

MODELING THE EXTERNAL INFLUENCES ON CHANNELS OF THE ELECTRONIC CONTROLLER OF DIESEL ENGINE

A.A. Lisoval, S.V. Kostritsa

The article describes the method and results of computational research based on the mathematical model of electronic controller of diesel engine. The object of research - automobile diesel 4CH12/14 with dual-mode controller. An external impact on the speed channels, e-measuring pedals and fuel pump rack was introduced. Channel of engine speed in microprocessor requires 10-bit representation of the data.

УДК 621.434

А.В. Хімченко, Д.Г. Мішин, А.В. Бузов

ЗНИЖЕННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ КРУТНОГО МОМЕНТУ ДВИГУНА З ВІДКЛЮЧЕННЯМ ЦИЛІНДРІВ НА РЕЖИМАХ ЧАСТКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Розглянуто необхідність використання системи відключення циліндрів на режимах часткового навантаження, варіанти відключення та проблеми, що при цьому виникають. Розроблено методичку та програму розрахунку параметрів бензинового двигуна внутрішнього згорання з кривошипно-шатунним (КШМ) або кривошипно-кулісним механізмом (ККМ), що дозволяє імітувати роботу в ряді послідовних циклів під час відключення частини циліндрів. Розрахунково-теоретично досліджено зміну рівня нерівномірності крутного моменту двигуна під час відключення циліндрів, запропоновано принцип керування відключенням циліндрів. Встановлено, що в двигуні з ККМ нерівномірність середнього крутного моменту на 15...20 %, менша ніж у двигуні з КШМ, а індивідуальне регулювання потужності в окремих циліндрах під час відключення дозволяє суттєво знизити коливання крутного моменту двигуна та зменшити його нерівномірність в 10...11 разів.*

**Вступ**

Проблема зниження витрати палива двигунів внутрішнього згорання на режимах часткового навантаження є дуже актуальною в наші дні. Це обумовлено тим, що дуже багато часу двигун працює саме на таких режимах, а необхідності використовувати всю потужність ДВС немає. Тому передові виробники шукають можливі варіанти зменшення витрат палива на режимах часткового навантаження і вже мають певний успіх у цьому питанні [1, 2]. Роботи в цьому напрямку проводяться і на кафедрі «Автомобільний транспорт» АДІ ДонНТУ [3].

Одним з найпоширеніших варіантів зменшення витрат палива двигуна на режимах часткового навантаження є відключення циліндрів. Випробування показали, що використання методу відключення циліндрів на режимах часткового навантаження двигуна дозволяє економити до 25% палива.

Найчастіше на сьогодні використовується метод «відключення» клапанів циліндру (системи Multi-Displacement System, Displacement on Demand, Active Cylinder Control, Variable Cylinder Management, Zylinderabschaltung).

Примусова дезактивація циліндрів окрім безперечних переваг має ряд недоліків, які перешкоджають масовому застосуванню відключення циліндрів у двигунах автомобілів. Серед них слід відзначити різке зниження крутного моменту і збільшення його нерівномірності при відключенні

частини циліндрів [4], особливо в момент переходу на меншу кількість навантажених циліндрів.

Необхідність покращення рівномірності крутного моменту під час відключення циліндрів потребує впливу на показники потужності окремих циліндрів.

**Метою дослідження** було визначити яка саме нерівномірність виникає під час відключення циліндрів та з'ясувати можливість її усунення шляхом індивідуального регулювання потужності в окремих циліндрах для двигунів з різними механізмами перетворення руху поршня.

**Розрахунок двигуна з відключенням циліндрів**

Для досягнення поставленої мети в середовищі Matlab була розроблена програма розрахунку бензинового двигуна внутрішнього згорання з кривошипно-шатунним (КШМ) або кривошипно-кулісним механізмом (ККМ), що дозволяє імітувати роботу в ряді послідовних циклів під час відключення частини циліндрів.

Класично розрахунки виконуються для одного циліндра двигуна оскільки величини і характер зміни параметрів циліндрів двигуна однакові і відрізняються лише кутовими інтервалами, рівними кутовим інтервалам між спалахами в окремих циліндрах.

Однак, розрахунок двигуна з відключенням циліндрів повинен:

– виконуватися для кожного циліндра окремо, у зв'язку з тим, що робочі процеси в циліндрах не ідентичні;

– мати можливість розрахунку відключених циліндрів з відключенням подачі палива і з відключенням газообміну;

– мати можливість визначати механічні втрати для кожного циліндра окремо, враховуючи зміни їх величини при відключенні циліндрів.

**Особливості визначення ефективних показників двигуна з відключенням циліндрів**

В основу теплового розрахунку було покладено класичний розрахунок з визначенням параметрів згорання по методу І.І. Вібе.

Деякі особливості розрахунку, в першу чергу, стосувалися визначення механічних втрат в окремому циліндрі двигуна.

Визначення середнього тиску  $p_{MN}$  механічних втрат на номінальному режимі можливо з достатньою точністю за однією з відомих емпіричних формул в залежності від середньої швидкості поршня з подальшим коректуванням за ефективними показниками базового двигуна. Для режимів часткового навантаження та в залежності від наявності газообміну при відключенні циліндра необхідно розглянути механічні втрати окремо для кожного типу або групи механізмів. Розглянемо їх структуру з огляду на можливість відносно простого визначення при моделюванні роботи двигуна.

Механічні втрати в поршневому двигуні складаються з втрат на тертя  $p_{цпг}$  в циліндро-поршневій групі,  $p_{мпр}$  в механізмі перетворення руху поршня, втрат  $p_{нас}$  на газообмін (насосних),  $p_{мгр}$  на привод механізму газорозподілу та інших  $p_{ін}$  на привод навісних агрегатів та механізмів

$$P_M = P_{цпг} + P_{мпр} + P_{нас} + P_{мгр} + P_{ін} \quad (1)$$

Згідно даних сучасних авторів [5] для бензинових двигунів механічні втрати в циліндро-поршневій групі складають близько 45 %, в кривошипно-шатунному механізмі – біля 22 %, на механізм газорозподілу – до 8...10 %. Це узгоджується і з іншими даним. Як правило стверджується, що на різні види тертя припадає частка до 80 % від механічних втрат двигуна.

Слід звернути увагу на те, що втрати в циліндро-поршневій групі та механізмі перетворення руху поршня залежать від навантаження та швидкісного режиму. Оскільки швидкісний режим визначає питомі сили інерції, а навантаження – сили тиску газів, з достатньою в даному випадку досто-

вірністю, їх можна вважати пропорційними середній сумарній силі  $p_{\Sigma}$ , що діє на поршень.

Тоді при наявності значень на номінальному режимі  $P_{цпгN}$ ,  $P_{мпрN}$  та  $P_{\Sigma N}$

$$P_{цпг} + P_{мпр} = (P_{цпгN} + P_{мпрN}) \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma N}} \quad (2)$$

Враховуючи викладене вище, можна прийняти  $P_{мпрN} = 0,22P_{MN}$ .

Щодо втрат у циліндро-поршневій групі двигуна з кривошипно-кулісним механізмом, то для їх оцінки необхідно знати частку, що припадає на поршневі кільця. За різними даними на поршневі кільця відводять від 25 % до 60 % усіх механічних втрат у двигуні. Аналіз результатів дослідження двигунів з регулюванням ступеня стиску на часткових навантаженнях [6] показує, що при високих ступенях стиску середній тиск механічних втрат у безшатунного двигуна менше на 26 %. Це попри те, що кількість кінематичних пар в механізмі перетворення руху поршня безшатунного двигуна майже у півтора рази більша ніж у класичного.

Таким чином, складова тертя поршня о стінки циліндра повинна бути не менше 25 %, та, якщо прийняти  $p_{цпгN} = 0,45p_{MN}$  для двигуна з кривошипно-шатунним механізмом, то для двигуна з кривошипно-кулісним механізмом механічні втрати повинні бути менші на 25 %, тобто  $P_{цпгN} = 0,2P_{MN}$ .

Насосні втрати легко визначаються з індикаторної діаграми, як різниця середнього тиску випуску та нагнітання.

При виконанні розрахунків було прийнято, що на номінальному режимі  $P_{мгрN} = 0,08P_{MN}$ , та для урахування зміни швидкісного режиму використовувалася гіпотеза про лінійну залежність цього компоненту від частоти обертання колінчастого вала  $n$ :

$$P_{мгр} = P_{мгрN} \frac{n}{n_N} \quad (3)$$

Витрати на привод навісних агрегатів та механізмів майже не залежать від навантаження, але змінюються зі зміною швидкісного режиму. І якщо номінальні витрати  $P_{інN}$  можуть бути визначені за залишковим принципом із залежності (1), то на інших режимах аналогічно (3)

$$P_{ін} = P_{інN} \frac{n}{n_N} \quad (4)$$

В загальному вигляді

$$P_M = \left( P_{\text{цпг}_N} + P_{\text{мпр}_N} \right) \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma_N}} + P_{\text{нас}} + \left( P_{\text{мгр}_N} + P_{\text{ін}_N} \right) \frac{n}{n_N}, \quad (5)$$

а враховуючи прийняті статистичні значення

$$P_M = \left( 0,2 P_{M_N} + 0,25 P_{M_N} + 0,22 P_{M_N} \right) \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma_N}} + P_{\text{нас}} + \left( 0,08 P_{M_N} + P_{\text{ін}_N} \right) \frac{n}{n_N} \quad (6)$$

Залежності (5) і (6) дозволяють врахувати при визначенні середнього тиску механічних втрат спосіб відключення циліндрів та наявність у двигуні кривошипно-шатунного чи кривошипно-кулісного механізму.

Механічний к.к.д., відповідно, повинен враховувати кількість циліндрів  $i_{\text{ін}}$ , що не працюють, та при відомому середньому індикаторному тиску  $P_{\text{и}}$

$$\eta_M = \sum_k^i P_{M_k} / \sum_k^{i-i_{\text{ін}}} P_{и_k}. \quad (7)$$

При відключенні циліндрів і регулюванні навантаження в окремих циліндрах середній індикаторний тиск і механічні втрати та інші параметри робочого процесу і динаміки розраховувалися окремо для кожного циліндру. Це дозволило визначити зміну сумарного крутного моменту двигуна при переході в роботі на меншу кількість циліндрів.

#### Розрахунок нерівномірності крутного моменту двигуна під час відключення циліндрів

Для оцінки нерівномірності крутного моменту двигуна під час відключення циліндрів визначався саме середній ефективний сумарний крутний момент. Оскільки маховик серійного двигуна розраховано на згладжування крутного моменту, його коливання відносно середнього значення малопомітні. Коливання середнього моменту, що виникають при відключенні відчуються в трансмісії автомобіля і впливають на плавність його ходу.

Для оцінки міри рівномірності ефективного сумарного крутного моменту двигуна, використовувався коефіцієнт нерівномірності крутного моменту:

$$\mu = \frac{M_{\Sigma, \text{max}} - M_{\Sigma, \text{min}}}{M_{\Sigma, \text{сеп}}}, \quad (7)$$

де  $M_{\Sigma, \text{max}}$  і  $M_{\Sigma, \text{min}}$  — відповідно, максимальний і мінімальний момент;  $M_{\Sigma, \text{сеп}}$  — середній момент перед або після відключення.

#### Вплив відключення циліндрів на рівномірність ходу 4-х циліндрового двигуна

При регулюванні потужності відключенням циліндрів, як правило, після виключення з роботи одного чи декількох циліндрів проводиться компенсація моменту підвищенням потужності в циліндрах двигуна, що залишилися в роботі.

Як показали попередні експерименти, проведені в АДІ ДонНТУ, для повернення до попереднього крутного моменту необхідно від 3 до 10 циклів в залежності від швидкісного режиму роботи двигуна. Але коливання навіть в одному циклі стають достатньо помітними.

Це показують і результати розрахункових досліджень. Так при аналізі відключення одного циліндру видно, що різке відключення без компенсації призводить до значного падіння середнього крутного моменту (рис. 1). При подальшому підвищенні потужності в циліндрах, що залишаються працювати, буде компенсовано зниження потужності, але залишиться нерівномірність крутного моменту в момент відключення чи підключення циліндрів.

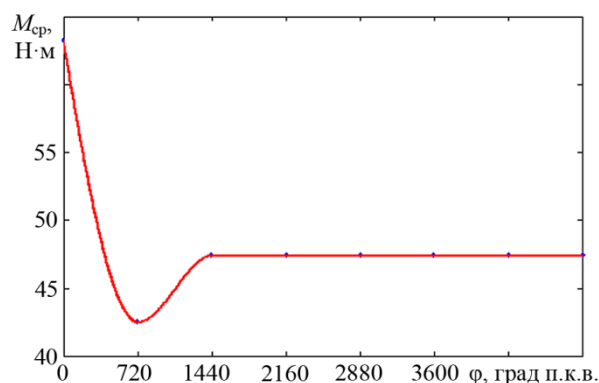


Рис. 1. Зміна середнього крутного моменту при відключенні одного циліндра без регулювання

При регулюванні потужності відключенням циліндрів така нерівномірність призведе, щонайменше, до дискомфорту водія та пасажирів автомобіля, крім того буде відбиватися на роботі трансмісії.

Для усунення цієї нерівномірності необхідно плавно зменшувати потужність циліндру, що відключається, при нарощуванні потужності працюючих циліндрів.

При плавному зниженні потужності першого циліндру нарощувалася потужність третього і четвертого, а параметри роботи другого залишалися без змін. Перед відключенням першого циліндру необхідно для компенсації падіння потужності дещо підвищити потужність в робочих циліндрах,

а потім зменшити її, щоб повернутися до початкового значення середнього крутного моменту (рис. 2, 3). Аналогічний метод керування змодельовано при відключенні двох (рис. 4, 5) і трьох циліндрів (рис 6, 7).

Відключення двох чи трьох циліндрів можливе у меншому діапазоні навантажень, ніж відключення одного, оскільки, необхідно робочими циліндрами перекрити падіння потужності, що обумовлено відключенням інших циліндрів. Для ілюстрації було обрано режими навантаження при частоті обертання колінчастого вала  $n = 1900 \text{ хв}^{-1}$ . На цій частоті можливе відключення від 1 до 3-х циліндрів.

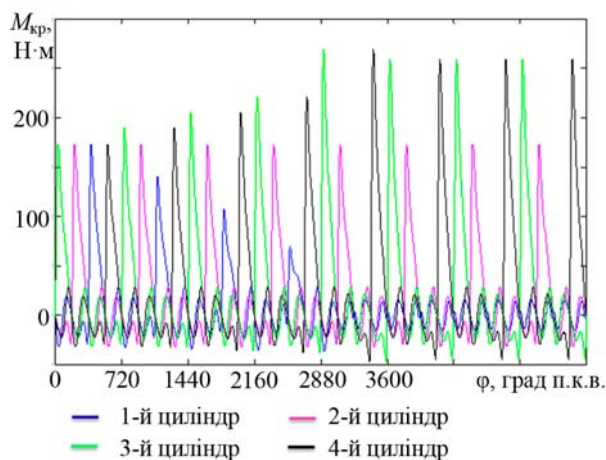


Рис. 2. Зміна крутних моментів циліндрів двигуна при плавному відключенні одного циліндра

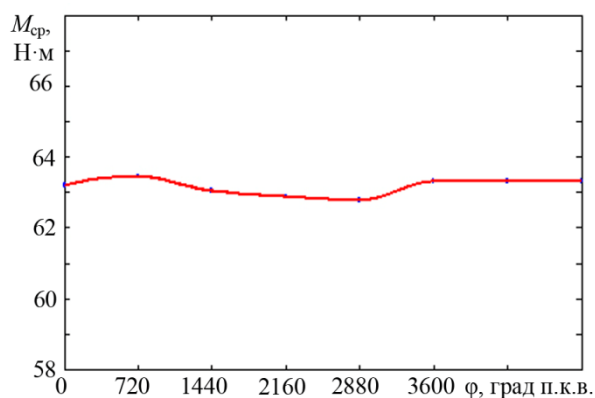


Рис. 3. Зміна середнього крутного моменту при плавному відключенні одного циліндра

Як видно з графіків (рис. 3, 5, 7) індивідуальне регулювання потужності в окремих циліндрах під час відключення дозволяє суттєво знизити коливання крутного моменту двигуна з кривошипно-шатунним механізмом.

Проведені розрахунки дозволили отримати значення нерівномірності середнього крутного

моменту в ДВЗ із КШМ та ККМ при відключенні різної кількості циліндрів з регулюванням процесу відключення та без нього (рис. 8).

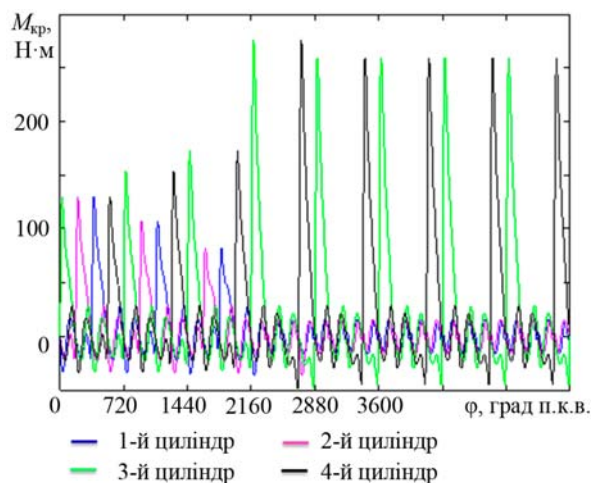


Рис. 4. Зміна крутних моментів циліндрів двигуна при плавному відключенні двох циліндрів

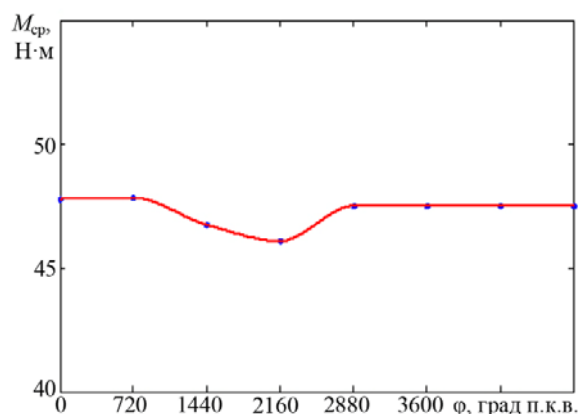


Рис. 5. Зміна середнього крутного моменту при плавному відключенні двох циліндрів

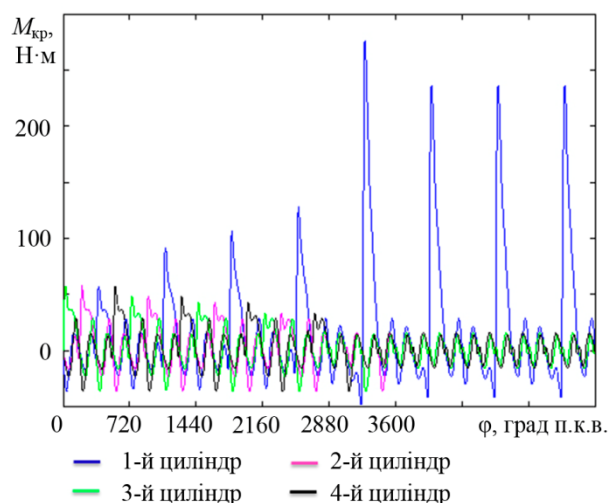


Рис. 6. Зміна крутних моментів циліндрів двигуна при плавному відключенні трьох циліндрів

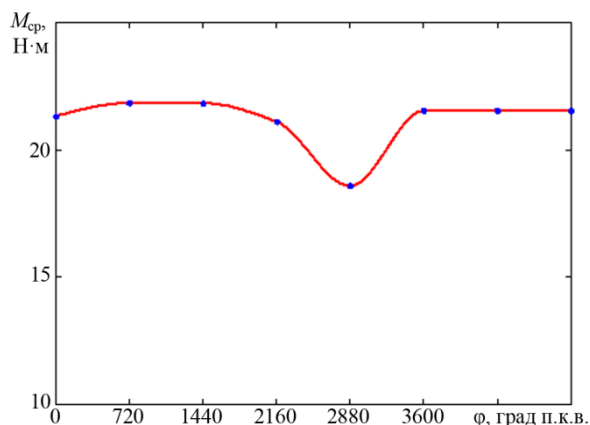


Рис. 7. Зміна середнього крутного моменту при плавному відключенні трьох циліндрів

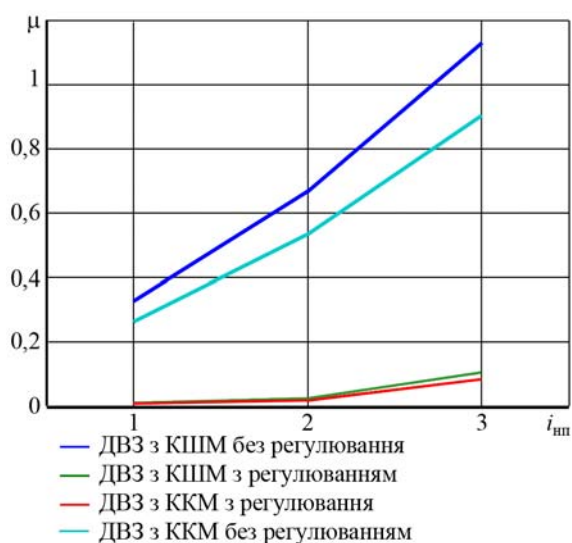


Рис. 8. Залежність нерівномірності середнього крутного моменту від кількості відключених циліндрів

Аналіз графіків показує, що при відключенні циліндрів в двигуні з ККМ нерівномірність середнього крутного моменту на 15...20 % менша ніж у двигуні з КШМ, а індивідуальне регулювання потужності в окремих циліндрах дозволяє суттєво знизити нерівномірність середнього крутного моменту і фактично зробити цей процес непомітним для водія та пасажирів автомобіля.

### Висновки

Результати дослідження показали, що:

- амплітуда коливань крутного моменту при відсутності індивідуального регулювання потужності може сягати 50...60 %, що дає неприпустиму нерівномірність середнього моменту двигуна;
- при відключенні циліндрів в двигуні з ККМ нерівномірність середнього крутного моменту на 15...20 % менша, ніж у двигуні з КШМ

– індивідуальне регулювання потужності в окремих циліндрах під час відключення дозволяє суттєво знизити коливання крутного моменту двигуна та зменшити нерівномірність середнього крутного моменту в 10...11 разів;

– індивідуальне регулювання потужності в окремих циліндрах під час відключення їх частини є перспективним і необхідним заходом, що дозволить поширити регулювання потужності в бензинових двигунах шляхом відключення циліндрів на часткових навантаженнях.

### Список літератури:

1. Einfluss hydraulischer Nockenwellenversteller auf die Dynamik von Ventil- und Steuertrieben / Bernd HeiJaing. — 2009. — 133 с.
2. Сирота, А.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатциліндрового бензинового двигуна застосуванням комбінованого методу регулювання потужності: дис...канд. техн. наук: 05.05.03 / Сирота Олександр Вадимович. — К., 2011. — 286 с.
3. Мищенко, Н.И. Автомобильные двигатели с отключением цилиндров. Конструкции, анализ [Текст] / Н.И. Мищенко, В.С. Шляхов, Т.Н. Колесникова, В.Л. Супрун, А.Г. Подлесный. //Вісник СевНТУ, Севастополь: Машиноприладобудування та транспорт. - 2011. Вип. 122/2011. - С. 14-21.
4. Peters, G. Cylinder deactivation on 4 cylinder engines: A torsional vibration analysis [text] / Gilbert Peters // Eindhoven University of Technology (TU/e). — 2007. — 75 с.
5. Путинцев, С.В. Механические потери в поршневых двигателях. специальные главы конструирования, расчета и испытаний [Текст] / С.В. Путинцев. — М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 288 с.
6. Мищенко, Н.И. Влияние силового механизма на работу двухтактного двигателя с кривошипно-камерной продувкой при регулировании степени сжатия [Текст] / Н.И. Мищенко, А.В. Химченко, С.Н. Крамарь, В.Л. Супрун // Двигатели внутреннего сгорания.. - 2004. - №1 (4). - С. 54 – 57.

### Bibliography (transliterated):

1. Einfluss hydraulischer Nockenwellenversteller auf die Dynamik von Ventil- und Steuertrieben / Bernd HeiJaing. — 2009. — 133 s.
2. Sirota, A.V. Pokrashhenja palivnoi ekonomichnosti i ekologichnih pokaznikov bagatocilindrovogo benzinovogo dviguna zastosuvannjam kombinovanogo metodu reguljuvannja potuzhnosti: dis...kand. tehn. nauk: 05.05.03 / Sirota Olexsandr Vadimovich. — K., 2011. — 286 s.
3. Mishhenko, N.I. Avtomobil'nye dvigateli s otkljucheniem cilindrov. Konstrukcii, analiz [Tekst] / N.I. Mishhenko, V.S. Shljahov, T.N. Kolesnikova, V.L. Suprun, A.G. Podlesnyj. //Visnik SevNTU, Sevastopol': Mashinopriladobuduvannja ta transport. - 2011. Vip. 122/2011. — С. 14-21.
4. Peters, G. Cylinder deactivation on 4 cylinder engines: A torsional vibration analysis [text] / Gilbert Peters // Eindhoven University of Technology (TU/e). — 2007. — 75 s.
5. Putincev, S.V. Mehanicheskie poteri v porshnevnyh dvigateljah. special'nye glavy konstruirovanija, rascheta i ispytaniij [Tekst] / S.V. Putincev. — М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 288 с.
6. Mishhenko, N.I. Vlijanie silovogo mehanizma na rabotu dvuhtaktnogo dvigatelja s krivoshipno-kamernoj produvkoj pri regulirovanii stepeni szhatija [Tekst] / N.I. Mishhenko, A.V. Himchenko, S.N. Kra-mar', V.L. Suprun // Dvigateli vnutrennego sgoranija.. - 2004. - №1 (4). - S. 54 – 57.

**Химченко Акрадий Васильевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Автомобильный транспорт» АДИ ДонНТУ, Україна, e-mail: himch\_arkady@ukr.net.

**Мишин Дмитрий Геннадьевич** – ассистент кафедри «СДМ и ДМ» АДИ ДонНТУ, Україна, e-mail: awcmit@gmail.com.

**Бузов Артур Валерьевич** – магистр, факультет «Автомобильный транспорт», АДИ ДонНТУ, Україна, e-mail: buzov.artur@gmail.com.

### СНИЖЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ С ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ НА РЕЖИМАХ ЧАСТИЧНОГО НАГРУЖЕНИЯ

*А.В. Химченко, Д.Г. Мишин, А.В. Бузов*

Рассмотрена необходимость использования системы отключения цилиндров на режимах частичной нагрузки, варианты отключения и проблемы, возникающие при этом. Разработана методика и программа расчета параметров бензинового двигателя внутреннего сгорания с кривошипно-шатунным (КШМ) или кривошипно-кулисным механизмом (ККМ), которая позволяет имитировать работу в ряде последовательных циклов при отключении части цилиндров. Расчетно-теоретически определено изменение уровня неравномерности крутящего момента двигателя во время отключения цилиндров, предложен принцип управления отключением цилиндров. Установлено, что в двигателе с ККМ неравномерность среднего крутящего момента на 15 ... 20% меньше, чем в двигателе с КШМ, а индивидуальная регулировка мощности в отдельных цилиндрах при отключении позволяет существенно снизить колебания крутящего момента двигателя и уменьшить его неравномерность в 10...11 раз.

### REDUCING IRREGULARITY OF TORQUE OF MODULAR ENGINE WITH DISABLING CYLINDERS SYSTEM ON PARTIAL LOAD

*A.V. Himchenko, D.G. Mishin, A.V. Buzov*

We consider the need for a disabling cylinders system on partial load and the problems arising from this. The program for calculating the parameters and the method of calculating for gasoline internal combustion engine with a crankshaft or crank-rocker mechanism was developed, that's allow to simulate work in a number of successive cycles with disabling cylinders. The principle of controlling circuit cylinders has been proposed. Founded that engine with crank-rocker mechanism unevenness average torque of 15 ... 20% less than at engine with a crankshaft, and individual power control for disabling cylinders system can significantly reduce of engine torque fluctuations and reduce its unevenness 10...11 times.

УДК 621.43.056

**М.І. Міщенко, В.Г. Заренбін, Т.М. Колеснікова, Ю.В. Юрченко, В.Л. Супрун, В.С. Шляхов**

### ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ У ПОРШНЕВОМУ ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*Наведено результати досліджень втрат на тертя та газообмін в двох чотиритактних бензинових двигунах внутрішнього згорання – класичному та безшатунному. Повідомляється, що механічні втрати в групі кривошипно-кулісного механізму безшатунного двигуна на 30...40 % більше, ніж в кривошипно-шатунному механізмі класичного ДВЗ. Однак загальні механічні втрати в безшатунному двигуні менше на 20...35 % у порівнянні з класичним ДВЗ завдяки відсутності в безшатунному двигуні бічного переміщення поршня. Дослідження показали, що більш високий рівень втрат на газообмін (на 1...8 %) відноситься до безшатунного двигуна.*

#### Вступ

Однією з тенденцій розвитку сучасних поршневих ДВЗ є підвищення ступеня стиску і частоти обертання колінчастого вала, застосування нетрадиційних способів регулювання навантаження (Аткінсона, Міллера, Т.Ма), розробка принципово нових конструкцій двигунів, наприклад, з відключенням циліндрів, з використанням замість класичного кривошипно-шатунного механізму (КШМ) інших видів силового механізму (траверсного, кривошипно-кулісного тощо), що обумовлює більш високий

їх ККД. Це особливо призводить до зміни складових механічних втрат - втрат на тертя, газообмін і привід допоміжних механізмів.

У АДИ ДонНТУ виконані порівняльні дослідження механічних втрат чотиритактних двигунів: класичному з КШМ і безшатунному з кривошипно-кулісним механізмом (ККМ). У роботі наведені деякі результати визначення основних джерел втрат на тертя, а також втрат енергії палива на газообмін.