

УДК 621.431

- Слинько Г. І. д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: gslynko@zp.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1954-8530
- Рябошапка Н. Є. старший викладач кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: ryaboshapka.ne@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0334-8363
- Сухонос Р. Ф. магістр, старший викладач кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: romevs@zp.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9683-3389
- Євсєєва Н. О. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: korskovanat@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3398-6537
- Солдатченков О. Г. магістр, студент групи Т-412м Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОПУСКІВ ЗАПАЛЮВАННЯ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ ОБЕРТАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ БЕНЗИНО- ВОГО ДВИГУНА

Мета роботи. Дослідити вплив пропусків запалювання на нерівномірність обертального моменту на колінчастому валу бензинового двигуна внутрішнього згорання з іскровим запалюванням.

Методи дослідження. Наведено результати термодинамічного розрахунку робочого циклу, динамічного розрахунку параметрів двигуна на номінальному режимі роботи та двигуна із пропуском запалювання одного циліндра. Для виконання дослідження використовувалась комп'ютерна програма Engine Calculation, пакет програм Microsoft Office. Об'єкт дослідження – чотиритактний чотирициліндровий бензиновий двигун MeM3-245. Предмет дослідження – коефіцієнт нерівномірності обертального моменту ДВЗ μ .

Отримані результати. Вирішено актуальне питання дослідження впливу пропусків запалювання на показники нерівномірності обертання колінчастого валу ДВЗ з іскровим запалюванням. Розраховано коефіцієнт нерівномірності обертального моменту для 4-тактного 4-циліндрового двигуна MeM3-245 при роботі на номінальному режимі $\mu = 6,164$. Встановлено, що внаслідок несправності (виключення з роботи одного циліндра) середній ефективний момент двигуна зменшується на 29,4 %. Розраховано значення коефіцієнта нерівномірності обертального моменту несправного двигуна $\mu = 12,165$, що вдвічі перевищує значення для справного двигуна. Встановлено, що за рівнем нерівномірності обертального моменту, 4-циліндровий рядний двигун MeM3-245 з пропусками запалювання наближається до одноциліндрових двигунів.

Наукова новизна. Вперше теоретично доведено, що внаслідок відсутності запалювання в одному з циліндрів 4-тактного 4-циліндрового двигуна при роботі на номінальному режимі середній ефективний момент двигуна зменшується на 29,4 %. Значення коефіцієнта нерівномірності обертального моменту μ двигуна з пропусками запалювання вдвічі перевищує значення для справного двигуна, що наближається до аналогічних значень одноциліндрових двигунів.

Практична цінність. Методика розрахунку коефіцієнта нерівномірності обертального моменту ДВЗ може бути використана при проектуванні нових та модернізації існуючих ДВЗ.

Ключові слова: 4-тактний двигун внутрішнього згорання, динамічний розрахунок, індикаторна діаграма, коефіцієнт нерівномірності обертального моменту, обертальний момент, пропуски запалювання.

Вступ

Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) сьогодні залишаються поза конкуренцією як найбільш універсальні енергетичні машини для приводу автономних силових установок на транспорті й будівництві, в сільському господарстві і для обслуговування військової техніки тощо.

В процесі експлуатації ДВЗ виникають несправності, які можуть призводити до тимчасового або постійного виходу з роботи одного чи кількох циліндрів.

Зокрема, типовою несправністю в ДВЗ з іскровим запалюванням є пропуски запалювання. Основними причинами «троїння» двигуна є [1, 2]:

- несправна свіча запалювання;
- несправний високовольтний провід;

- поганий контакт в системі запалювання;
- несправна катушка запалювання;
- несправна паливна форсунка;
- несправна проводка форсунки;
- низька компресія в циліндрі;
- збіднення паливоповітряної суміші;
- негерметичність циліндра;
- забруднений паливний фільтр;
- низька якість палива.

При роботі двигуна з пропусками запалювання («двигун тріть») спостерігається погіршення його техніко-економічних показників, поява додаткових звуків, поява чорного диму та/або запаху бензину, підвищення вібрацій. Останні інтенсифікуються внаслідок нерівномірності обертання колінчастого валу, і дослідженню цього питання присвячена дана робота

Аналіз досліджень та публікацій

За результатами аналізу літературних джерел [3–11] встановлено, що пропуски запалювання ДВЗ спричиняють коливання колінчастого валу, які оцінюються коефіцієнтом нерівномірності ходу колінчастого валу δ та коефіцієнтом нерівномірності обертального моменту ДВЗ μ . Для підвищення довговічності двигуна, покращення комфорту при експлуатації, бажано забезпечувати $\delta \rightarrow 0$, $\mu \rightarrow 0$. Найменші значення коефіцієнтів δ , μ досягаються у багатциліндрових двигунах, тобто чим більше циліндрів у двигуна, тим нерівномірність обертання колінчастого валу менша (рис. 1).

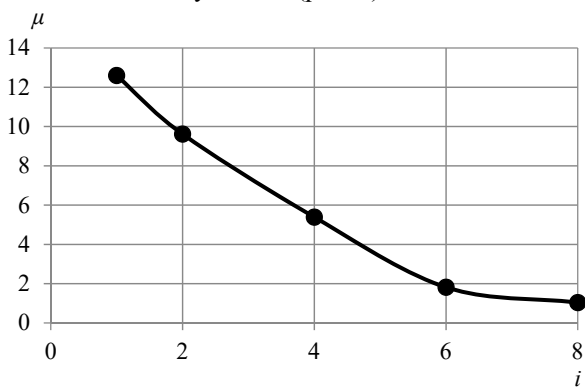


Рисунок 1. Залежність середнього значення коефіцієнта нерівномірності обертального моменту μ в залежності від кількості циліндрів двигуна i

Наразі не існує уніфікованих методик розрахунку нерівномірності ходу колінчастого валу та нерівномірності обертального моменту, оскільки ці параметри залежать від великої кількості конструктивних та регулювальних факторів кожного окремого двигуна.

При розрахунках двигунів внутрішнього згорання приймається, що колінчастий вал є абсолютно жорстким і обертається з постійною кутовою швидкістю ω [4]. Проте дане припущення не відповідає дійсності [12]. Навіть при сталому режимі роботи ДВЗ, при одиничному обертанні колінчастого валу, кутова швидкість не є незмінною. При нормальній роботі

двигуна основною причиною цього є нерівномірність обертання валу внаслідок процесів, що відбуваються в циліндрі.

З класичних положень динаміки ДВЗ [3–5] відомо, що крутний момент є періодичною функцією кута повороту колінчастого валу. Нерівномірність зміни сумарного обертального моменту обумовлюється особливостями протікання робочого процесу двигуна і кінематичними властивостями його кривошипно-шатунного механізму. Для оцінки ступеня нерівномірності індикаторного обертального моменту ДВЗ використовують коефіцієнт нерівномірності обертального моменту μ .

Як вже було сказано, коефіцієнт нерівномірності обертального моменту ДВЗ зменшується зі збільшенням кількості циліндрів. В той же час, для одного і того ж двигуна величина μ має різні значення на різних режимах роботи, тому для порівняння двигунів значення коефіцієнта нерівномірності обертального моменту визначають для режиму номінальної потужності [3].

В циліндрі під час згорання паливоповітряної суміші утворюються екстремум значення обертального моменту. Під час наростання тиску в циліндрі кутова швидкість обертання колінчастого валу інтенсивно зростає, від мінімального ω_{min} до максимального ω_{max} значення. Під час такту впуску та випуску значення обертального моменту найнижчі.

За величиною обертального моменту, більшого за середнє значення, розраховують необхідні параметри маховика.

Рівень коефіцієнта нерівномірності ходу δ , який характеризує коливання кутової частоти при встановленому режимі роботи двигуна внаслідок нерівномірності обертального моменту, значно впливає на роботу двигуна (для автомобільних двигунів δ приймається $\delta = 0,01 \dots 0,02$ [3, 5] або $\delta = 0,02 \dots 0,03$ [4]; для тракторних двигунів $\delta = 0,003 \dots 0,01$ [3]). Більші значення δ посилюють ударні навантаження деталей двигуна та прискорюють їх зношування. Менші значення δ вимагають використання маховиків зі збільшеною масою. Це призводить до збільшення габаритів маховика, що ускладнює компоновку двигуна, збільшує масу агрегату.

Нерівномірність обертання колінчастого валу ДВЗ досліджують аналітично або експериментально. Дослідження власне нерівномірності обертання колінчастого валу ДВЗ ускладнюється додатковим впливом неврівноважених сил та моментів від неврівноважених елементів кривошипно-шатунного механізму.

В роботі [5] запропонована аналітично-розрахункова методика теплового розрахунку несправного циліндра ДВЗ, динамічного розрахунку двигуна з несправним циліндром, розрахунку зовнішньої характеристики несправного ДВЗ. Однак, результати теоретичних досліджень не підтверджено порівнянням з експериментальними даними.

В роботі [7] проведено аналіз процесів та представлено розроблений прилад, який дозволяє контро-

лювати нерівномірність обертання колінчастого валу двигуна. Вимірювальна система включає фотоелектронні датчики, один з яких дозволяє зчитувати момент проходження верхньої мертвої точки, а другий контролює кутову швидкість маховика. Прилад перетворює сигнали з цих датчиків в форму, необхідну для візуалізації робочого періодичного процесу на екрані осцилографа. В роботі наведена структурна схема приладу і його амплітудно-частотна характеристика. Однак, не надано результатів експериментального використання приладу.

В роботах [8, 11] наведено огляд методів безрозбірного діагностування тепловозного дизеля та аналіз методу діагностування за нерівномірністю частоти обертання колінчастого валу; виконано моделювання нерівномірності обертання колінчастого валу дизеля. Наведена методика має значний обсяг складних розрахунків і обмежену можливість використання.

Загалом, можна стверджувати, що не існує універсальних методик розрахунку нерівномірності ходу колінчастого валу та нерівномірності обертального моменту для ДВЗ різних типів, оскільки ці параметри залежать від великої кількості конструктивних та регульовальних факторів.

Мета роботи

Дослідити вплив пропусків запалювання на нерівномірність обертання колінчастого валу (коефіцієнт нерівномірності обертального моменту ДВЗ μ) бензинового ДВЗ з іскровим запалюванням.

Матеріал і методика досліджень

В якості об'єкта дослідження обрано 4-циліндровий бензиновий двигун МеМЗ-245 номінальної потужністю $N_e = 37,5$ кВт при $n = 5400$ хв⁻¹ [13, 14].

Вплив пропусків запалювання на нерівномірність обертання колінчастого валу ДВЗ визначаємо за наступною методикою.

За допомогою комп'ютерної програми Engine Calculation [15] виконуються розрахунки термодинамічного циклу двигуна внутрішнього згорання, що працює на номінальному режимі та із пропуском запалювання одного циліндра (приймається, що процес згорання в циліндрі не відбувся зовсім). Для обох випадків розраховуються: параметри робочого тіла в циліндрі (тиск, температура, маса і об'єм за цикл); індикаторні та ефективні показники двигуна.

За допомогою методик [3, 15] розраховуються сили та моменти, які діють в кривошипно-шатунному механізмі. Для 4-циліндрового двигуна МеМЗ-245 будується діаграма обертальних моментів, яка враховує конструкцію колінчастого валу та порядок роботи циліндрів 1-3-4-2.

Далі розраховується коефіцієнт нерівномірності обертального моменту двигуна

$$\mu = \frac{M_{кр\max} - M_{кр\min}}{M_{кр\text{ср}}}, \quad (1)$$

де $M_{кр\max}$, $M_{кр\min}$, $M_{кр\text{ср}}$ – максимальний, мінімальний та середній обертальний момент двигуна відповідно.

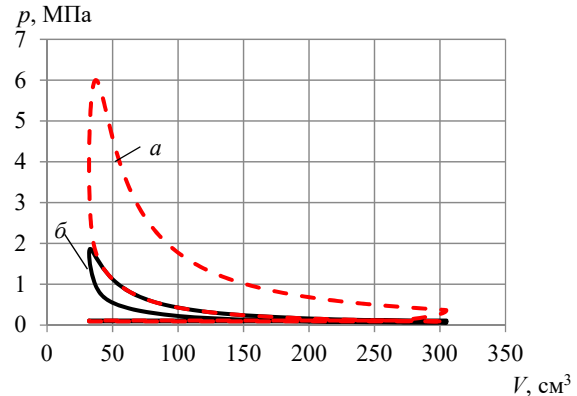
Виклад основного матеріалу дослідження

Виконано тепловий розрахунок циклу двигуна МеМЗ-245 на номінальному режимі, розраховані параметри робочого тіла (тиск p , температура T , маса m , об'єм V) при різних кутах φ повороту кривошипа колінчастого валу (ПКВ).

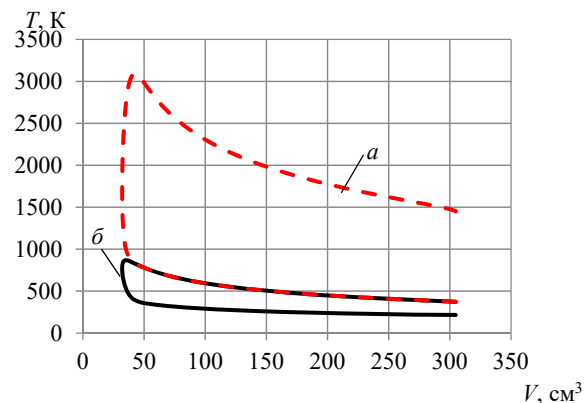
За даними розрахунку побудовано згорнуті індикаторні діаграми тиску $p(V)$ та температури $T(V)$ в циліндрі (рис. 2а, рис. 3а).

Основними параметрами, які характеризують механічну і термічну напруженість деталей двигуна, є тиск і температура робочого тіла. Визначені величини максимального тиску $p_{\max} = 6,003$ МПа (при $\varphi = 374^\circ$ ПКВ) і максимальної температури $T_{\max} = 3088,3$ К (при $\varphi = 380^\circ$ ПКВ) не перевищують максимально допустимих для бензинових ДВЗ $p_{\text{доп}} = 8 \dots 10$ МПа і $T_{\text{доп}} = 3000 \dots 3200$ К [15], тобто на номінальному режимі забезпечується надійна довготривала робота двигуна.

Розраховані ефективні показники двигуна відрізняються від вихідних величин не більше, ніж на 3,2 %, що свідчить про правильність виконаного теплового розрахунку.



Рисуюнок 2. Індикаторна діаграма тиску:
 а – справний двигун; б – згорання немає



Рисуюнок 3. Індикаторна діаграма температури:
 а – справний двигун; б – згорання немає

За допомогою комп'ютерної програми Engine Calculation розраховано параметри робочого тіла в циліндрі за цикл при відсутності згорання. Для цього задаємо величину нижчої теплоти згорання $H_u = 0$. За результатами розрахунку в програмі будуємо порівняльні індикаторні діаграми тиску та температури справного та несправного (рис. 2б, рис. 3б) двигуна. З діаграм видно, що і тиск, і температура, на такті робочого ходу зменшились. З розгорнутих діаграм тиску та температури (рис. 4б, рис. 5б) видно, що процес згорання в циліндрі дійсно не відбувся.

Тому максимальні значення тиску $p_{max} = 1,866$ МПа (при $\varphi = 354^\circ$ ПКВ) та температури $T_{max} = 869,1$ К (при $\varphi = 349^\circ$ ПКВ) у несправного двигуна досягаються наприкінці стиснення – значно раніше, ніж у двигуна з нормальним згоранням.

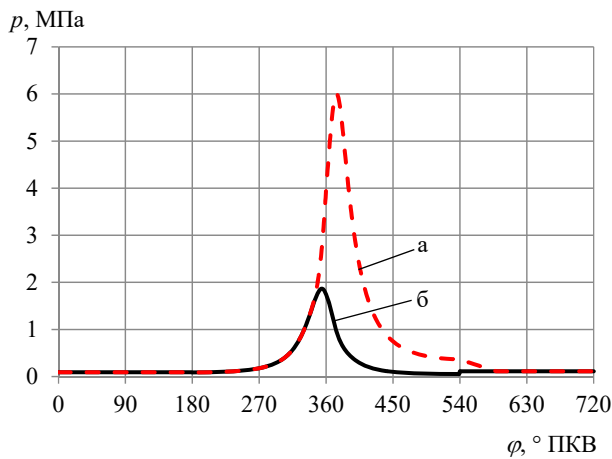


Рисунок 4. Розгорнута індикаторна діаграма тиску:
 а – справний двигун; б – згорання немає

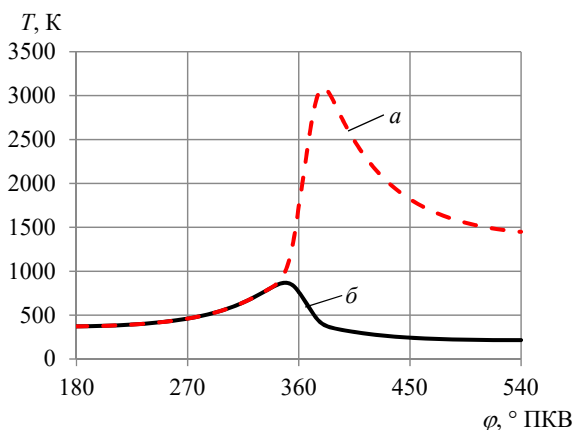


Рисунок 5. Розгорнута індикаторна діаграма температури:
 а – справний двигун; б – згорання немає

Розраховано сили, що діють на поршень двигуна MeM3-245 при його нормальній роботі (рис. 6):

- сила тиску газів P_z , діюча на поршень;
- сила інерції зворотно-поступально рухомих мас P_j ;

- результуюча сила P_n , що діє на поршень вздовж осі циліндра, розраховується за формулою:

$$P_n = P_z + P_j, \quad (2)$$

За відсутності згорання в циліндрі, сила тиску газів P_z зменшується. Сила інерції зворотно-поступально рухомих мас P_j залишається незмінною, отже, результуюча сила P_n , що діє на поршень вздовж осі циліндра, відповідно до формули (1), зменшується.

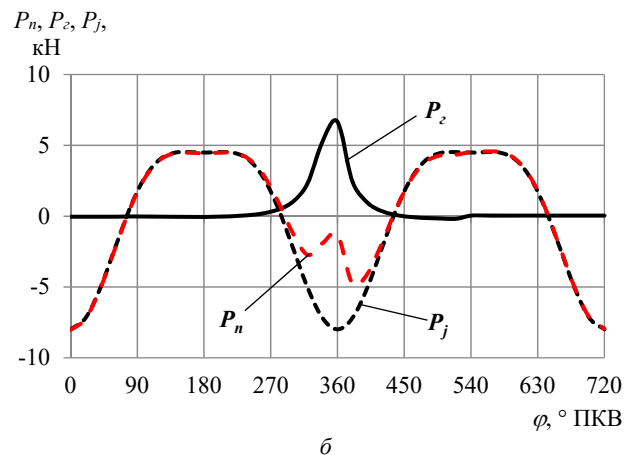
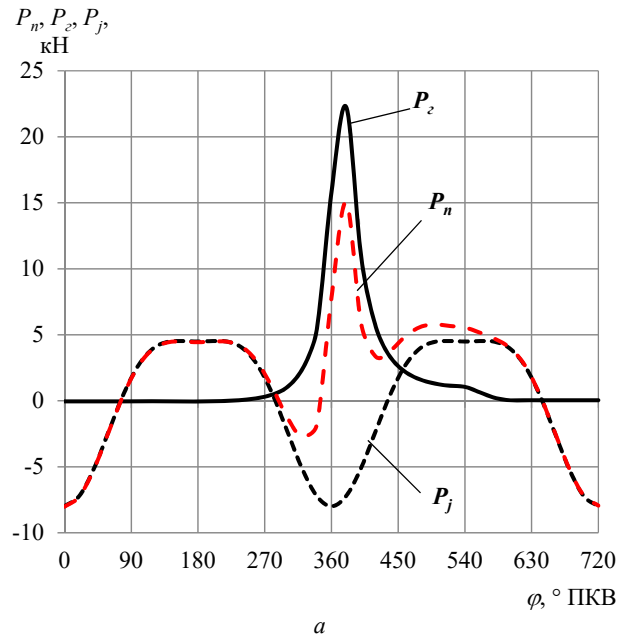


Рисунок 6. Графіки сил P_n, P_z, P_j від кута повороту колінчастого валу двигуна MeM3-245:

а – справний двигун; б – несправний двигун

З рисунка 6, б видно, що у несправного двигуна максимальне значення сили $P_n = 4,57$ кН (практично співпадає з силою інерції), в той час як у справного двигуна $P_n = 15,05$ кН (рис. 6а).

Після визначення сил, діючих на шатун та кривошип, розраховано індикаторний обертальний момент на кривошипі для одного циліндра (рис. 7). За відсутності згорання в циліндрі середній обертальний момент $M_1 < 0$. Це підтверджує той факт, що в циліндрі робота не створюється, а лише витрачається.

Далі знаходимо сумарні індикаторні обертальні моменти справного двигуна

$$M_{\text{сум}i} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4. \quad (3)$$

та будуємо діаграму (рис. 8а).

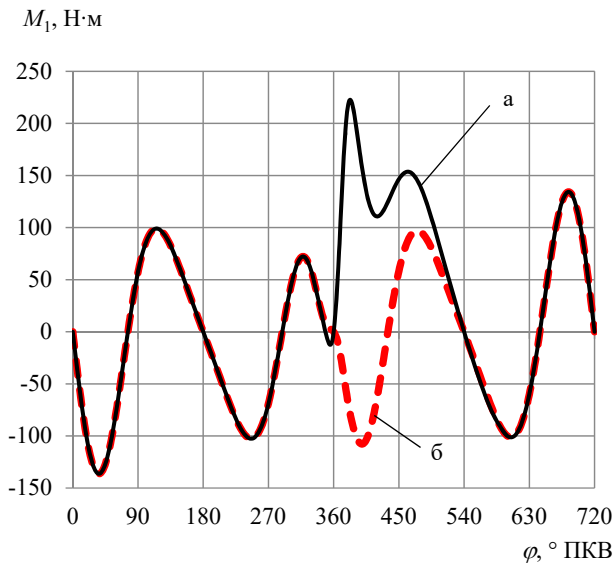


Рисунок 7. Обертальний індикаторний момент від одного циліндра:

а – справний двигун; б – несправний двигун

З діаграми сумарного індикаторного обертального моменту двигуна МеМЗ-245 (рис. 8а) визначаємо:

- максимальний момент $M_{\text{крmax}} = 388,66 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- мінімальний момент $M_{\text{крmin}} = -177,71 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- середній момент $M_{\text{крср}} = 91,88 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Далі за формулою (1) розраховуємо коефіцієнт нерівномірності обертального моменту справного двигуна МеМЗ-245 $\mu = 6,164$. Отриманий результат близький до середнього значення μ згідно до літературних даних (рис. 1).

Далі визначаємо індикаторні обертальні моменти двигуна, приймаючи несправним перший циліндр (рис. 8б):

- максимальний момент $M_{\text{крmax}} = 388,66 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- мінімальний момент $M_{\text{крmin}} = -400,22 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- середній момент $M_{\text{крср}} = 64,85 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Очікувано, середній індикаторний момент двигуна зменшився на 29,4 %.

Для оцінки ступеня нерівномірності індикаторного обертального моменту ДВЗ за формулою (1) розраховуємо коефіцієнт нерівномірності обертального моменту несправного двигуна МеМЗ-245, з пропусками запалювання в 1-му циліндрі $\mu = 12,165$.

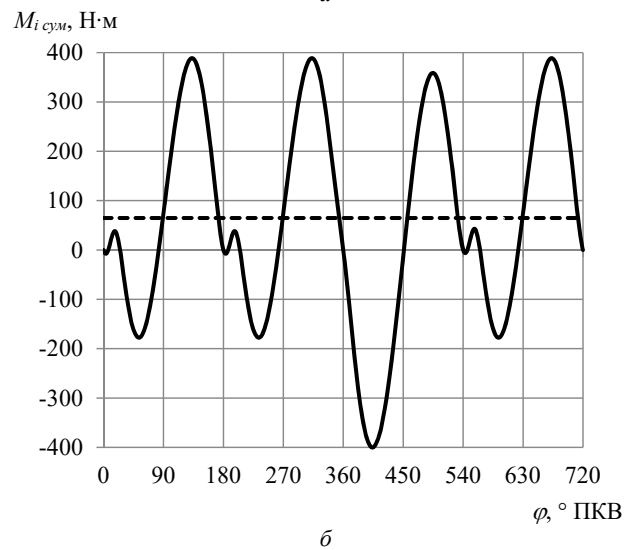
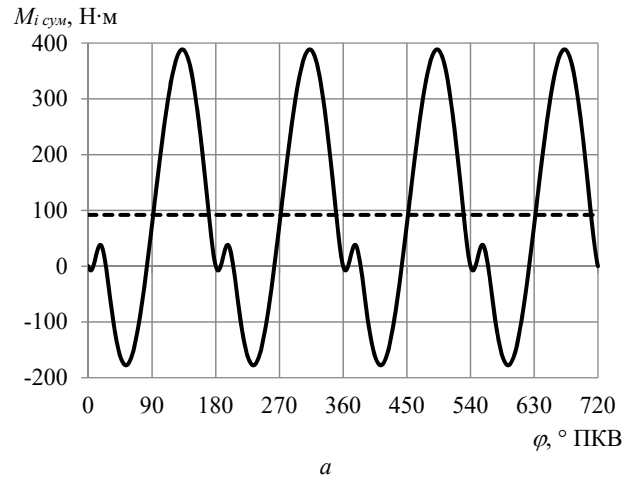


Рисунок 8. Сумарний індикаторний обертальний момент двигуна МеМЗ-245:

а – справний двигун; б – з пропуском запалювання в першому циліндрі

Висновки

В роботі вирішено актуальне питання дослідження впливу пропусків запалювання на показники нерівномірності обертання колінчастого валу ДВЗ з іскровим запалюванням. Розраховано коефіцієнт нерівномірності обертального моменту ДВЗ для 4-тактного 4-циліндрового двигуна МеМЗ-245 при роботі на номінальному режимі $\mu = 6,164$.

Внаслідок несправності (при роботі двигуна на 3-х циліндрах) середній ефективний момент двигуна зменшився на 29,4 %.

Розраховано значення коефіцієнта нерівномірності обертального моменту несправного двигуна $\mu = 12,165$, що вдвічі перевищує значення для справного двигуна. За рівнем нерівномірності обертального моменту, 4-циліндровий рядний двигун МеМЗ-245 з пропусками запалювання одного циліндра наближається до одноциліндрових двигунів (рис. 1).

Найкращим способом для усунення нерівномірності обертального моменту і нерівномірності обертання колінчастого валу ДВЗ є використання спеці-

альних демпферів: двомасового маховика та двомасового шків приводу допоміжних агрегатів. У першого ведучий та ведений елементи поєднуються пружинно-демпферним механізмом, у другого – пружним гумовим наповнювачем.

Список літератури

1. Дмитриев, А. Как понять что двигатель троит? / А. Дмитриев. – Сайт «<https://japan-cars.com.ua>». – Режим доступу: <https://japan-cars.com.ua/stati/kak-ponjat-chto-dvigatel-troit/>
2. Ревин А. Почему двигатель «троит» и что с этим делать? / А. Ревин, М. Колодочкин. – Сайт «Зарулем». – Режим доступу: <https://www.zr.ru/content/articles/910108-chto-delat-esli-dvigatel-vdr/>
3. Колчин А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 496 с.
4. Автомобільні двигуни : Підручник / Ф. І. Абрамчук, Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов, І. І. Тимченко. – 3-тє видання. – К. : Арістей, 2006. – 476 с.
5. Гергенов С. М. Проверочный расчет поршневого двигателя внутреннего сгорания : Учебное пособие / С. М. Гергенов // Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2009. – 90 с.
6. Колесникова Т. Н. Определение составляющих неравномерности суммарного крутящего момента при отключении цилиндров / Т. Н. Колесникова, В. Г. Заренбин, О. П. Сакно // Двигуни внутрішнього згорання. – 2021. – № 2. – С. 38–42. DOI: 10.20998/0419-8719.2021.2.05
7. Корнеев А. Е. Устройство для исследования неравномерности вращения коленчатого вала / А. Е. Корнеев // Омский научный вестник. – 2010. – № 5 (173). – С. 40–43.
8. Моделивання нерівномірності обертання колінчатого валу дизеля / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов,

Д. В. Черняев, О. Я. Децюра // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – С. 18–25.

9. Model-based diagnosis of large diesel engines based on angular speed variations of the crankshaft / M. Desbazeille, R. B. Randall, F. Guillet et al. // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2010. – Vol. 24. – P. 1529–1541. DOI:10.1016/j.ymssp.2009.12.004

10. Борщенко, Я. А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Борщенко Ярослав Анатольевич. – Тюмень, 2003. – 175 с.

11. Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, О. Я. Децюра, Д. В. Черняев // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 2 (41). – С. 56–60.

12. Савастенко Э. А. Снижение степени неравномерности крутящего момента в ДВС // Э. А. Савастенко, И. А. Никишин, С. Н. Девянин // Вестник РУДН. Серия : Инженерные исследования. – 2010. – № 3. – С. 99–106.

13. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей ЗАЗ-110206/1103/1105 и их модификаций (1102-3902002). / Г. В. Чуйко, Н. В. Колтакова, В. М. Донец, О. В. Пилюпец. – Отв. ред. С. В. Филипенко. – 2-е изд. – Запорожье : ЗАО «ЗАЗ», 2003. – 464 с.

14. Силовой агрегат МЕМЗ-245. – Сайт «ХРП «АвтоЗАЗ-Мотор»». – Режим доступу: <http://tavria-auto.narod.ru/memz245.htm>

15. Слинько Г. І. Тепловий і динамічний розрахунок ДВЗ : навчальний посібник з курсового проектування / Г. І. Слинько, Р. Ф. Сухонос, В. В. Слинько. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 130 с.

Одержано 26.02.2024

STUDY OF THE INFLUENCE OF MISFIRES ON THE UNEVEN ROTATION OF THE CRANKSHAFT OF A GASOLINE ENGINE

- Slynko G. Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Internal Combustion Engines, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: gslynko@zp.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1954-8530
- Ryaboshapka N. Senior lecturer of the Department of Internal Combustion Engines, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: ryaboshapka.ne@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0334-8363
- Sukhonos R. M. Sc., Senior lecturer of the Department of Internal Combustion Engines, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: romevs@zp.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9683-3389
- Yevsyeyeva N. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Internal Combustion Engines, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: korskovanat@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3398-6537
- Soldatchenkov O. Student, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine

Purpose. Investigate the effect of misfires on the unevenness of the torque on the crankshaft of gasoline internal combustion engine with spark ignition.

Research methods. The results of the thermodynamic calculation of the operating cycle, the dynamic calculation of the engine parameters at the nominal operating mode of an well engine and an engine with misfiring in one cylinder are presented. The computer program Engine Calculation and Microsoft Office program package were used to perform the research. The object of the study is the MeMZ-245 four-stroke, four-cylinder gasoline engine. The subject of the study is the torque unevenness coefficient of the internal combustion engine μ .

Results. The topical issue of investigating the impact of misfires on the indicators of unevenness of rotation of the crankshaft of a spark-ignition internal combustion engine has been solved. The torque unevenness coefficient $\mu = 6.164$ for the MeMZ-245 4-stroke 4-cylinder engine when operating at the nominal mode was calculated. It was established that as a result of a malfunction (disabling one cylinder), the average effective torque of the engine decreases by 29.4%. The value of the torque unevenness coefficient of the faulty engine was calculated as $\mu = 12.165$, which is twice the value for the well-worked engine. It was established that level of torque unevenness of MeMZ-245 4-cylinder in-line engine with misfiring approaches to single-cylinder engines.

Scientific novelty. For the first time, it was theoretically proven that due to the lack of ignition in one of the cylinders of a 4-stroke 4-cylinder engine, the average effective torque of the engine decreases by 29.4% when operating at the nominal mode. The value of the torque unevenness coefficient μ of an engine with misfiring is twice the value for a well-worked engine, which is close to similar values of single-cylinder engines.

Practical value. The method of calculating the torque unevenness coefficient of an internal combustion engine can be used in the design of new and modernization of existing internal combustion engines.

Key words: 4-stroke internal combustion engine, dynamic calculation, indicator diagram, misfires, torque unevenness coefficient, torque.

References

1. Dmitriev, A. Kak ponyat chto dvigatel troit [How to understand that the engine is misfiring]. Available at: <https://japan-cars.com.ua/stati/kak-ponjat-chto-dvigatel-troit/>
2. Revin, A., Kolodochkin, M. Pochemu dvigatel «troit» i chto s etim delat? [Why does the engine misfiring and what to do with it?] – Available at: <https://www.zr.ru/content/articles/910108-chto-delat-esli-dvigatel-vdr/>
3. Kolchin, A. I., Demidov V. P. (2008). Raschet avtomobilnyh i traktornyh dvigatelej: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Calculation of automobile and tractor engines: Textbook for universities]. – 4th Edition. – Moscow (Russia), 496.
4. Abramchuk, F. I., Gutarevich Ju. F., Dolganov, K. E. (2006). Avtomobil'ni dviguni [Automobile engines]. – Kyiv (Ukraine): Aristej, 476.
5. Gergenov, S. M. (2009). Proverochnyj raschet porshnevoego dvigatelya vnutrennego sgoraniya : Uchebnoe posobie [Test calculation of a piston internal combustion engine: Textbook]. – Ulan-Ude (Russia) : VSGTU Publishing, 90.
6. T. N. Kolesnikova, V. G. Zarenbin, O. P. Sakno (2021). Opredelenie sostavlyayushih neravnomernosti summarnogo krutyashego momenta pri otklyuchenii cilindrov [Determination of the components of unevenness of the total torque when the cylinders are turned off] // Dviguni vnutrishnego zgorannya, 2, 38–42. DOI: 10.20998/0419-8719.2021.2.05
7. Korneev, A. E. (2010). Ustrojstvo dlya issledovaniya neravnomernosti vrasheniya kolenchatogo vala [Device for studying the uneven rotation of the crankshaft]. Omskij nauchnyj vestnik, 5 (173), 40–43.
8. B. Ye. Bodnar, O. B. Ochkasov, D. V. Chernyayev, O. Ya. Decyura (2010). Modelyuvannya nerivnomirnosti obertannya kolinchatogo valu dizelya [Modeling of uneven rotation of the crankshaft of a diesel engine. Visnik Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana, 31, 18–25.
9. M. Desbazeille, R.B. Randall, F. Guillet, M. El Badaoui, C. Hoisnard. (2010). Model-based diagnosis of large diesel engines based on angular speed variations of the crankshaft. Mechanical Systems and Signal Processing, 24, 1529–1541. DOI:10.1016/j.ymsp.2009.12.004
10. Borshenko, Ya. A. (2003). Razrabotka metoda diagnostirovaniya avtomobilnyh dizel'ev po neravnomernosti vrasheniya kolenchatogo vala [Development of a method of diagnosing automobile diesel engines for irregular crankshaft rotation] : PhD dissertation. – Tyumen (Russia), 175.
11. B. Ye. Bodnar, O. B. Ochkasov, O. Ya. Decyura, D. V. Chernyayev (2012). Metodi nerozbiernogo diagnostuvannya dizeliv pri ekspluatatsiyi ruhomogo skladu [Methods of non-disassemble diagnostics of diesel engines during operation of rolling stock]. Visnik Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana, 2 (41), 56–60.
12. E. A. Savastenko, I. A. Nikishin, S. N. Devyanin (2010). Snizhenie stepeni neravnomenosti krutyashego momenta v DVS [Reducing the degree of torque unevenness in internal combustion engines]. Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya, 3, 99–106.
13. G. V. Chujko, N. V. Koltakova, V. M. Donec, O. V. Pilipec (2003). Rukovodstvo po tehničeskomu obsluzhivaniyu i remontu avtomobilej ZAZ-110206/1103/1105 i ih modifikacij (1102-3902002) [Manual for maintenance and repair of ZAZ-110206/1103/1105 vehicles and their modifications (1102-3902002)]. Zaporozhe (Ukraine): ZAO “ZAZ”, 464.
14. Silovoj agregat MEMZ-245 [MEMZ-245 power unit]. – Available at: <http://tavria-auto.narod.ru/memz245.htm>
15. Slyn'ko, G. I., Sukhonos, R. F., Slinko V. V. (2024). Teplovij i dinamichnij rozrahunok DVZ : navchal'nij posibnik z kursovogo proektuvannja [Thermal and dynamic calculation of internal combustion engine: manual for course project]. – Zaporizhzhia (Ukraine): National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, 130.