

УДК 621.43

**М.І. Міщенко**, д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри «Автомобільний транспорт»  
*Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
вул. Кірова 51, м. Горлівка–46, Донецька обл., 84646, tim2802@mail.ru*

**В.Г. Заренбін**, д-р. техн. наук, професор, декан механічного факультету, завідувач  
кафедри «Експлуатація та ремонт машин»  
*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського 24а,  
м. Дніпропетровськ, 320600*

**В.С. Шляхов**, аспірант кафедри «Автомобільний транспорт»  
*Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
вул. Кірова 51, м. Горлівка–46, Донецька обл., 84646, sws.87@mail.ru*

**Т.М. Колеснікова**, асистент кафедри «Експлуатація та ремонт машин»  
*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського 24а,  
м. Дніпропетровськ, 320600*

**Ю.В. Юрченко**, асистент кафедри «Автомобільний транспорт»  
*Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
вул. Кірова 51, м. Горлівка–46, Донецька обл., 84646*

**А.С. Корольова**, магістрант кафедри «Автомобільний транспорт»  
*Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
вул. Кірова 51, м. Горлівка–46, Донецька обл., 84646*

## **ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ В АВТОМОБІЛЬНОМУ БЕНЗИНОВОМУ ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

*Наведено деякі результати досліджень автомобільного двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) з відключенням циліндрів, що ведуться на кафедрі «Автомобільний транспорт» Автомобільно-дорожнього інституту ДВНЗ «ДонНТУ». Експериментально одержано вплив кількості працюючих циліндрів на кут відкриття дросельної заслінки в шестициліндровому двигуні при різних частотах обертання колінчастого вала. Показано, що паливна економічність двигуна покращується зі зменшення кількості працюючих циліндрів і збільшенні частоти обертання колінчастого вала і знаходиться в межах від 28 до 42 %. Наведено рівняння регресії, що отримані за результатами проведених досліджень.*

**Ключові слова:** *двигун внутрішнього згорання, відключення циліндрів, паливна економічність, дослідження.*

**Вступ.** На сьогоднішній день на автомобільному транспорті в якості джерела енергії майже стовідсотково застосовуються поршневі двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). Як відомо, автомобільний транспорт є основним споживачем продуктів переробки нафти, ефективно використання яких, у зв'язку з її обмеженими запасами, стає все більш актуальним. Сучасні умови експлуатації ДВЗ у складі автомобілів характеризуються великою часткою режимів малих навантажень та холостого ходу, в яких їх економічні показники різко погіршуються. З іншого боку, виконання все більш жорстких норм викидів шкідливих речовин, зокрема по двоокису вуглецю, який хоча й не вважається токсичним компонентом, але є основною причиною виникнення «парникового ефекту», можливо за рахунок зменшення кількості споживаного палива. Тому сьогодні автовиробники вишукують способи покращення економічності автомобільних ДВЗ. В цьому напрямку вже досягнуто успіхів: використання змінних фаз газорозподілу, рециркуляція відпрацьованих газів, розшарування заряду, застосування змінного ступеня стиску, безпосереднє впорскування палива в бензинових двигунах та ін. Однак резерви суттєвого покращення економічних показників ДВЗ практично вичерпано. Основною причиною погіршення економічних характеристик бензинових ДВЗ в часткових режимах є дроселювання суміші на впуску, тобто кількісне регулювання навантаження, тому перспективним є застосування в таких ДВЗ альтернативних способів його зміни регулюванням: робочого об'єму двигуна [1], фаз газорозподілу [2] та ін. Серед них можна виділити регулювання робочого об'єму двигуна шляхом зміни кількості працюючих циліндрів – так зване відключення циліндрів. ДВЗ з відключенням циліндрів сьогодні вже застосовуються на автомобільному транспорті [3]. Рівень економічності, що досягнуто в них за рахунок відключення циліндрів, сягає 10–15 % [4, 5]. В цих двигунах циліндри виводяться з роботи групами. Очевидно, що при такому грубому регулюванні не можливо досягти плавної зміни навантаження. Більш перспективним є застосування відключення циліндрів по одному. Однак при такій схемі суттєво ускладнюється конструкція двигуна. В АДІ ДонНТУ розроблено механізм відключення циліндрів для бензинового автомобільного двигуна з кривошипно-кулісним механізмом, що дозволяє без суттєвих ускладнень організувати деактивацію циліндрів за так званім мо-

дальшим принципом, який передбачає відключення будь якої кількості циліндрів, за будь яким алгоритмом шляхом зупинки деталей поршневої групи. Визначенню доцільності застосування такого методу відключення циліндрів присвячена ця стаття.

**Постановка задачі дослідження.** Як відомо, зниження навантаження в бензинових двигунах досягається за рахунок прикриття дросельної заслінки. Це призводить до зниження індаторного ККД через зростання відносної кількості відпрацьованих газів та підвищення теплових втрат в стінки камери згоряння. Крім того, зниження навантаження призводить і до зниження механічного ККД головним чином за рахунок зростання насосних втрат. Все це обумовлює різке зростання питомої ефективної витрати палива. При відключенні циліндрів на часткових навантаженнях і в режимах холостого ходу циліндри, що залишились в роботі працюють з більшим навантаженням. Це призводить до покращення показників ДВЗ. При цьому навантаження регулюють комбіновано: спочатку грубо – кількістю циліндрів, що знаходяться в роботі, а потім для збереження рівня навантаження – кутом відкриття дросельної заслінки. Очевидно, що після відключення певної частини працюючих циліндрів, дросельна заслінка повинна бути відкрита на більший кут, чим при роботі на всіх циліндрах.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є визначення впливу числа працюючих циліндрів на кут відкриття дросельної заслінки під час роботи двигуна в режимах часткових навантажень, а також визначення показників паливної економічності двигуна при відключенні циліндрів по одному.

**Результати дослідження.** Об'єктом експериментальних досліджень був серійний рядний шестициліндровий, чотиритактний карбюраторний двигун ГАЗ-51. Двигун обладнано безконтактною системою запалювання на базі електронного комутатора 0529.3734 від автомобіля ВАЗ 2108. Дослідження двигуна проводились в лабораторії ДВЗ кафедри «Автомобільний транспорт» АДІ ДонНТУ. Відключення циліндрів відбувалося за допомогою перекриття впускного отвору відповідного циліндра шляхом встановлення замість штатної прокладки між блоком циліндрів і впускним колектором суцільної. Прокладка газопроводів двигуна ГАЗ-51 складається з трьох частин (рис. 1). Прокладки застосовувались із пароніту товщиною 2 мм і профілями, які відповідали перерізу впускних отворів. Набір встановлюваних прокладок формувався виходячи з потреби у кількості працюючих циліндрів.

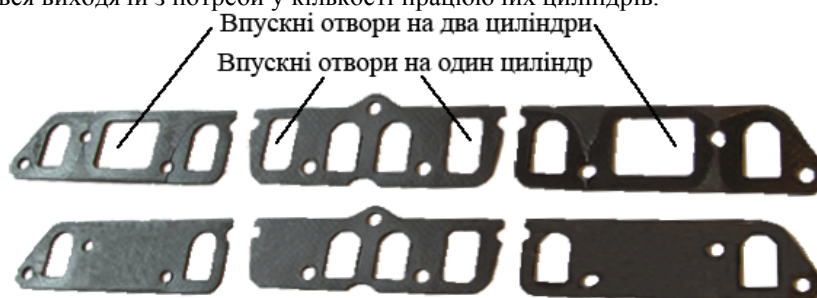


Рисунок 1 – Прокладки газопроводів двигуна ГАЗ-51  
Штатні (зверху); використовувані в експерименті (знизу) – один працюючий циліндр

В табл. 1 наведені результати експериментальних досліджень енергетичних та економічних показників двигуна ГАЗ-51 при відключенні циліндрів.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

Частота обертів колінчастого вала двигуна $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$						
Кількість працюючих циліндрів, $z$	1	2	3	4	5	6
Кут відкриття дросельної заслінки, $\varphi_{др}$ , %	100	16	7	2,5	-	-
Питома ефективна витрата палива, $g_e$ , г/кВт·год	355,55	389,71	447,19	495,91	-	-
$n = 2000 \text{ хв}^{-1}$						
$z$	1	2	3	4	5	6
$\varphi_{др}$	100	30	20	14	10	-
$g_e$	363,70	377,78	441,68	507,47	573,15	-
$n = 2800 \text{ хв}^{-1}$						
$z$	1	2	3	4	5	6
$\varphi_{др}$	100	48	38	33	30	27
$g_e$	378,78	395,76	452,95	509,34	563,30	649,17

На рис. 2 наведені розрахункові (побудовані за рівняннями регресії, отриманими на основі експериментальних даних) та експериментальні залежності кута відкриття дросельної заслінки від кількості працюючих циліндрів при різних значеннях частоти обертання колінчастого вала двигуна.

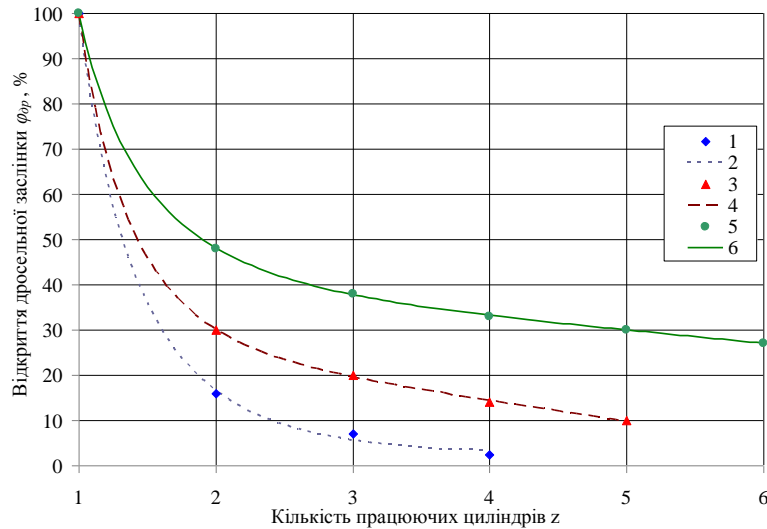


Рисунок 2 – Залежність величини кута відкриття дросельної заслінки  $\varphi_{др}$  від кількості працюючих циліндрів  $z$  при різних частотах обертання  $n$

1 –  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$  (експеримент); 2 –  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$  (розрахунок); 3 –  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$  (експеримент); 4 –  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$  (розрахунок); 5 –  $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$  (експеримент); 6 –  $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$  (розрахунок)

Як видно з цих залежностей, при роботі двигуна на одному циліндрі незалежно від частоти обертання дросельна заслінка повинна бути повністю відритою. При переході з шести до двох працюючих циліндрів при незмінному навантаженні кут відкриття дросельної заслінки збільшується на 21 %. Перехід роботи двигуна на два циліндри сприяє різкому прикриттю дросельної заслінки в усьому діапазоні частот обертання. Зі зростанням кількості працюючих циліндрів темп прикриття дросельної заслінки уповільнюється. З наведених залежностей видно, що найбільші прикриття дросельної заслінки припадають на режим  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ . Це пояснюється тим, що в даному режимі швидкість поршня найменша, що обумовлює менші гідравлічні та механічні втрати, при цьому ефективні показники двигуна будуть вищі ніж в інших швидкісних режимах.

Рівняння регресії, отримані за результатами експериментальних даних, зведено до табл. 2.

Таблиця 2 – Рівняння регресії

	Частота обертів колінчастого вала, $n$ , $\text{хв}^{-1}$		
	1000	2000	2800
Кут відкриття дросельної заслінки, $\varphi_{др} = f(z)$ , %	$8,925 - \frac{60,303}{z} + \frac{151,327}{z^2}$	$55,598 - 6,284z - \frac{102,364}{z} + \frac{153,043}{z^2}$	$31,646 - 0,152z^2 - 0,005z^3 + \frac{68,497}{z^2}$
Примітка: $z$ – кількість працюючих циліндрів			

Адекватність рівнянь регресії була перевірена порівнянням розрахованих даних з експериментальними. Порівняння даних показало відхилення розрахункової величини параметру  $\varphi_{др}$  від експериментально визначеної на 2,8%, що є задовільним.

Оцінка економії палива проводилась по зміні питомої витрати палива  $\Delta g_e$  за кількістю працюючих циліндрів  $z$  та частотою обертання колінчастого вала  $n$  і визначалася за формулою

$$\Delta g_e = \left( 1 - \frac{g_{ez}}{g_e} \right) 100\% , \quad (1)$$

де  $g_{ez}$  – питома витрата палива при  $z$  працюючих циліндрах;

$g_e$  – питома витрата палива при усіх працюючих циліндрах на даному швидкісному режимі.

На рис. 4 показані результати цих розрахунків для 6-циліндрового двигуна.

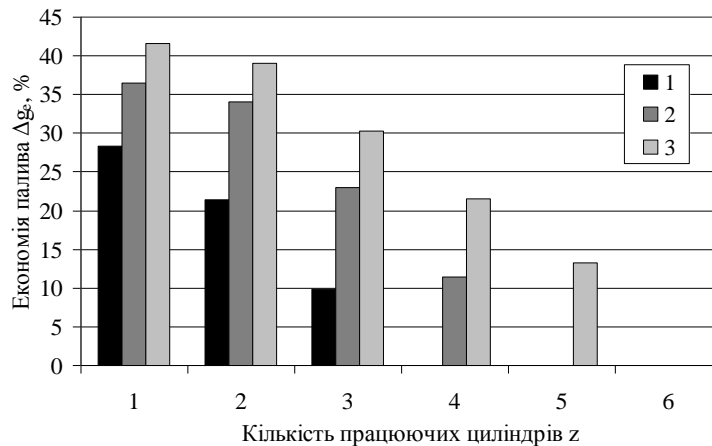


Рисунок 4 – Розподіл економії палива  $\Delta g_e$  за кількістю працюючих циліндрів  $z$  та частотою обертання вала двигуна  $n$  (відсоток у порівнянні з усіма працюючими циліндрами)  
 1 –  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ; 2 –  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ ; 3 –  $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$

Як видно з графіка, найбільший рівень економічності досягається при роботі двигуна на одному циліндрі. При переході на більшу кількість циліндрів економія палива зменшується, що пояснюється прикриттям дросельної заслінки і, як наслідок, підвищенням насосних втрат, відносної кількості відпрацьованих газів у робочій суміші, погіршенням індикаторних показників. Крім того, незалежно від кількості працюючих циліндрів економія палива зростає зі збільшенням частоти обертання, що можна пояснити покращенням умов згоряння за рахунок кращої турбулізації заряду, а також скороченням часу контакту газів зі стінками циліндру, що зменшує втрати теплоти. При переході на один працюючий циліндр з шести паливна економічність покращується в межах від 28,3% ( $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ) до 41,65% ( $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$ ).

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження показали доцільність застосування комбінованого методу регулювання навантаження за рахунок збільшення кута відкриття дросельної заслінки при зменшенні кількості працюючих циліндрів, що покращує ефективні показники двигунів з кількісним регулюванням потужності. Ефективність застосування відключення циліндрів за модульним принципом, у порівнянні з існуючими системами деактивації циліндрів групами, після проведення досліджень також не викликає сумнівів. Такий висновок можна зробити на основі отриманих результатів: ефективна витрата палива при переході від шести працюючих циліндрів до одного ( $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$ ), при збереженні навантажувального режиму, зменшується майже на 42 %. В сучасних двигунах з системами відключення циліндрів цей показник, як вже зазначалося вище, знаходиться на рівні 15 %.

#### Бібліографічний список використаної літератури

1. Зленко М. А. Теория и практика создания двигателей внутреннего сгорания с регулируемым рабочим объемом : дис. ... доктор техн. наук : 05.04.02 / Михаил Александрович Зленко. – М., 2006. – 297 с.
2. Ахтямов М. В. Три цилиндра и наддув [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.autoreview.ru/news/160/73097/> – 15.10. 2010 г.
3. Автомобильные двигатели с отключением цилиндров. Конструкции, анализ / Н. И. Мищенко, В. С. Шляхов, В. Л. Супрун [и др.] // Вестник СевНТУ. Серия машиноприборостроение и транспорт: сб. научных трудов. – 2011. – Вып. 122. – С. 163–166.
4. Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://autospeed.com/cms/title\\_Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2/A\\_2623/article.html](http://autospeed.com/cms/title_Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2/A_2623/article.html).
5. Zylinderabschaltung (ZAS) im 1.4 TSI: Volkswagen präsentiert neuste Effizienztechnologie [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krafthand.de/aktuell/details/article/zyylinderabschaltung.html>.

**Мищенко Н.И., Заренбин В.Г., Шляхов В.С., Колесникова Т.Н., Юрченко Ю.В., Королёва А.С. Некоторые результаты исследования отключения цилиндров в автомобильном бензиновом двигателе внутреннего сгорания**

Приведены некоторые результаты исследования автомобильного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с отключением цилиндров, которые ведутся на кафедре «Автомобильный транспорт» Автомобильно-дорожного института ГВУЗ «ДонНТУ». Экспериментально получено влияние количества работающих цилиндров на угол открытия дроссельной заслонки в шестицилиндровом двигателе при разной частоте вращения коленчатого вала. Показано, что топливная экономичность двигателя улучшается при уменьшении количества работающих цилиндров и увеличении частоты вращения коленчатого вала и находится в пределах от 28 до 42 %. Приведены уравнения регрессии, которые были получены по результатам проведенных исследований.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, отключение цилиндров, топливная экономичность, исследования.

**Mishchenko N.I., Zarenbin V.G., Shlyakhov V.S., Kolesnikova T.N., Yurchenko Y.V., Korolova A.S. Some findings off cylinders in an internal combustion gasoline engine**

Some results of the research of the engine of internal combustion engine (ICE) to disconnect the cylinder, which are conducted at the Department of "Road transport" Auto-mobile-road institute SHEE "Donetsk National Technical University." The experimentally obtained influence of the number of working cylinders on the throttle angle at six-cylinder engine at different engine speeds. It is shown that the engine fuel economy improvement decreases with decreasing number of operating cylinders and increase the speed the crankshaft and is in the range of 28 to 42%. The equations of regression, which were obtained from field studies.

**Keywords:** internal combustion engine, cylinder deactivation, fuel economical, research.