

УДК 656

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ ЗУПИНКОЮ ПОРШНЯ

КОЛЕСНИКОВА Т.М.¹, *к.т.н.*

¹ Кафедра експлуатації та ремонту машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-68, e-mail: tnk2704@mail.ru

Анотація. Мета. Підвищення паливної економічності бензинового двигуна шляхом відключення частини працюючих циліндрів зупинкою поршнів. **Методика.** Для досягнення мети необхідно: зробити аналіз двигунів внутрішнього згорання різних конструктивних схем, а також визначити концепції нетрадиційного двигуна з модульним відключенням циліндрів як основи для дослідження механізму зупинки поршнів (МЗП), на розробленій математичній моделі робочого процесу механізму зупинки поршнів провести дослідження двигуна з відключенням циліндрів зупинкою поршнів для визначення його економічних показників. **Результати.** За допомогою розробленої математичної моделі процесу включення механізму зупинки поршнів були опрацьовані варіанти роботи МЗП при різних значеннях його конструктивних параметрів в залежності від частоти обертів колінчастого вала. Перевірені на математичній моделі випробування з відключенням циліндрів за рахунок зупинки поршнів показало покращення паливної економічності на 54% на режимі $\varphi_{др} = 5\%$ і $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$. **Наукова новизна.** Одержані нові кількісні показники бензинового двигуна з модульним відключенням циліндрів. **Практична значимість.** Використання математичної моделі і алгоритму розрахунку механізму модульного відключення циліндрів шляхом зупинки поршнів при проектуванні двигунів дозволить оцінити їх паливну економічність.

Ключові слова: паливна економічність; механізм зупинки поршнів; математична модель; робочий процес; модульне відключення циліндрів

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПУТЕМ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЦИЛИНДРОВ ОСТАНОВКОЙ ПОРШНЯ

КОЛЕСНИКОВА Т.Н.¹, *к.т.н.*

¹ Кафедра эксплуатации и ремонта машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепрпетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-68, e-mail: tnk2704@mail.ru

Аннотация. Цель. Повышение топливной экономичности бензинового двигателя путем отключения части работающих цилиндров остановкой поршней. **Методика.** Для достижения цели необходимо: сделать анализ двигателей внутреннего сгорания разных конструктивных схем, а также определить концепции нетрадиционного двигателя с модульным отключением цилиндров как основы для исследования механизма остановки поршней (МОП), на разработанной математической модели рабочего процесса механизма остановки поршней провести исследование двигателя с отключением цилиндров остановкой поршней для определения его экономических показателей. **Результаты.** С помощью разработанной математической модели процесса включения механизма остановки поршней были проработаны варианты работы МОП при разных значениях его конструктивных параметров в зависимости от частоты оборотов коленчатого вала. Проверенные на математической модели испытания с отключением цилиндров за счет остановки поршней показали улучшение топливной экономичности на 54% на режиме $\varphi_{др} = 5\%$ и $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$. **Научная новизна.** Получены новые количественные показатели бензинового двигателя с модульным отключением цилиндров. **Практическая значимость.** Использование математической модели и алгоритма расчета механизма модульного отключения цилиндров путем остановки поршней при проектировании двигателей позволит оценить их топливную экономичность.

Ключевые слова: топливная экономичность; механизм остановки поршней; математическая модель; рабочий процесс; модульное отключение цилиндров

INCREASE OF EFFECTIVE INDEXES PETROL ENGINE BY WAY DISCONNECTING OF CYLINDERS STOP OF PISTON

KOLESNIKOVA T. ¹, *Cand. Sc. (Tech.)*

¹Department of Exploitation and repair of machines, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-98-68, e-mail: tnk2704@mail.ru

Abstract. Purpose. Increase of fuel economy of petrol engine by disconnecting of part of working cylinders by the stop of pistons. **Methodology.** For gaining end it is necessary: to do the analysis of combustion engines different structural charts, and also to define conceptions of unconventional engine with the module disconnecting of cylinders as bases for research of mechanism of stop of pistons (MSP), on the worked out mathematical model of working process of mechanism of stop of pistons to undertake a study of engine with disconnecting of cylinders the stop of pistons for determination of his economic indicators. **Findings.** By means of the worked out mathematical model of process of including of mechanism of stop of pistons the variants of work were worked out METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR at the different values of his structural parameters depending on frequency of turns of crankshaft. The tests checked for a mathematical model with disconnecting of cylinders due to the stop of pistons showed the improvement of fuel economy on 54% on the mode $\varphi = 5\%$ and $n = 3000 \text{ min}^{-1}$. **Originality.** The new quantitative indexes of petrol engine are got with the module disconnecting of cylinders. **Practical value.** The use of mathematical model and algorithm of calculation of mechanism of the module disconnecting of cylinders by the stop of pistons at planning of engines will allow to estimate their fuel economy.

Keywords: fuel economy; mechanism of stop of pistons; mathematical model; working process; module disconnecting of cylinders

Вступ

На сьогодні домінуюче положення серед легкових автомобілів займають бензинові ДВЗ. Однією з проблем таких двигунів є підвищення паливної економічності та зниження токсичності відпрацьованих газів. Одним із способів вирішення даної проблеми є відключення циліндрів. Наприклад: зупинка клапанів; регулювання фаз газорозподілу та ін. Серед відомих способів найбільший дає модульне відключення циліндрів. Однак існують певні проблеми реалізації модульного відключення циліндрів в існуючих двигунах внутрішнього згоряння. В модульних двигунах з класичним силовим механізмом колінчасті вали відповідних модулів з'єднуються між собою муфтою, до якої пред'являються дуже високі вимоги. Сполучення колінчастих валів необхідно здійснювати за дуже короткий проміжок часу. Також робота муфти повинна бути строго синхронізована з роботою систем (живлення, запалювання, газорозподілу) модулів, що підключаються. У цій статті розглянуто відключення циліндрів шляхом зупинки поршня в двигуні з традиційним кривошипно-шатунним механізмом.

Мета

Метою роботи є підвищення паливної економічності бензинового двигуна шляхом

відключення частини працюючих циліндрів зупинкою поршнів.

Методика

На сьогоднішній день існує велика кількість конструктивних схем двигунів з КШМ, де застосовано регулювання працюючих циліндрів. Дослідницька діяльність по впливу різних способів відключення циліндрів на показники ДВЗ проводилася ще з кінця 40-х років ХХ сторіччя. Розвиток сучасних систем впорскування палива, а також певних успіхів в електронних системах керування роботою двигуна, дав можливість широко розповсюджувати системи відключення циліндрів на автомобільних двигунах [1].

Одним із способів є припинення подачі палива у циліндри, які будуть відключатися. Регулювання подачі палива в сучасних двигунах здійснюється за допомогою електромагнітних форсунок з електронним управлінням (впорскування палива). Як результат, при відключенні паливоподачі в три циліндри з шести досягається економічність двигуна в режимі холостого ходу на 20%. На ДВЗ, де в якості пристрою для приготування свіжого заряду використовувався карбюратор, відключення циліндрів здійснюється встановленням на ділянці між карбюратором і впускним клапаном заслінки, яка при необхідності відключення циліндру перекриває переріз відповідного впускного трубопроводу. Очевидно, що в двигунах з впорскуванням палива

подібний метод реалізується конструктивно простіше, а ніж в карбюраторних двигунах.

Утримання в закритому стані впускних і випускних клапанів в конкретному циліндрі є досить складною технічною задачею, яку різні автовиробники вирішують по-своєму. Серед різноманіття технічних рішень можна виділити три підходи:

- застосування штовхача спеціальної конструкції [2,];
- можливість вимикання коромисла [3];
- кулачкові розподільчого валу, який має можливість переміщуватись в осьовому напрямку, різної форми.

Примусова дезактивація циліндрів крім безперечних переваг має ряд недоліків, серед яких додаткові навантаження на двигун, вібрації і небажаний шум.

Для попередження додаткових навантажень на двигун в камері згоряння вимкненого двигуна залишається заряд відпрацьованих газів від попереднього робочого циклу. Гази стискаються при русі поршня вгору і тиснуть на поршень при його русі вниз, тим самим забезпечується зрівняльний ефект.

Для зниження вібрації використовуються спеціальні гідравлічні опори двигуна, двохмасовий маховик. Зниження рівня шуму проводиться у випускній системі, в якій підібрані довжини труб і використані передні і задні глушники з резонаторами різного розміру.

Вперше система управління циліндрами була застосована в 1981 році на автомобілях Cadillac. Цей двигун, розроблений спільно з компанією Eaton, мав позначення L62 V8-6-4. Іншими словами, цей двигун міг працювати на 8, 6 або 4 циліндрах. Система мала електромагнітні котушки, встановлені на коромислах. Спрацьовування котушки забезпечувало нерухомість коромисла, а клапани під дією пружин були закриті. В системі відключалися протилежні пари циліндрів. Управління роботою котушки здійснював електронний блок. Інформація про кількість циліндрів, що знаходяться в роботі, виводилася на панель приладів.

Економія палива, заявлена виробником, становила 20%. Система не отримала широкого визнання, так як мала проблеми з подачею палива в усі циліндри, в тому числі і вимкнені [4].

Відключення циліндрів, шляхом зупинки в них газообміну, знайшло широке використання в серійних конструкціях двигунів за рахунок розвитку електронних систем керування роботою автомобільних ДВЗ.

Однак існують деякі недоліки :

- порушення теплового режиму відключених циліндрів, як наслідок їх нерівномірне зношування й підвищення токсичності відпрацьованих газів при їх повторному включенні;
- накопичення мастильного матеріалу у відключених циліндрах;

- застосування таких систем, без суттєвого ускладнення конструкції, не дає можливості реалізації відключення циліндрів по одному;

- збереження механічних втрат на тертя в циліндро-поршневій групі відключеного циліндра.

Однак завданням усіх ведучих автовиробників на сьогодні є ідея зупинки поршня в циліндрі, що дозволить зменшити механічні втрати в циліндро – поршневій групі, які складають 40-45% від усіх механічних втрат, при виключенні циліндра з роботи.

Одним з перших можна вважати патент 1919 року, в якому використовувався шатун, який мав телескопічну конструкцію, де жорсткий зв'язок між його частинами визначався положенням замка V [5].

Ця конструкція не набула масового виробництва через складність і ненадійність самого механізму та системи керування.

Враховуючи складність зупинки поршня в циліндрі з традиційним силовим механізмом (КШМ), перспективними напрями є застосування ДВЗ з нетрадиційним силовим механізмом. Одним з таких варіантів є безшатунний двигун, який був спроектований і розроблений раніше в лабораторії «Двигуни внутрішнього згоряння» кафедри «Автомобільний транспорт» ДонНТУ, в якому замість традиційного кривошипно – шатунного механізму застосовується кривошипно – кулісний механізм [1].

Модульне відключення циліндрів. Під модульним відключенням циліндрів мається на увазі поділ двигуна на декілька (в залежності від кількості циліндрів) незалежних частин (секцій, модулів), які вступають в роботу по мірі підвищення навантаження [6]. Незалежність частин (секцій, модулів) полягає в можливості їх виведення з роботи (зупинка поршня) при збереженні робочого процесу в інших.

Існує ряд технічних рішень цієї конструкторської задачі, де основну групу складають двигуни з використанням розрізного колінчастого вала, зв'язок між частинами якого забезпечується за допомогою спеціальних муфт, де циліндри відключаються групами [7].

Однак ці двигуни не були реалізовані в масовому виробництві через ряд недоліків: погіршення їх масо-габаритних характеристик; порушення зрівноваженості при зупинці деталей поршневої групи; складність синхронізації між частинами колінчастого вала при їх сполученні; недосконалість систем керування такими механізмами в цілому.

Більшість цих недоліків пов'язані з розвитком технологій того часу (70-80 роки ХХ сторіччя). Сьогодні, враховуючи прогрес у розвитку електронних систем керування ДВЗ, науковці почали повертатися к ідеям модульного відключення циліндрів двигуна в процесі його роботи.

При поєднанні математичної моделі робочого процесу ДВЗ та математичної моделі МЗП можна проводити комплексну оцінку зміни параметрів

автомобільних двигунів різних конструктивних схем при застосуванні модульного відключення циліндрів.

Проводилися розрахунки для випадків при кількості циліндрів двигуна $i = 4, 6$ та 8 . Основні конструктивні параметри двигуна (хід поршня S і діаметр циліндру D) залишалися незмінними. Розрахунки були проведені для двигуна з кривошипно-шатунним механізмом, який має конструктивний параметр $\lambda=0,2794$.

Як відомо, значення ефективних показників двигуна мають значення менші за відповідні їм індикаторні на величину механічних втрат. Тому, було доцільним дослідити вплив зміни кількості працюючих циліндрів на механічні втрати в двигуні. Рівень механічних втрат в двигуні оцінюється середнім тиском механічних втрат p_m . Основна частина механічних втрат - втрати на тертя $p_{тр}$ (до 80% p_m) і газообмін $p_{нас}$. Велика частина втрат на тертя припадає на пари поршень-гільза, поршневі кільця-гільза (45...55% від $p_{тр}$). Втрати на газообмін пов'язані із здійсненням впуску і випуску робочого тіла в циліндрі двигуна. Відключення циліндрів шляхом зупинки поршня в двигунах визнає те, що у неактивному циліндрі відсутні втрати на тертя в циліндро-поршневій групі (ЦПГ), а також втрати пов'язані зі зміною робочого тіла в циліндрі двигуна (насосні втрати). На рис.1 наведено графіки зміни величин $p_{тр}$ та $p_{нас}$ при зміні кількості працюючих циліндрів

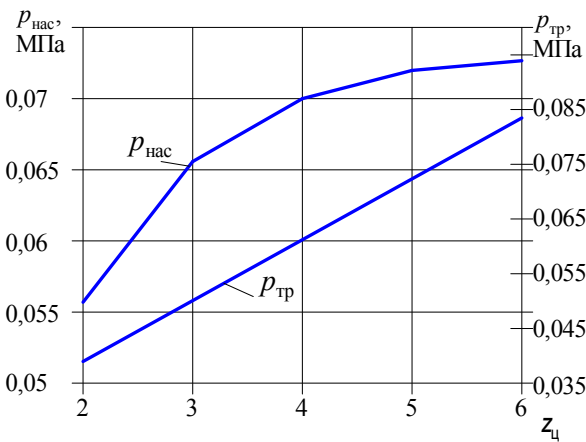


Рис.1. Зміна насосних втрат $p_{нас}$ та втрат на тертя $p_{тр}$ в залежності від кількості працюючих циліндрів

$$i = 6; \varphi_{др n} = 5\%; n = 3000 \text{ хв}^{-1}/$$

Change of pumping losses of p_{pum} and losses on the friction of p_{fr} depending on the amount of working cylinders z_p : $i = 6; \varphi_{th n} = 5\%; n = 3000 \text{ min}^{-1}$

Загальні насосні втрати в двигуні при зміні кількості працюючих циліндрів з 6 до 2 зменшуються на 23,9%. Втрати на тертя, при зміні кількості працюючих циліндрів з 6 до 2, зменшуються на 53,61%.

Зниження втрат на тертя та насосних втрат при модульному відключенні циліндрів покращує умови протікання робочого процесу.

Зміна економічних показників двигуна при модульному відключенні циліндрів оцінювалась величиною ефективної питомої витрати палива g_e , на яку впливає ефективний ККД двигуна η_e (є добутком індикаторного η_i і механічного η_m ККД): при зростанні η_e зменшуються значення g_e .

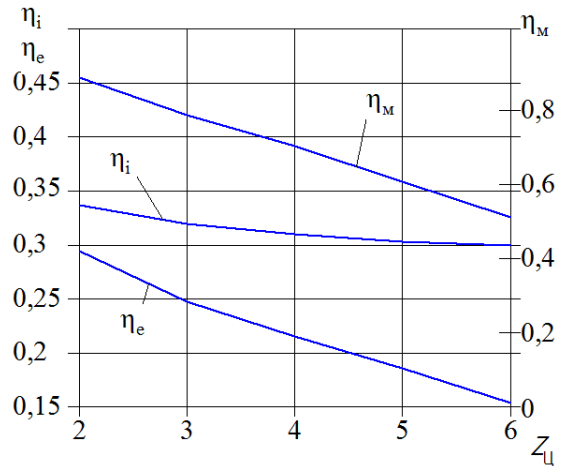


Рис. 2. Зміна індикаторного η_i та ефективного η_e та механічного η_m ККД в залежності від кількості працюючих циліндрів $z_{ц}$: $i = 6; \varphi_{др n} = 5\%; n = 3000 \text{ хв}^{-1}/$

Change indicatory η and effective η_e and mechanical η_m output-input ratio depending on the amount of working cylinders of z_p : $i = 6; \varphi_{th n} = 5\%; n = 3000 \text{ min}^{-1}$

За допомогою даної математичної моделі виявлено, що покращення паливної економічності, вираженої у зниженні ефективної витрати палива g_e , має місце при будь-якій комбінації режимних факторів ($\varphi_{др n}$ та n) та будь-якій кількості циліндрів. Наприклад, на режимі $\varphi_{др n} = 5\%$ та $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ g_e зменшується на 54% незалежно від кількості циліндрів двигуна. Числові значення, в цьому випадку, змінюються від 535,04 ($z_{ц} = i$) до 274,82 ($z_{ц} = \text{min}$) г/(кВт·ч).

Результати

На сьогоднішній день одними з найбільш ефективних методів покращення паливної економічності бензинового двигуна є регулювання робочого об'єму шляхом модульного відключення циліндрів (паливна економічність до 30%).

На сьогодні поки що не знайдена принципова схема механізму модульного відключення циліндрів, яка б задовольняла вимогам надійності роботи, складності конструкції. В роботі запропонована схема і конструкція механізму відключення циліндрів шляхом зупинки поршнів, яка позбавлена цих недоліків.

За допомогою розробленої математичної моделі процесу включення МЗП були опрацьовані варіанти

роботи МЗП при різних значеннях його конструктивних параметрів в залежності від частоти обертів колінчастого вала. Перевірені на математичній моделі випробування з відключенням циліндрів за рахунок зупинки поршнів показало покращення паливної економічності на 54% на режимі $\varphi_{др} = 5\%$ і $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$.

Наукова новизна і практична значимість

Одержані нові кількісні показники бензинового двигуна з модульним відключенням циліндрів.

Використання математичної моделі і алгоритму розрахунку механізму модульного відключення циліндрів шляхом зупинки поршнів при проектуванні двигунів дозволить оцінити їх паливну економічність.

Висновки

1. Поршневий двигун є найпоширеніший тип ДВЗ, що сьогодні використовується на автомобільному транспорті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Мищенко Н.И., 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.

Mischenko N.I., Shlyahov V.S., Suprun V.L. Avtomobilnie dvigateli s otklucheniem cilindrov. Konstrukcii, analiz [Motorcar engines with disconnecting of cylinders. Constructions, analysis]. Announcer SevNTU. Series machines and instrument-making and transport: collection of scientific works. - 2011. - issue122, pp.163-166.

2. Пат. US 7,111,597 B2, МПК 123/90.16, 11/061,137, Valve deactivator latching assembly, заявитель Ioan Manole, Burak A., патентообладатель – Thomas Denion № US 7,111,597 B2, заявл. 18.02.2005, опубл. 26.09.2006.

Ioan Manole, Burak A. Valve deactivator latching assembly. Patent US, no 7,111,597 B2, 2006.

3. Пат. US 5,636,609, МПК F01L 1/34,475,881, Variable cylinder – operation controlled internal combustion engine, заявитель Yoshihiro Fujiyoshi, патентообладатель – David A. Okonsky № 5,636,609, заявл. 07.01.1995., опубл. 10.01.1997.

Okonsky David A. Variable cylinder – operation controlled internal combustion engine. Patent US, no 5,636,609, 1997.

4. Пат. US 20040244744 A1, МПК F01L1/24, Multiple displacement system for an engine, патентообладатель - Falkowski Alan G., Mcelwee Mark R., Baker Joel

2. В сучасних умовах експлуатації двигун працює більшість часу на режимах часткових навантажень та холостого ходу. На таких режимах роботи автомобільні ДВЗ мають, в порівнянні з номінальним режимом, значно гірші ефективні показники двигуна.

3. На сьогоднішній день одними з найбільш ефективних методів покращення паливної економічності бензинового двигуна є регулювання робочого об'єму шляхом модульного відключення циліндрів (паливна економічність до 30%).

4. За допомогою розробленої математичної моделі процесу включення МЗП були опрацьовані варіанти роботи МЗП при різних значеннях його конструктивних параметрів в залежності від частоти обертів колінчастого вала.

5. Перевірені на математичній моделі випробування з відключенням циліндрів за рахунок зупинки поршнів показало покращення паливної економічності на 54%.

A., Hendershott Glen D., Constantin Hagiу, Mark Koeroghlian №, заявл. 02.06.2004, опубл. 09.12.2004.

Falkowski Alan G., Mcelwee Mark R., Baker Joel A., Hendershott Glen D., Hagiу C., Koeroghlian M. Multiple displacement system for an engine. Patent US, no 20040244744 A1, 2004.

5. FR 494662A. Пат. 494.662, Motburs divbrs, заявитель M. Marius-Jean-Baptiste-Julien, заявл. 08.04.1918, опубл. 04.06.1919.

Motburs divbrs. Patent FR, no 494.662, 1919.

6. Система управления цилиндрами [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://systemsauto.ru/engine/cylinder_deactivation.html – Назва з екрану. – Перевірено 03.08.2015.

Sistema upravleniya cilindrami (Control system by cylinders). Available at: http://systemsauto.ru/engine/cylinder_deactivation.html (Accessed 03 August 2015).

7. Модульное конструирование двигателей или цилиндры из кубиков [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sanekua.ru/modulnoe-konstruirovaniya-dvigatелеj-ili-cilindry-iz-kubikov/> – Назва з екрану. – Перевірено 03.08.2015.

Modulnoe konstruirovaniye dvigatelej ili cilindri iz kubikov (Module constructing of engines or cylinders from blocks). Available at: <http://sanekua.ru/modulnoe-konstruirovaniya-dvigatелеj-ili-cilindry-iz-kubikov/> (Accessed 03 August 2015).

Стаття рекомендована до публікації д-ром.техн.наук, проф. В. Г. Заренбіним (Україна); проф. В.В. Мелашичем (Україна)

Статья поступила в редколлегию 04.08.2015