

## АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

UDC 629.083

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.144-149](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.144-149)

**Andrii Molodan**, Prof., DSc., **Oleksandr Polianskyi**, Prof., DSc., **Yevhen Dubinin**, Prof., DSc., **Oleh Sokolovskyi**, post-graduate, **Maksym Krasnokutskyi**, post-graduate  
*Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine*  
*e-mail: tmirm@ukr.net*

### Theoretical calculations of the relative additional fuel consumed when shutting down the cylinder

Cylinder deactivation is a technique used to improve the efficiency of an engine by shutting down a certain number of engine cylinders. Cylinder deactivation allows the remaining cylinders to operate more efficiently, increasing their load and improving efficiency. This technique has gained interest both domestically and internationally, particularly for automotive engines, as it helps improve fuel economy at idle and light loads. The process of calculating effective cylinder deactivation in a multi-cylinder engine and its effect on additional fuel consumption is discussed. The need to improve engine efficiency in various speed and load modes is driven by requirements for fuel economy, reduced exhaust toxicity, and the need to improve engine transients while maintaining other characteristics. In order to effectively utilize engine power and maintain performance, the fuel supply to operating cylinders must be increased. However, deactivating cylinders during engine operation results in a decrease in engine power, which in turn reduces crankshaft speed and torque. In summary, cylinder deactivation is a technique that has the potential to improve the economic performance of engines, particularly at idle and light loads.

A method for effectively deactivating cylinders in multi-cylinder engines has been developed based on the dependence of indicator efficiency on load changes. The study examined the effect of cylinder deactivation on mechanical losses and efficiency when load is reduced from 100% to 30%. The results showed that it is possible to use only two cylinders of a four-cylinder engine at 30% load, resulting in reduced mechanical losses and improved efficiency. A proposed method for determining the relative additional fuel consumption when cylinders are deactivated is presented. Deactivated cylinders do not supply air to the exhaust manifold, which reduces pumping losses and creates less rolling resistance, resulting in up to a 25% reduction in fuel consumption. This reduction is especially noticeable in urban driving.

**car, deactivated cylinders, fuel consumption, engine irregularity, dynamics**

**Formulation of the problem.** The need to improve the efficiency of engine operation in a wide range of speed and load modes stimulates both the search for new technical solutions and the development of already known and proven ones. It is connected, first of all, with stricter requirements for fuel efficiency and toxicity of exhaust gases (EG) and, in some cases, with the necessity to improve transient processes (TP) in the engine while maintaining other characteristics at the same level or even improving them.

Significant time in the operation of engines of vehicles and power plants are idle (EI), low load and unsteady modes (URM). One of the ways to improve engine operation in these modes is the method of cylinder deactivation.

**Analysis of recent research and publications.** A considerable amount of scientific research is devoted to the problem of reducing fuel consumption and toxicity of exhaust gases of automobiles. A significant contribution to the solution of this problem was made by N.Y. Govorushchenko. One of the first energetic approaches to evaluating the efficiency of cars was proposed by P.M. Gashchuk. This approach

was developed in the works of P.P. Evseev. From foreign sources we should also mention the work of Y. Matskerle [1–5]. The emergence of new, alternative power units (electric motors, hydrogen internal combustion engines, hybrid power units, etc.), energy sources (accumulators, flywheels) [6] has led to the need to expand the concept (operational property) of "fuel efficiency" by including in it the expenditure of not only thermal energy of fuel, but also energy of other types (electrical and mechanical). In [7] it is proposed to introduce the concept of "energy efficiency of a car" and to consider possible criteria for its evaluation.

The influence of the non-uniformity of the torque of the combustion engine on the traction force on the driving wheels is studied in [5]. In [8], using the harmonic law of variation of the total traction force on the driving wheels  $P_k = \overline{P}_k + A_p \sin(\Omega t)$ , it was determined that additional energy losses are caused by the non-uniformity of the traction force, where:  $\overline{P}_k$  – is the mean value of the traction force;  $A_p$  – is the amplitude of the traction force oscillations;  $\Omega$  – is the circular frequency of oscillations of the engine torque and the traction force on the wheels;  $t$  – is the time.

**Setting objectives.** Justification of the possibility of improving the fuel efficiency at idle and low load modes by switching off (switching on) the fuel supply in a part of cylinders of a multi-cylinder automotive engine.

In order to achieve the given goal, it is necessary to solve the following tasks:

- to present the method of calculation of the effective cylinder cut-off in a multi-cylinder engine and its effect on the relative additional fuel consumption;
- to determine the relative additional fuel consumption at cylinder deactivation in multi-cylinder engines.

**Presenting main material.** To answer the question of how many engine cylinders should be shut down in order to efficiently utilize engine power and keep the operating cylinders at the same level, it is necessary to increase the cycle fuel delivery. With a higher cycle flow, the average indication pressure in the cylinders increases and the combustion process improves. When some of the engine cylinders are shut down during operation, the engine's indicated power decreases, resulting in a decrease in crankshaft speed and engine torque.

In order to realize the set task, it is necessary to solve the following problem to determine the additional energy and fuel consumption for the car movement when using mechanical drive of driving wheels.

Additional energy consumption due to fluctuations in traction force [5, 8]

$$\Delta W = \frac{A_p}{\pi} \cdot S, \quad (1)$$

where  $A_p$  – amplitude of tractive force oscillations;

$S$  – vehicle mileage.

Amplitude of the oscillations of the tractive force of the vehicle

$$A_p = \frac{A_{mi} \cdot j_m \cdot j_{tr} \cdot u_k \cdot u_0}{r_d}, \quad (2)$$

where  $A_{mi}$  – amplitude of oscillations of the torque indicator [5, 8];

$r_d$  – dynamic radius of the driving wheels.

$$A_{mi} = 0,5 \cdot \overline{M}_i \cdot k_1, \quad (3)$$

where  $\overline{M}_i$  – the average value of the indicator torque is determined by the external load applied to the vehicle;

$k_1$  – torque inhomogeneity factor of the internal combustion engine [3, 5, 8];

$$k_1 = 0,08 + \frac{14,44}{i_{cyl}}, \quad (4)$$

where  $i_{cyl}$  – the number of cylinders in the internal combustion engine that have failed.  
Engine torque indicator on all working cylinders of the internal combustion engine [8]

$$M_i' = \overline{M_i} + 0,5 \cdot \overline{M_i} \cdot k_1' \cdot \sin\left(\frac{\overline{\omega_e}}{2} \cdot i_{cyl}' \cdot t\right), \quad (5)$$

where  $\overline{\omega_e}$  – average crankshaft speed;

$i_{cyl}'$  – number of all internal combustion engine cylinders.

When some of the cylinders are disabled (failure)

$$M_i'' = \overline{M_i} + 0,5 \cdot \overline{M_i} \cdot k_1'' \cdot \sin\left(\frac{\overline{\omega_e}}{2} \cdot i_{cyl}'' \cdot t\right), \quad (6)$$

where  $i_{cyl}''$  – number of cylinders in use.

Then  $\overline{M_i}' = \overline{M_i}'' = \overline{M_i}$ , the amplitudes of the oscillations of the torque indicator are

$$A_{mi}' = 0,5 \cdot \overline{M_i} \cdot k_1'; \quad (7)$$

$$A_{mi}'' = 0,5 \cdot \overline{M_i} \cdot k_1''; \quad (8)$$

$$k_1' = 0,08 + \frac{14,44}{i_{cyl}'}; \quad (9)$$

$$k_1'' = 0,08 + \frac{14,44}{i_{cyl}''}. \quad (10)$$

Amplitudes of traction force oscillations

$$A_p' = \frac{A_{mi}' \cdot j_m \cdot j_{dp} \cdot u_k \cdot u_0}{r_d}; \quad (11)$$

$$A_p'' = \frac{A_{mi}'' \cdot j_m \cdot j_{dp} \cdot u_k \cdot u_0}{r_d}. \quad (12)$$

Relative increase in additional energy consumption when part of the cylinders are shut down (failure)

$$\Delta i_{cyl} = i_{cyl}' - i_{cyl}''; \quad (13)$$

$$\frac{\Delta W''}{\Delta W'} = \frac{A_p''}{A_p'} = \frac{k_1''}{k_1'} = \frac{0,08 + \frac{14,44}{i_{cyl}'}}{0,08 + \frac{14,44}{i_{cyl}' - \Delta i_{cyl}}} = \frac{i_{cyl}'}{i_{cyl}' - \Delta i_{cyl}} \left(1 - \frac{\Delta i_{cyl}}{i_{cyl}' + 180,5}\right), \quad (14)$$

or

$$k_w = \frac{\Delta W''}{\Delta W'} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta i_{cyl}}{i'_{cyl}}} \left( 1 - \frac{\frac{\Delta i_{cyl}}{i'_{cyl}}}{1 + \frac{180,5}{i'_{cyl}}} \right). \quad (15)$$

Table 1 shows the calculation of the relative additional fuel consumption  $k_w$  when a portion of the engine cylinders are shut down (failure).

Table 1 – Results of relative additional fuel consumption calculation

$i'_{cyl}$	$\Delta i_{cyl}$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	1,19	1,48	1,97	2,94	5,84	-	-	-	-	-	-	-
8	1,14	1,32	1,57	1,96	2,60	3,87	7,70	-	-	-	-	-
10	1,11	1,24	1,41	1,63	1,95	2,42	3,21	4,79	9,53	-	-	-
12	1,09	1,19	1,31	1,47	1,67	1,94	2,31	2,88	3,81	5,69	11,31	-

Source: developed by the author

The peculiarity of tractor engine operation is a wide range of speed and load modes of operation when the wheeled vehicle is moving, including traction, when the engine transmits torque  $M_k$  to the transmission, and braking, when the engine receives braking torque from the transmission and brakes the vehicle. For movements at very low speeds, it is possible to operate the engine with a slipping clutch at low crankshaft speeds and torques, both positive and negative, close to zero, for example, when maneuvering in tight spaces, approaching for loading and unloading, coupling to a trailer device, and other such cases.

These features make it practically impossible to exclude modes in which the cylinders are switched off and then on from the working area. At the same time, these modes of operation require professional vehicle handling. Unexpected cylinder cycling can lead to loss of control. Therefore, the process of shutting down and restarting the cylinders of a tractor engine should not be abrupt, but gradual, and this should be considered and ensured in the design of a cylinder shutdown device.

When some of the engine cylinders are shut off during operation, the engine's indicated power decreases, resulting in a decrease in crankshaft speed and engine torque. To maintain them at the same level, it is necessary to increase the cyclic fuel supply to the operating cylinders. With a higher cyclic fuel supply to the working cylinders, the average indication pressure increases and the combustion process improves.

### Conclusions.

1. It is demonstrated that the fuel consumption at idle and low loads with partial cylinder deactivation is determined by the dependence of the indicator efficiency on the load variation. The method of calculating the effective cylinder deactivation in a multi-cylinder engine and its effect on the relative additional fuel consumption is presented.

2. When the engine load is reduced from 100% to 30%, the percentage of mechanical losses in indicator operation increases from 12% to 33%, and the mechanical efficiency decreases from 88% to 67%. A power output equal to 30% of the maximum can be achieved with only two cylinders of a four-cylinder engine.

3. A method for determining the relative additional fuel consumption at cylinder deactivation in multi-cylinder engines is proposed.

4. The disabled cylinders have no pumping losses as they do not supply air to the

exhaust manifold, and they create much less resistance when rolling. As a result, fuel consumption can be reduced by up to 25%, with a particularly noticeable difference in city driving.

## List of references

1. Куций П. В. Поліпшення експлуатаційних показників транспортних засобів в неусталених режимах оптимізацією способу регулювання дизелів : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.22.20 / НТУ. Київ, 2015. 206 с. [http://diser.ntu.edu.ua/Kutsyi\\_dis.pdf](http://diser.ntu.edu.ua/Kutsyi_dis.pdf)
2. Молодан А. О. Економія палива за рахунок визначення раціонального відключення циліндрів в двигуні. *Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: наукові праці міжнародної науково-практичної та науково-методичної конференції присвяченої 85-річчю кафедри автомобілів та 100-річчю з Дня народження професора А.Б. Гредескула, 20-21 жовтня 2016 р.* Харків : ХНАДУ, 2016. С. 149-150.
3. Molodan A. , Polyanskyi O. , Potapov M. Change of power and mechanical losses of a wheel vehicle engine with cylinders cutout. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.* 2018. Vol.20. Issue 1, P. 99-103.
4. Molodan A., Polyanskii A., Potapov N. Cause and investigative failure analysis in nominal engine operation and partial disabling of cylinders. *Транспорт, екологія – устойчиво развитие. Сборник доклади XXVI научно –техническа конференция с международно участие, 8-10 Октомври 2020.* Варна: Технически университет, 2020. Vol. 1, No.. 27. P. 132-137.
5. Молодан А. О. Наукові основи забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини циліндрів : дис. на здобуття наук. ступеня д-р техн. наук : 05.22.20 / ХНАДУ: Харків, 2021. 387 с. [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_Vchena\\_rada/VR\\_64\\_059\\_02/dis\\_Molodan.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Vchena_rada/VR_64_059_02/dis_Molodan.pdf)
6. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика. Харків: ХНАДУ, 2011. 236 с.
7. Кайдалов Р. О. Дослідження можливості зниження енергетичних втрат автомобіля при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс. *Системи обробки інформації.* 2016. Вип. 9 (146). С. 13-17.
8. Polyanskii A., Molodan A., Potapov M. New approach to technical maintenance and repair of autotractor technics . *Транспорт, екологія – устойчиво развитие. Сборник доклади XXIV научно-техническа конференция с международно участие, 14-16 Юни 2018.* Варна: Технически университет, 2018. № 25. P. 109-115.
9. Молодан А. О. Підвищення енергетичної ефективності колісних машин методом відключення циліндрів в автотракторному двигуні. *Вісник машинобудування та транспорту.* 2019. №2(10). С. 48-53.
10. Молодан А. О. Діагностування потужності окремих циліндрів автотракторних двигунів методом їх відключення . *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки.* 2019. № 198. С. 130-136.

## References

1. Kutsiy, P. V. (2015). Polipshennia ekspluatatsijnykh pokaznykiv transportnykh zasobiv v neustalenykh rezhymakh optymizatsiieiu sposobu rehuliuвання dyzeliv [Improvement of operational indicators of vehicles in unstable modes by optimizing the method of regulating diesel engines]. *Candidate's thesis* [in Ukrainian]. [http://diser.ntu.edu.ua/Kutsyi\\_dis.pdf](http://diser.ntu.edu.ua/Kutsyi_dis.pdf)
2. Molodan, A. O. (2016). Ekonomiiia palyva za rakhunok vyznachennia ratsional'noho vidkliuchennia tsylindriv v dvyhuni [Fuel savings due to the determination of the rational shutdown of cylinders in the engine]. *The latest technologies in the automotive industry, transport and in the training of specialists: naukovy pratsi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi ta naukovo-metodychnoi konferentsii prysviachenoj 85-richchju kafedry avtomobiliv ta 100-richchju z Dnia narodzhennia profesora A.B. Hredeskula – scientific works of the international scientific-practical and scientific-methodological conference dedicated to the 85th anniversary of the automobile department and the 100th anniversary of the birthday of professor A.B. Gredeskula* (с. 149–150) [in Ukrainian].
3. Molodan, A. O., Polyanskyi, O. S., & Potapov, M. M. (2018). Change of power and mechanical losses of a wheel vehicle engine with cylinders cutout. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Vol.20, Issue 1*, P. 99-103 [in English].
4. Molodan, A. O., Polyanskyi, O. S., & Potapov, M. M. (2020). Cause and investigative failure analysis in nominal engine operation and partial disabling of cylinders. *Транспорт, екологія – устойчиво развитие.*

- Сборник доклади XXVI научно –техніческа конференция с международно участие, 8-10 Октомври 2020. Варна: Технически университет, 2020. Vol. 1, No.. 27. P. 132-137 [in English].
5. Molodan, A. (2021). Naukovi osnovy zabezpechennia nadijnosti i funktsional'noi stabil'nosti kolisnykh mashyn v rezhymi vidkliuchennia chastyny tsylindriv [Scientific bases of ensuring the reliability and functional stability of wheeled machines in the mode of disconnection of part of the cylinders]. *Doctor's thesis* [in Ukrainian]. [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_Vchena\\_rada/VR\\_64\\_059\\_02/dis\\_Molodan.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Vchena_rada/VR_64_059_02/dis_Molodan.pdf)
  6. Bazhynov, O., Smyrnov, O., & Sierikov, S. (2011). *Synerhetychnyj avtomobil. Teoriia i praktyka. [Synergistic car. Theory and practice]*. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
  7. Kaidalov, R. (2016). Doslidzhennia mozhlyvosti znyzhennia enerhetychnykh vtrat avtomobilia pry vykorystanni hibrydnogo elektromekhanichnogo pryvodu veduchykh kolis [Research on the possibility of reducing the car's energy losses when using a hybrid electromechanical drive of the driving wheels]. *Systemy obrobky informatsii – Information processing systems*, 9(146), 13-17 [in Ukrainian].
  8. Molodan, A. O., Polyanskyi, O. S., & Potapov, M. M. (2018). New approach to technical maintenance and repair of autotractor technics. *Транспорт, екологія – устойчиво розвитие*. Сборник доклади XXIV научно-техніческа конференция с международно участие, 14-16 Юни 2018. Варна: Технически университет, № 25. P. 109-115 [in English].
  9. Molodan, A. O. (2019). Pidvyschennia enerhetychnoi efektyvnosti kolisnykh mashyn metodom vidkliuchennia tsylindriv v avtotraktornomu dvyhuni [Increasing the energy efficiency of wheeled vehicles by the method of turning off the cylinders in the tractor engine]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Herald of mechanical engineering and transport*, 2(10), 48-53 [in Ukrainian].
  10. Molodan, A. O. (2019). Diahnostuvannia potuzhnosti okremykh tsylindriv avtotraktornykh dvyhuniv metodom ikh vidkliuchennia [Diagnostics of the power of individual cylinders of tractor engines by the method of their disconnection]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnogo universytetu sil'skoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Technical sciences*, 198, 130-136 [in Ukrainian].

**А.О. Молодан**, проф., д-р техн. наук, **О.С. Полянський**, проф., д-р техн. наук, **Є.О. Дубінін**, проф., д-р техн. наук, **О.В. Соколовський**, асп., **М.В. Краснокутський**, асп.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна*

### **Теоретичні розрахунки відносної додаткової витрати палива при відключенні циліндра**

У статті обговорюються переваги відключення циліндрів двигуна для ефективного використання його потужності. Збільшення циклічної подачі палива в робочі циліндри покращує процес згоряння і підвищує середній індикаторний тиск. Однак, коли циліндри відключаються, індикаторна потужність двигуна, частота обертання колінчастого валу та крутний момент знижуються. Необхідність підвищення ефективності в широкому діапазоні швидкостей і навантажень призвела до пошуку нових технічних рішень і розвитку існуючих. Деактивація циліндрів дозволяє циліндрам, що залишилися, працювати більш ефективно, збільшуючи їх навантаження і ККД. Цей підхід викликав інтерес з точки зору покращення економічних показників двигунів, зокрема автомобільних, на режимах холостого ходу та часткового навантаження. У тексті також представлено метод розрахунку відносної додаткової витрати палива при відключенні циліндрів у багатоциліндрових двигунах. Загалом, основна увага приділяється покращенню паливної економічності, зниженню токсичності вихлопних газів та покращенню експлуатаційних характеристик двигуна.

Розроблено метод ефективної деактивації циліндрів у багатоциліндрових двигунах, що базується на залежності індикаторного ККД від зміни навантаження. Досліджено вплив деактивації циліндрів на механічні втрати та механічний ККД при зниженні навантаження зі 100% до 30%. Встановлено, що за 30% навантаження можливе використання тільки двох циліндрів чотирициліндрового двигуна, що призводить до зниження механічних втрат і поліпшення ККД. Запропоновано метод визначення відносної додаткової витрати палива при деактивації циліндрів. Відключені циліндри не подають повітря у випускний колектор, що знижує насосні втрати і створює менший опір під час кочення, що в підсумку призводить до скорочення витрати палива до 25%, особливо помітного під час руху в міських умовах.

**автомобіль, відключені циліндри, економія палива, нерівномірність роботи двигуна, динаміка**

*Одержано (Received) 18.10.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 28.11.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023*