УДК 621.43

ВПЛИВ ЗМІНИ ПРИВЕДЕНОГО МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНІЗМУ НА СУМАРНИЙ МОМЕНТ ДВИГУНА

Кандидат технічних наук Ільченко А.В.
Ломакін В.О.

В статті проаналізованоо вплив зміни приведеного моменту на прикладі двигуна МеМЗ-2457 на сумарний момент зовнішних сил

The article is about impact of the changing moment of inertia in case the engine MeMZ-2457 to the total moment of external forces of engine

Постановка проблеми. До основних задач двигунобудування та автомобілебудування відноситься зниження рівня вібраційних навантажень від двигуна. Ця задача безпосередньо пов'язана з зі збільшенням ресурсу та ефективності роботи вузлів, зниженням їх матеріалоємності, підвищенням комфортності, екологічності тощо. Це піднімає цілий ряд задач конструювання на новий рівень. В останні роки увагу конструкторів привернув той факт, що крутильні коливання приводів з ДВЗ супроводжуються не тільки поламками конструкції, але й втратами енергії, які раніше включалися у величину коефіцієнта корисної дії. Слід зазначити той факт, що потужність втрат при резонансі та близьких до нього режимах роботи різко зростає, і це ставить боротьбу з коливаннями в число заходів, що відносять до ресурсозбереження та підвищення екологічної безпеки машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Циклічна природа роботи ДВЗ створює нерівномірність частоти обертання колінчастого вала (КВ). Непостійність частоти обертання КВ оцінюють коефіцієнтом нерівномірності ходу δ [1]. В транспортних системах найбільшого поширення набули поршневі ДВЗ, для яких характерне перетворення зворотньо-поступального руху в обертальний. Це породжує зміну приведеного моменту інерції (ПМІ) ДВЗ, якою в практичних розрахунках нехтують внаслідок незначності цього впливу [1-3]. Але, деякі задачі пов'язані з коливаннями ДВЗ та під час діагностування потребують більш глибокого дослідження впливу зміни ПМІ ДВЗ.

Постановка завдання. Метою доної роботи є аналіз впливу ПМІ кривошипнно-шатунного механізму ДВЗ на енергетичні характеристики його роботи.

Виклад основного матеріалу. З динміики відомо, що рух КВ ДВЗ можна виразити через сумарний момент *M* зовнішніх сил [4]:

$$M = M_{\partial} - M_{\hat{i}} = \frac{dT}{d\varphi} = I(\varphi)\varepsilon + \frac{\omega^2}{2}\cdot\frac{dI(\varphi)}{dt}, \qquad (1)$$

де: M_p – момент сил, що рухають, Н·м; M_c– момент сил опору, Н·м; T – кінетична енергія, Дж; $I(\varphi)$ – ПМІ ДВЗ, кг·м^2; ε – прискорення КВ, рад/ с^2;ω – частота обертання КВ, рад/ с.

В теорії розрахунків ДВЗ для спрощення вважають ПМІ поршневого двигуна постійним [1]. В цьому випадку при постійній частоті обертання КВ (ε =0) сумарний момент зовнішніх сил дорівнює нулю. Але внаслідок нерівномірності крутного моменту у поршневого ДВЗ виникає нерівномірність частоти обертання КВ, яка характеризується коефіцієнтом нерівномірності хода ДВЗ δ, чисельні значення якого в залежності від призначення двигуна та типу навантаження знаходяться в межах 0,01-0,045 [1]. Таким чином, на будь-якому режимі роботи ДВЗ існують коливання крутного моменту та частоти обертання КВ, дотого ж для поршневих ДВЗ характерна зміна приведеного до осі КВ моменту інерції всіх його рухомих мас від кута повороту його КВ [2, 3].

При усталеному режимі роботи швидкість обертання КВ змінюється періодично. Часто усталений рух чергується з розгонами (при підвищеннях швидкісного режиму) і гальмуваннями (при зниженнях швидкісного режиму).

Внаслідок того, що в рівнянні (1) різниця моментів рухаючих сил M_p та сил опору M_c є функціями від φ, в загальному випадку це рівняння є нелінійним диференціальним. Його розв'язок може бути проведений лише наближеними методами.

Коефіцієнт нерівномірності ходу δ характеризує лише зміну кутової швидкості від ω_{min} до ω_{max}, але не характеризує динаміки руху. Динамічні властивості можна охарактеризувати

коефіцієнтом динамічності χ, в якості якого беруть відношення екстремального значення (максимального) кутового прискорення ε до квадрата середнього значення кутової швидкості [4]:

$$\chi = \frac{\varepsilon_{\max}}{\omega_{cp}^2}, \tag{2}$$

Проаналізувавши експериментальні дані роботи двигуна МеМЗ-2457 на режимах холостого ходу визначимо кутове прискорення КВ протягом оберту у вигляді, рад/с^2 [2]:

$$\varepsilon = \theta_1 \sin\varphi + \theta_2 \cos\varphi + \theta_3 \sin 2\varphi + \theta_4 \cos 2\varphi \tag{3}$$

Результати експериментальних даних зведемо в табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальне дослідження частоти обертання

Режими без навантаження					
Середня частота КВ, об/хв	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	χ
566	1,28	37,252	14,788	-6,426	0,722
1019	-2,8	10,4	4,66	-8,54	0,104
2161	1,79	0,754	-15,608	-1,26	0,072
3205	-3,9	0,992	-36,53	-12,496	0,103

Амплітудні значення кутового прискорення ε характеризують динамічні процеси, що відбуваються в двигуні. З підвищенням частоти обертання КВ двигуна, внаслідок зменшення нерівномірності ходу δ, амплітудні значення ε повинні зменшуватись. Але, як видно рис. 1., при збільшенні середньої частоти обертання КВ до 1019 об/хв. амплітуда ε зменшується, потім стабілізується (при 2161 об/хв.) і починає збільшуватись (при 3205 об/хв.).

Скоріш за все це пов'язано з наближенням резонансної частоти власних коливань КВ, що складає 3463 об/хв.

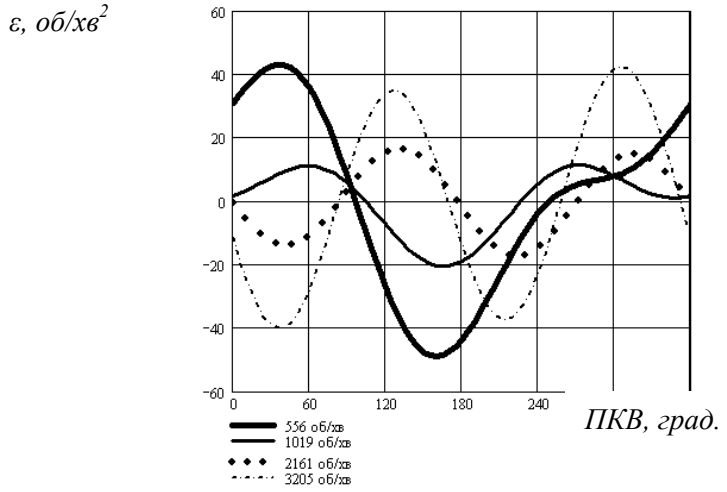

Рис.1 Зміна прискорень КВ МеМЗ-2457 протягом оберту при різних частотах обертання без навантаження.

Зміна кінетичної енергії завжди пропорційна площі, яка обмежена кривою приведеного момента *M* [4]. Для врахування впливу зміни ПМІ *I*, порівняємо значення площ обмеженої кривою приведеного момента *M* визначених з врахуванням зміни ПМІ визначених згідно [2] для МеМЗ-2457, та при умові *I=const* згідно виразу:

$$M = I_{\ddot{i}} \frac{d\omega}{d\varphi}. \tag{4}$$

Внаслідок того, що навантаження, трансмісія, дорожні умови тощо, чинять суттєвий вплив на коливальні процеси, що протікають в ДВЗ, для аналізу впливу зміни ПМІ розглянемо лише режими роботи без навантаження. Отримані криві моменту зображено на рис. 2.

Для аналізу впливу зміни ПМІ *I* на кінетичну енергію коливань, була визначення площа, що обмежена між кривими *M* при *I=var* та *I=const* (рис. 2 а)-в)) та віднесена до значення площі при припущенні *I=const*. В результаті встановлено, що зміна ПМІ I_n збільшує кінетичну енергію коливань на усталеному режимі на 2,1% та 13,1% рис. 2 а)-б), та навпаки зменшує її на 23,3% та 13,7% рис. 2 в)-г). Зменшення кінетичної енергії коливань скоріш за все відбувається за рахунок наростання коливальних процесів КВ на цих режимах та неспівпадінні фаз цих коливань з законом зміни ПМІ *I*.

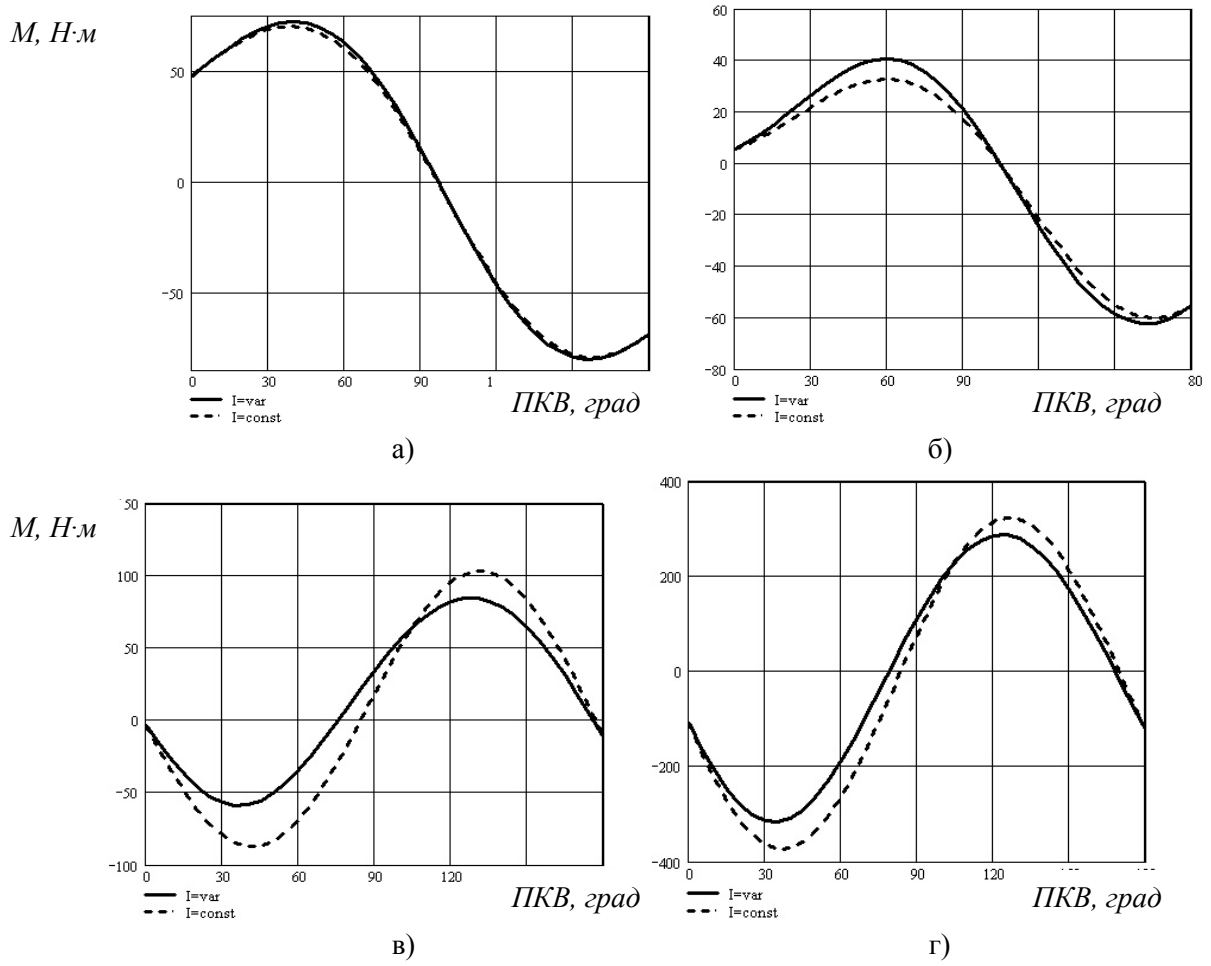

Рис.2 Зміна сумарного моменту двигуна МеМЗ-2457 протягом оберту на режимах холостого ходу: а) середня частота обертання КВ 566 об/хв; б) середня частота обертання КВ 1006 об/хв; в) середня частота обертання КВ 2161 об/хв; г) середня частота обертання КВ 3205 об/хв

Висновок: зміна приведеного моменту інерції двигуна внутрішнього згоряння МеМЗ245-7 значно змінює сумарний момент протягом циклу в межах від -23,3% до +13,1% відносно припущення постійності приведеного моменту інерції.

Література

1. Автомобільні двигуни/ [Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І.]; Підручник. – 3-тє видання – К.: Арістей, 2007. – 476 с. ISBN 966-8458-26-5

2. А. В. Ільченко, Ю.О. Кубрак, В. О. Ломакін, Приведений момент інерції кривошипно-шатунного механізма одноциліндрового поршневого двигуна внутрішнього згоряння// Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ-2011 . -№10 . - 148с. с.23-32.

3. А.В. Ільченко, В.О. Ломакін. Експериментальне дослідження нерівномірністі ходу поршневого двигуна внутрішнього згоряння // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту. №7(149)– 2010. – с. 57-60.

4. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин [учеб. для втузов, 4-е изд., перераб. и доп.] / И. И. Артоболевский. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 640 с.