно-динамічний коефіцієнт корисної дії.

$$(\eta_{mp}^{np})_{цикл} = 1 - \frac{A_M \left(1 - \frac{A_M}{2M_i}\right)}{\pi J_{зв} \overline{\omega_e} \omega_M \left(\frac{k^2}{\omega_M^2} - 1\right)}, \quad (1)$$

де  $A_M$  – амплітуда коливань індикаторного крутного моменту,

$$A_M = 0,5k_1 \overline{M}_i, \quad (2)$$

де  $\overline{M}_i$  – середнє за цикл коливань значення індикаторного крутного моменту роботи ДВЗ,

$$\overline{M}_i = \frac{M_{i\max} + M_{i\min}}{2}, \quad (3)$$

де  $M_{i\max}$ ;  $M_{i\min}$  – максимальне і мінімальне значення індикаторного крутного моменту за цикл його коливань;

$J_{зв}$  – приведений до колінчастого валу ДВЗ момент інерції мас, що обертаються, трансмісії і поступально рухомою масою автомобіля;

$\overline{\omega_e}$  – середнє за цикл коливань значення кутової швидкості;

$\omega_M$  – кругова частота коливань індикаторного крутного моменту ДВЗ,

$$\omega_M = 0,5\overline{\omega_e} i_u, \quad (4)$$

де  $i_u$  – число циліндрів ДВЗ;

$k$  – кругова частота власних (вільних) коливань вхідного кінця валу трансмісії,

$$k = \sqrt{\frac{C_{зв}}{J_{зв}}}, \quad (5)$$

де  $C_{зв}$  – кутова жорсткість трансмісії, приведена до колінчастого валу ДВЗ;

$k_1$  – коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту ДВЗ,

$$k_1 = \frac{M_{i\max} - M_{i\min}}{M_i}. \quad (6)$$

Для оцінки нерівномірності індикаторного крутного моменту ДВЗ використовується також ступінь нерівномірності індикаторного крутного моменту

$$k = \frac{M_{i\max}}{M_i} = k_1 + \frac{M_{i\min}}{M_i}. \quad (7)$$

Однак у відомих дослідженнях [1-4] не визначено вплив на нерівномірність індикаторного крутного моменту відключення частини циліндрів при зниженні зовнішнього навантаження на ДВЗ.

#### Мета і постановка завдань дослідження.

Метою дослідження є оцінка впливу відключення частини циліндрів на нерівномірність індикаторного крутного моменту двигуна внутрішнього згорання встановленого на автомобіль.

Для досягнення мети, яку поставлено, необхідно вирішити наступні завдання:

– визначити зміну коефіцієнта нерівномірності індикаторного крутного моменту при відключенні частини циліндрів ДВЗ;

– визначити максимальну кількість циліндрів, яку можливо відключити при виконанні умови забезпечення руху автомобіля.

**Виклад основного матеріалу.** Для багатциліндрового двигуна індикаторний крутний момент можна визначити як

$$M_{i\Sigma} = i_u \cdot \sum_{j=1}^{i_u} M_{ij}, \quad (8)$$

де  $M_{i\Sigma}$  – сумарний індикаторний момент двигуна;

$M_{ij}$  – індикаторний крутний момент, що утворюється одним ДВЗ.

При абсолютній рівномірності індикаторних крутних моментів по циліндрам можна прийняти

$$M_{i1} = M_{i2} = \dots = M_{ij} = \frac{M_{i\Sigma}}{i_u}, \quad (9)$$

де  $M_{i1}; M_{i2}; M_{ij}$  – індикаторні крутні моменти, що утворюються в першому, другому та в  $j$  – тому циліндрах.

Якщо розглядати зміни індикаторного крутного моменту по гармонійному закону [1, 2], та він має вигляд

$$M_i = \overline{M_{i\Sigma}} \left[ 1 + \frac{k_1}{2} \sin \left( \frac{\omega_e}{2} i_u t \right) \right], \quad (10)$$

де  $\overline{M_{i\Sigma}}$  – середнє за цикл коливань значення сумарного індикаторного крутного моменту, що утворюється всіма циліндрами ДВЗ;

$t$  – час.

Амплітуда коливань індикаторного крутного моменту в цьому випадку буде рівна

$$A_{Mi} = \overline{M_{i\Sigma}} \cdot \frac{k_1}{2}. \quad (11)$$

Приймаємо припущення того, що кут  $\varphi_B$  повороту колінчастого валу можливо визначити по середній кутовій швидкості колінчастого валу  $\overline{\omega_e}$ , отримаємо [1, 2]

$$\varphi_B = \overline{\omega_e} t, \quad (12)$$

Рівняння (10) з урахуванням (12) набуде вигляду

$$M_i = \overline{M_{i\Sigma}} \left[ 1 + \frac{k_1}{2} \sin \left( \frac{\varphi_B}{2} i_u \right) \right] = \overline{M_{i\Sigma}} + A_{Mi} \sin \left( \frac{\varphi_B}{2} i_u \right). \quad (13)$$

Максимальне і мінімальне значення індикаторного крутного моменту (рис.).

$$M_{i \max} = \overline{M_{i\Sigma}} + A_{Mi}, \quad (14)$$

$$M_{i \min} = \overline{M_{i\Sigma}} - A_{Mi}. \quad (15)$$

При відключенні  $m$  циліндрів

$$M'_{i\Sigma} = M_{i1} (i_u - m). \quad (16)$$

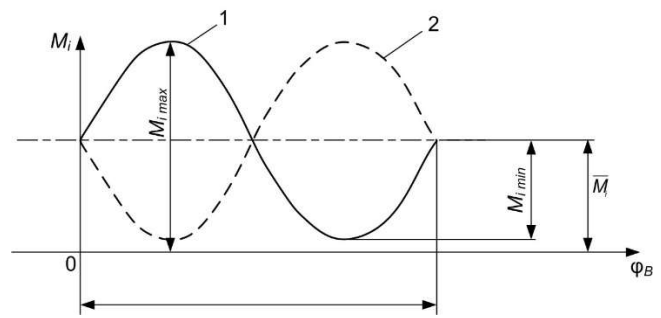


Рис. Графіки залежності  $M_i(\varphi_B)$  для двоциліндрового ДВЗ [1, 2]

Амплітуда коливань індикаторного крутного моменту в цьому випадку

$$A'_{Mi} = \overline{M_{i1}} (i_u - m) \cdot \frac{k_1}{2}. \quad (17)$$

Максимальний і мінімальний індикаторні моменти при відключенні частини циліндрів ДВЗ будуть мати вигляд

$$M'_{i \max} = \overline{M_{i1}} (i_u - m) + \overline{M_{i1}} (i_u - m) \cdot \frac{k_1}{2} = M_{i1} (i_u - m) \cdot \left( 1 + \frac{k_1}{2} \right); \quad (18)$$

$$M'_{i \min} = \overline{M_{i1}} (i_u - m) - \overline{M_{i1}} (i_u - m) \cdot \frac{k_1}{2} = M_{i1} (i_u - m) \cdot \left( 1 - \frac{k_1}{2} \right). \quad (19)$$

Середній індикаторний момент ДВЗ за один цикл його коливань

$$\overline{M'_{i\Sigma}} = \frac{M'_{i \max} + M'_{i \min}}{2} = \overline{M_{i1}} (i_u - m). \quad (20)$$

Коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту ДВЗ при відключенні частини циліндрів

$$k'_1 = \frac{\overline{M_{i1}} (i_u - m) \cdot \left( 1 + \frac{k_1}{2} \right) - \overline{M_{i1}} (i_u - m) \cdot \left( 1 - \frac{k_1}{2} \right)}{\overline{M_{i1}} (i_u - m)} = k_1. \quad (21)$$

Таким чином при відключенні  $m$  циліндрів ДВЗ коефіцієнт нерівномірності індикаторного крутного моменту не змінюється. При цьому зменшуються як амплітуда коливань індикаторного крутного моменту, так і його середнє значення.

При відключенні частини циліндрів ДВЗ можливий випадок коли може збільшитися

зовнішній опір руху автомобіля. Зробимо оцінку можливості подолання цього опору за рахунок реалізації максимальної потужності в циліндрах, які залишилися працюючими.

З відомих статистичних даних середнє значення індикаторної потужності двигуна складає

$$\overline{N}_i \cong 0,5N_{i_{\max}}. \quad (22)$$

де  $N_{i_{\max}}$  – максимальна індикаторна потужність;

$\overline{N}_i$  – середнє значення (математичнє очікування) реалізуємої індикаторної потужності двигуна автомобіля.

Якщо запас потужності у невідключених циліндрах  $(i_y - m)$  дозволить, за рахунок збільшення подачі палива, отримати

$$\overline{M}'_{i\Sigma} = \overline{M}_{i\Sigma}. \quad (23)$$

то в цьому випадку будемо мати

$$\overline{M}'_{i1}(i_y - m) = \overline{M}_{i1}i_y. \quad (24)$$

Враховуючи, що

$$\left(\frac{\overline{M}'_{i1}}{\overline{M}_{i1}}\right)_{\max} = \frac{N_{i_{\max}}}{N_i} \cong 2, \quad (25)$$

Приводимо (24) до вигляду

$$\frac{\overline{M}'_{i1}}{\overline{M}_{i1}} = \frac{i_y}{i_y - m} = \frac{1}{1 - \frac{m}{i_y}} \leq 2. \quad (26)$$

Звідти знаходимо

$$m \leq i_y. \quad (27)$$

В таблиці приведені значення максимальної кількості  $m_{\max}$  відключених циліндрів в залежності від загальної кількості  $i_{\text{ц}}$  циліндрів ДВЗ при збереженні умов реалізації рівня середньої індикаторної потужності

$$\overline{N}_i \leq N_{i_{\max}}. \quad (28)$$

Таблиця

**Розрахунок максимальної кількості  $m_{\max}$  відключених циліндрів для ДВЗ з різною кількістю циліндрів**

$i_{\text{ц}}$	2	3	4	6	8	12
$m_{\max}$	1	1	2	3	4	6

Для проведення в подальшому досліджень виникає питання о доцільності реалізації в кожному відключеному циліндрі ДВЗ максимальної індикаторної потужності (при повній подачі палива). Може бути більш економічно доцільним варіант підключення частини відключених циліндрів.

### Висновки.

1. В результаті проведеного дослідження визначено, що відключення частини циліндрів ДВЗ при зниженні навантаження на двигун автомобіля не тягне за собою збільшення коефіцієнта нерівномірності індикаторного крутного моменту.

2. Враховуючи наявність запасу потужності в циліндрах, що не відключаються, визначено максимально допущена кількість циліндрів, яку можна відключити без нанесення шкоди для реалізації необхідної для руху автомобіля індикаторної потужності двигуна.

3. В процесі наступних досліджень необхідно вирішити питання в тім, що є більш економічно вигідним варіантом – збільшення індикаторної потужності в циліндрах що не відключаються або підключення в роботу частини відключених циліндрів.

### Література

1. Динаміка машин з пружними ланками. На прикладі автомобілів і тракторів. Монографія [текст] / за ред. М.А. Подригало та О.С. Полянського. Харків: Естет Принт, 2024. 272 с.
2. Подригало Н.М. Концепція забезпечення ефективності та контролю функціональної стабільності моторно-трансмійсійних установок транспортно-тягових засобів: автореферат дис. на отримання наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. / Н.М. Подригало. Харків, 2016. 36 с.
3. Подригало М.А., Подригало Н.М., Вахнюк С.А., Біша В.М. Цикловий механічний коефіцієнт корисної дії моторно-трансмійсійних установок транспортно-тягових машин // Автомобільний транспорт. Харків : ХНАДУ. 2024. №55(2024).

- C. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2024.55.0>.
4. Молодан А.О. Наукові основи забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини циліндрів: автореферат дис. на отримання наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. / А.О. Молодан. Харків, 2021. 40 с.
  5. Андрусенко С. І., Будниченко І. В., Дембіцький В. М. Застосовність показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2023. № 1. С. 60-70.
  6. Малащенко В.В., Ніколайчук В.В. Обґрунтування раціональних параметрів пружних елементів машин // 10-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. Львів. 2011. 174 с.
  7. Редзюк А. М., Клименко О. А. Впровадження технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами в Україні // Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології 169 і методи підготовки фахівців : наук. пр. міжнар. наук.- практ. конф. Харків : ХНАДУ. 2017. С. 41–42.
  8. Литвин В. В., Таран І. О. Вплив режимів руху міських автобусів на паливну економічність та екологічну безпеку // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк : ЛНТУ. 2019. №1 (12). С. 92–97.
  6. Malashchenko V.V., Nikolaychuk V.V. Justification of rational parameters of elastic machine elements // 10th International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv. Lviv. 2011. 174 p.
  7. Redziuk, A. M., Klymenko, O. A. Introduction of technical regulation of energy efficiency in road vehicles in Ukraine // Automobile transport and automotive engineering. Latest technologies and methods of training specialists: scientific proceedings of the international scientific and practical conference. Kharkiv: KNUCA. 2017. Pp. 41–42.
  8. Lytvyn V. V., Taran I. O. The impact of urban bus traffic modes on fuel efficiency and environmental safety // Modern technologies in mechanical engineering and transport. Lutsk: LNTU. 2019. No. 1 (12). Pp. 92–97.

**Podrygalo M.A, Vakhniuk S.A. The effect of cylinder deactivation on the unevenness of the torque of an internal combustion engine**

*One way to improve the energy efficiency of cars under partial loads is to deactivate some of the cylinders in their internal combustion engines. Torque unevenness affects the dynamic properties of a car and its energy efficiency. This study investigated the effect of disabling some of the cylinders on the unevenness of the indicator torque of internal combustion engines. Many studies have proposed a cyclic elastic-dynamic efficiency coefficient to assess the energy efficiency of engine-transmission systems. However, these studies did not determine the effect of disabling some of the cylinders on the unevenness of the indicator torque when the external load on the internal combustion engine is reduced. In order to assess the effect of cylinder deactivation on the unevenness of the indicator torque of an internal combustion engine installed on a car, it is necessary to conduct research and solve the following tasks: determine the change in the coefficient of unevenness of the indicator torque when deactivating part of the cylinders of an internal combustion engine and the maximum number of cylinders that can be deactivated while ensuring the movement of the vehicle. Studies show that regardless of the number of cylinders shut down, the coefficient of unevenness of the indicator torque does not change. At the same time, both the amplitude of the indicator torque fluctuations and its average value decrease. It has been shown that when the maximum effective power of the Nemax engine and the average effective power of the Ne engine are achieved during operation, up to half of the cylinders can be disabled. When some of the cylinders of an internal combustion engine are deactivated, the external resistance to the movement of the vehicle may increase. By utilizing the maximum power in the cylinders that remain operational, an assessment was made of the possibility of overcoming this resistance. For further research, the question arises as to the feasibility of achieving maximum indicated power in each disabled cylinder of the internal combustion engine. To resolve this issue, it may be more rational and economically feasible to connect some of the disabled cylinders. The results of this study can be used in the future to assess the energy efficiency of vehicles.*

**References**

1. Dynamics of machines with elastic links. Using the example of cars and tractors. Monograph [text] / edited by M.A. Podrygalo and O.S. Polyansky. Kharkiv: Estet Print, 2024. 272 p.
2. Podrygalo N.M. Concept of ensuring the efficiency and control of the functional stability of motor-transmission units of transport and traction vehicles: abstract of dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences: specialty 05.22.20 Operation and repair of transport vehicles. / N.M. Podrygalo. Kharkiv, 2016. 36 p.
3. Podrygalo M.A., Podrygalo N.M., Vakhniuk S.A., Bisha V.M. Cyclic mechanical efficiency of motor-transmission units of transport and traction vehicles // Automobile Transport. Kharkiv: KNUCA. 2024. No. 55(2024). P. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2024.55.0>.
4. Molodan, A.O. Scientific foundations for ensuring the reliability and functional stability of wheeled vehicles in cylinder deactivation mode: abstract of dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences: specialty 05.22.20 Operation and repair of transport vehicles. / A.O. Molodan. Kharkiv, 2021. 40 p.
5. Andrusenko S.I., Budnichenko I.V., Dembitsky V.M. Applicability of indicators for assessing the energy efficiency of vehicles // Modern technologies in mechanical engineering and transport. 2023. No. 1. P. 60-70.

**Key words:** *internal combustion engine, torque indicator, crankshaft, automobile, cylinder deactivation, oscillation cycle.*

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри технології машинобудування та ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>; e-mail: [pmikhab@gmail.com](mailto:pmikhab@gmail.com).

**Вахнюк Сергій Анатолійович** – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра технології машинобудування та ремонту машин, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3584-7730>; e-mail: [vakhniuk.ser@gmail.com](mailto:vakhniuk.ser@gmail.com).

Стаття подана 19.12.2025.