

УДК 629.083

Теоретические расчеты относительного дополнительного расхода топлива при отключении цилиндров

А.А. Молодан, А.С.Полянский

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
(г. Харьков, Украина)*

К вопросу о том, сколько наиболее выгодно отключить цилиндров двигателя, для эффективного использования мощности двигателя, для их поддержки на прежнем уровне работающие цилиндры необходимо увеличивать цикловую подачу топлива. При большей цикловой подачи в работающих цилиндрах увеличивается средняя индикаторное давление и улучшается процесс сгорания. При отключении части цилиндров двигателя в процессе его работы индикаторная мощность двигателя уменьшается, в результате чего снижается частота вращения коленчатого вала и крутящий момент двигателя.

Необходимость повышения эффективности работы двигателя в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов способствует как поиску новых технических решений, так и развитию ранее известных, которые хорошо себя зарекомендовали. Это связано в первую очередь с требованиями к топливной экономичности и токсичности отработанных газов, а в ряде случаев с необходимостью улучшения переходных процессов в двигателе с сохранением других характеристик на прежнем уровне или даже их улучшения.

Отключение цилиндров позволяет другим работать более эффективно. Если в восьмицилиндровом двигателе четыре цилиндра отключить, а весь воздух, проходящий через дроссельную заслонку, направить остальным четырем, их нагрузка возрастет в два раза, а КПД повысится.

В последнее время в нашей стране и за рубежом повысился интерес к этому направлению улучшения экономических показателей двигателей, особенно автомобильных двигателей, как отключение цилиндров (отключение топлива) на холостом ходу и частичной нагрузке.

Обосновано, что экономия топлива на холостом ходу и малых нагрузках при отключении части цилиндров определяется зависимостью индикаторного КПД от изменения нагрузки. Представлен процесс расчета эффективного отключения цилиндров в многоцилиндровом двигателе и его влияние на относительный дополнительный расход топлива.

Предложен метод определения относительного дополнительного расхода топлива при отключении цилиндров на многоцилиндровых двигателях.

Ключевые слова: автомобиль, отключенные цилиндры, экономия топлива, неравномерность работы двигателя, динамика.

Введение. Необходимость повышения эффективности работы двигателя в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов способствует как поиску новых технических решений, так и развитию ранее известных, хорошо себя зарекомендовавших. Это связано в первую очередь с ожесточающимися требованиями к топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ), а в ряде случаев с необходимостью улучшения переходных процессов (ПП) в двигателе с сохранением других характеристик на прежнем уровне или даже их улучшении.

Значительное время при работе двигателей транспортных средств и энергетических установок составляют режимы холостого хода (ХХ), малых нагрузок и неустановившиеся режимы (НУР). Одним из способов совершенствования работы двигателя на этих режимах является метод отключения цилиндров.

Анализ последних достижений и публикаций. Проблеме снижения расхода топлива и токсичности отработавших газов автомобилей посвящено значительное количество научных исследований. Значительный вклад в решение указанной проблемы внесли Н.Я. Говорущенко [2]. Одним из первых энергетических подходов к оценке эффективности автомобиля предложил П.М. Гацук [3]. Этот подход получил свое развитие в работах П.П. Евсеева [4]. Следует отметить также из иностранных источников работу Ю. Мацкерле [5]. Появление новых, альтернативных ДВС энергоустановок (электрические двигатели, водородные ДВС, гибридные энергоустановки и т.п.), источников энергии (аккумуляторов, маховиков) [6-8] привела к необходимости расширения понятия (эксплуатационной свойства) «топливная экономичность», включением в него расходы не только тепловой энергии топлива, но и

энергии других видов (электрической и механической). В работе [9] предложено ввести понятие «энергетическая экономичность автомобиля» и рассмотрены возможные критерии для ее оценки.

Исследованию влияния неравномерности крутящего момента ДВС тяговой силы на ведущих колеса посвящены работы [10, 11]. В работе [10] с использованием гармонического закона изменения суммарной тяговой силы на ведущих колесах $P_k = \bar{P}_k + A_p \sin(\Omega t)$ определено, что дополнительные потери энергии обусловлены неравномерностью тяговой силы, где \bar{P}_k – среднее значение тяговой силы; A_p – амплитуда колебаний тяговой силы; Ω – круговая частота колебаний крутящего момента ДВС и тяговой силы на колесах; t – время.

Указанные результаты относятся к оценке дополнительных потерь энергии на движение автомобиля при механическом приводе от ДВС ведущих колес. Вызывает интерес оценка дополнительных расходов энергии и топлива при реализации предложенного [12].

Цель и постановка задачи. Обоснование возможности повышения топливной экономичности на режимах холостого хода и малых нагрузок отключением (включением) топливоподачи в части цилиндров многоцилиндрового автомобильного двигателя.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- представить процесс расчета эффективного отключения цилиндров в многоцилиндровом двигателе и его влияние на относительный дополнительный расход топлива;
- определить относительный дополнительный расхода топлива при отключении цилиндров на многоцилиндровых двигателях.

Определение относительного дополнительного расхода топлива при отключении цилиндров на многоцилиндровых двигателях

Для реализации поставленной задачи необходимо решить следующую задачу по определению дополнительных затрат энергии и топлива на движение автомобиля при использовании механического привода ведущих колес.

Дополнительный расход энергии, обусловленный колебаниями тяговой силы [9]

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

где A_p – амплитуда колебаний тяговой силы; S – пробег автомобиля.

Амплитуда колебаний тяговой силы автомобиля

$$A_p = \frac{A_{mi} \cdot j_m \cdot j_{tr} \cdot u_k \cdot u_0}{r_0}, \quad (2)$$

где A_{mi} – амплитуда колебаний индикаторного крутящего момента [12, 13]; r_0 – динамический радиус ведущих колес.

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

где \bar{M}_i – среднее значение индикаторного крутящего момента, определяемое внешней нагрузкой на автомобиль; k_1 – коэффициент неравномерности крутящего момента ДВС [9, 10, 12, 13];

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

где $i_{\text{ц}}$ – количество отказавших цилиндров ДВС.

При всех работающих цилиндрах ДВС индикаторный крутящий момент двигателя [8, 9]

$$M_i' = \bar{M}_i' + 0,5 \cdot \bar{M}_i' \cdot k_1' \cdot \sin\left(\frac{\bar{\omega}_e}{2} \cdot i_{\text{ц}}' \cdot t\right), \quad (5)$$

где $\bar{\omega}_e$ – среднее значение частота вращения коленчатого вала; $i_{\text{ц}}'$ – число всех цилиндров ДВС.

При отключении части цилиндров (отказе)

$$M_i'' = \bar{M}_i'' + 0,5 \cdot \bar{M}_i'' \cdot k_1'' \cdot \sin\left(\frac{\bar{\omega}_e}{2} \cdot i_{\text{ц}}'' \cdot t\right), \quad (6)$$

где $i_{\text{ц}}''$ – число работающих цилиндров.

Поскольку $\bar{M}_i' = \bar{M}_i'' = \bar{M}_i$, то амплитуды колебаний индикаторного крутящего момента

$$A_{mi}' = 0,5 \cdot \bar{M}_i \cdot k_1'; \quad (7)$$

$$A_{mi}'' = 0,5 \cdot \bar{M}_i \cdot k_1''; \quad (8)$$

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

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

Амплитуды колебаний тяговых сил

$$A_p' = \frac{A_{mi}' \cdot j_m \cdot j_{op} \cdot u_k \cdot u_0}{r_0}, \quad (11)$$

$$A_p'' = \frac{A_{mi}'' \cdot j_m \cdot j_{op} \cdot u_k \cdot u_0}{r_0}. \quad (12)$$

Относительное увеличение дополнительного расхода энергии при отключении (отказе)

части цилиндров

$$\Delta i_{\text{ц}} = i_{\text{ц}}' - i_{\text{ц}}'' \quad (13)$$

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

или

$$k_w = \frac{\Delta W''}{\Delta W'} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta i_{\text{ц}}}{i_{\text{ц}}'}} \left(1 - \frac{\Delta i_{\text{ц}}/i_{\text{ц}}'}{1 + \frac{180,5}{i_{\text{ц}}'}} \right) \quad (15)$$

В таблице 1 приведен расчет относительного дополнительного расхода топлива k_w при отключении (отказе) части цилиндров двигателя.

Таблица 1. Результаты расчета относительного дополнительного расхода топлива

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

Выводы.

1. Обосновано, что экономия топлива на холстом ходу и малых нагрузках при отключении части цилиндров определяется зависимостью индикаторного КПД от изменения нагрузки. Представлен процесс расчета эффективного отключения цилиндров в многоцилиндровом двигателе и его влияние на относительный дополнительный расход топлива.

2. Предложен метод определения относительного дополнительного расхода топлива при отключении цилиндров на многоцилиндровых двигателях.

Литература

1. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
2. Гащук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля / П.Н. Гащук. – Львов: Свет, 1992. – 208 с.
3. Евсеев П.П. Некоторые вопросы энергетики автомобиля / П.П. Евсеев. – К.: Вискон, 2006. – 236 с.
4. Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Ю. Мацкерле: пер. с чешск. В.Б. Иванова; под. ред. А.Р. Бендикова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
5. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, та ін. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
6. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, та ін. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 327 с.
7. Электромобиль: техника и экономика / В.А. Щетина, Ю.Я. Морговский, Б.И. Центер, В.А. Богомазов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 236 с.
8. Подригало М.А. Энергетическая экономичность автомобиля и критерии её оценки / М.А. Подригало, Д.В. Абрамов, Ю.В. Тарасов, В.М. Ефимчук // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – №40 (1119), 2015. – С. 28 - 37.
9. Подригало М.А. Оценка дополнительных энергетических потерь при установившемся режиме движения транспортно-тяговых машин / М.А. Подригало, Н.П. Артёмов, Д.В. Абрамов, М.Л. Шуляк // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 9 (1118), 2015. – С. 98 -107.
10. Влияние неравномерности крутящего момента двигателя внутреннего сгорания на энергетическую экономичность колёсных транспортных средств / М.А. Подригало, А.С. Полянский, Н.М. Подригало, Д.В. Абрамов // Залізничний транспорт України. Науково-практичний журнал. – №6, 2015. – К.: ДП «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України». – С.40 - 46.
11. Кайдалов Р.О. Дослідження кінематики і динаміки гібридного електромеханічного приводу ведучого колеса автомобіля / Р.О. Кайдалов // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – Вип. 36. – С.92 - 97.
12. Подригало Н.М. Влияние неравномерности крутящего момента на КПД автотракторных двигателей / Н.М. Подригало // Вісник Харківського національного технічного університету

сільського господарства ім. Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. – 2012. – Т. 2. Вип. 124. – С. 118 -126.

13. Подригало Н.М. Влияние неравномерности крутящего момента на динамические и мощностные показатели двигателей внутреннего сгорания колесных машин / Н.М. Подригало // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Технические науки. – 2013. – Вып. 38. – С. 18 - 24.

14. Кайдалов Р.О. Дослідження можливості зниження енергетичних втрат автомобіля при використанні гібридного електромеханічного приводу ведучих коліс / Р.О. Кайдалов // Системи обробки інформації. – 2016, вип. 9 (146). – С. 13 -17.

References

1. Hovorushchenko N.Ia. Ekonomyia toplyva u snyzhenye toksychnosti na avtomobylnom transporte / N.Ia. Hovorushchenko. – M.: Transport, 1990. – 135 s.

2. Hashchuk P.N. Energetycheskaia effektivnost avtomobilya / P.N. Hashchuk. – Lvov: Svet, 1992. – 208 s.

3. Evseev P.P. Nekotorye voprosy jenergetiki avtomobilja / P.P. Evseev. – K.: Vikol, 2006. – 236 s.

4. Matskerle Yu. Sovremennyy ekonomychnyy avtomobil / Yu. Matskerle: per. s cheshsk. V.B. Yvanova: pod. red. A.R. Bendykova. – M.: Mashynostroenye, 1987. – 320 s.

5. Bazhynov O.V. Synerhetychnyi avtomobil. Teoriia i praktyka / O.V. Bazhynov, O.P. Smyrnov, S.A. Sierikov, ta in. – Kh.: KhNADU, 2011. – 236 s.

6. Hibrydni avtomobili / O.V. Bazhynov, O.P. Smyrnov, S.A. Sierikov, ta in. – Kh.: KhNADU, 2008. – 327 s.

7. Shchetyna V.A. Elektromobil: tekhnika u ekonomyka / V.A. Shchetyna, Yu.Ia. Morhovskiy, B.Y. Tsenter, V.A. Bohomazov. – L.: Mashynostroenye, 1987. – 236 s.

8. Podrigalo M.A. Jenergeticheskaja jekonomichnost' avtomobilja i kriterii ejo ocenki / M.A. Podrigalo, D.V. Abramov, Ju.V. Tarasov, V.M. Efimchuk // Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats.

Seriia: Avtomobile- ta traktorobuduvannia. – №40 (1119), 2015. – S. 28 - 37.

9. Podrigalo M.A. Ocenka dopolnitel'nyh jenergeticheskikh poter pri ustanovivshemsja rezhime dvizhenija transportno-tjagovyh mashin / M.A. Podrigalo, N.P. Artjomov, D.V. Abramov, M.L. Shuljak // Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Avto-mobile- ta traktorobuduvannia. – 9 (1118), 2015. – S. 98 -107.

10. Vlijanie neravnomernosti krutjashhego momenta dvigatelja vnutrennego sgoranija na jenergeticheskiju jekonomichnost' koljosnyh transportnyh sredstv / M.A. Podrigalo, A.S. Poljanskij, N.M. Podrigalo, D.V. Abramov // Zaliznychnyi transport Ukrainy. Naukovo-praktychnyi zhurnal. – №6, 2015. – K.: DP «Derzhavnyi naukovo-doslidnyi tsentr zaliznychnoho transportu Ukrainy». – S.40 - 46.

11. Kaidalov R.O. Doslidzhennia kinematyky i dynamiky hibrydnoho elektromekhanichnoho pryvodu veduchoho kola avtomobilya / R.O. Kaidalov // Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Problemy mekhanichnoho pryvodu. – Kh.: NTU «KhPI», 2016. – Vyp. 36. – S.92 - 97.

12. Podrigalo N.M. Vlijanie neravnomernosti krutjashhego momenta na KPD avtotraktornyh dvigatelej / N.M. Podrigalo // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho gospodarstva im. Petra Vasylenka. Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva. – 2012. – Т. 2. Vyp. 124. – S. 118 -126.

13. Podryhalo N.M. Vliyanye neravnomernosti krutiashcheho momenta na dynamycheskye y moshchnostnye pokazately dvyhatelej vnutrennego shoranyia kolesnykh mashyn / N.M. Podryhalo // Uche-nye zapysky Krymskoho ynzhenerno-pedahohycheskoho unyversyteta. Tekhnicheskyye nauky. – 2013. – Вып. 38. – С. 18 - 24.

14. Kaidalov R.O. Doslidzhennia mozhlyvosti znyzhennia enerhetychnykh vtrat avtomobilya pry vykorystanni hibrydnoho elektromekhanichnoho pryvodu veduchykh kolis / R.O. Kaidalov // Systemy obrobky informatsii. – 2016, vyp. 9 (146). – С. 13 -17.

Анотація

Теоретичні розрахунки відносного додаткового витрат палива при відключенні циліндрів

А.О. Молодан, О.С. Полянський

До питання про те, скільки найбільш вигідно відключити циліндрів двигуна, для ефективного використання потужності двигуна, для їх підтримки на колишньому рівні працюють циліндри необхідно збільшувати циклову подачу палива. При більшій цикловій подачі працюють у циліндрах збільшується середнє індикаторне тиск і покращується процес згоряння. При відключенні частини циліндрів двигуна в

процесі його роботи індикаторна потужність двигуна зменшується, в результаті чого знижується частота обертання колінчастого валу і крутний момент двигуна.

Необхідність підвищення ефективності роботи двигуна в широкому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів сприяє як пошуку нових технічних рішень, так і розвитку раніше відомих, які добре себе зарекомендували. Це пов'язано в першу чергу з вимогами до паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів, а в ряді випадків з необхідністю поліпшення перехідних процесів у двигуні із збереженням інших характеристик на колишньому рівні чи навіть їх покращення.

Відключення циліндрів дозволяє іншим працювати більш ефективно. Якщо у восьмициліндровому двигуні чотири циліндра відключити, а все повітря, що проходить через дросельну заслінку, направити іншим чотирьом, їх навантаження зросте в два рази, а ККД підвищиться.

Останнім часом в нашій країні і за кордоном підвищився інтерес до цього напрямку поліпшення економічних показників двигунів, особливо автомобільних двигунів, як відключення циліндрів (відключення палива) на холостому ході і частковій навантаженні.

Обґрунтовано, що економія палива на неодруженому ході і при малих навантаженнях відключення частини циліндрів визначається залежністю індикаторного ККД від зміни навантаження. Представлений процес розрахунку ефективного відключення циліндрів в багатопциліндровому двигуні та його вплив на відносний додатковий витрата палива.

Запропоновано метод визначення відносної додаткової витрати палива при відключенні циліндрів на багатопциліндрових двигунах.

Ключові слова: *автомобіль, відключені циліндри, економія палива, нерівномірність роботи двигуна, динаміка.*

Abstract

Theoretical calculations of the relative additional fuel consumption when the cylinders are disconnected

A.A. Molodan, A.S. Poljansky

The question of how much the most profitable turn off engine cylinders, in order to efficiently use engine power, to support them at the same level, working cylinders need to increase cyclic fuel supply. With larger cyclic feeds working in cylinders, the average display pressure increases and the combustion process improves. When disconnecting part of engine cylinders during its operation, the indicator power of the engine decreases, resulting in lowering the frequency of rotation of the crankshaft and the torque of the engine.

The need to increase the efficiency of the engine in a wide range of speed and load modes facilitates both the search for new technical solutions and the development of the previously known, which have proven themselves well. This is primarily due to requirements for fuel economy and toxicity of exhaust gases, and in some cases with the need to improve the transients in the engine while maintaining other characteristics at the same level or even improving them.

Disabling cylinders allows others to work more efficiently. If the eight-cylinder engine is turned off by four cylinders, and all the air passing through the throttle valve is directed to the other four, their load will increase twice, and the efficiency will increase.

Recently, in our country and abroad there has been an increase in interest in this direction in improving the economic performance of engines, especially automobile engines, as the disconnection of cylinders (disconnection of fuel) at idle and partial load.

It is substantiated that fuel economy on a unbroken course and at low loads of disconnection of a part of cylinders is determined by the dependence of the indicator efficiency on the load change. The process of calculation of effective disconnection of cylinders in a multi-cylinder engine and its influence on relative additional fuel consumption is presented.

The method of determination of relative additional fuel consumption at disconnection of cylinders on multi-cylinder engines is offered.

Keywords: *car, off cylinders, fuel economy, engine unevenness, dynamics.*

Представлено від редакції: А.Т. Лебедєв / Presented on editorial: A.T. Lebedjev

Рецензент: М.Л. Шуляк / Reviewer: M.L. Shuljak

Подано до редакції / Received: 19.06.2018