

УДК 621.431

ВПЛИВ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ НА ДИНАМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ ШЕСТИЦИЛІНДРОВОГО ДВИГУНА НА КУЗОВ АВТОМОБІЛЯ

А.В. Хімченко, Д.Г. Мішин, А.В. Бузов
АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»

Розроблено методику визначення реакцій на опорах двигуна, визначено зміну цих реакцій в залежності від кількості працюючих циліндрів та показано, що при відключенні циліндрів максимальне навантаження на опори збільшується до 40%, а його динамічність змінюється в 1,3–1,5 разів.

Проблема зниження витрати палива двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) 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 ДВЗ немає. Тому передові виробники шукають можливі варіанти зменшення витрат палива на режимах часткового навантаження і вже мають певний успіх у цьому питанні [1, 2].

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 сьогоднішній день використовується метод «відключення» клапанів циліндру (системи Multi-Displacement System, Displacement on Demand, Active Cylinder Control, Variable Cylinder Management, Zylinderabschaltung), проте найефективнішим слід вважати метод застосування роз'ємного колінчастого валу, що дозволяє досягнути повної зупинки поршневої групи та зниження витрат на тертя.

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 та виникнення вібрації двигуна при відключенні частини циліндрів [3].

Поршневі двигуни можуть бути повністю зрівноваженими від сил інерції. Але при відключенні циліндрів двигуна на режимах часткового навантаження, взаєморівноваження сил, що діють у кривошипно-шатунному механізмі (КШМ), зникає, що впливає на навантаження в опорах двигуна. Метою дослідження було визначити вплив відключення циліндрів на зміну навантаження на опорах двигуна в залежності від кута оберту колінчастого валу.

Визначення реакцій на опорах двигуна

Дослідження проводилось для шестициліндрового рядного двигуна, що є неповноопорним. Двигуни подібної конструкції мають широке розповсюдження. Зважаючи на конструкцію двигуна, відключення циліндрів можливе лише попарним.

Розрахунок виконувався у середовищі математичного моделювання MathCAD, робочий процес двигуна при цьому не враховувався.

На опори двигуна передаються сили, що виникають у блоці циліндрів, а саме реакції на корінних шийках та нормальні реакції у циліндрах двигуна, і його вага (рис. 1).

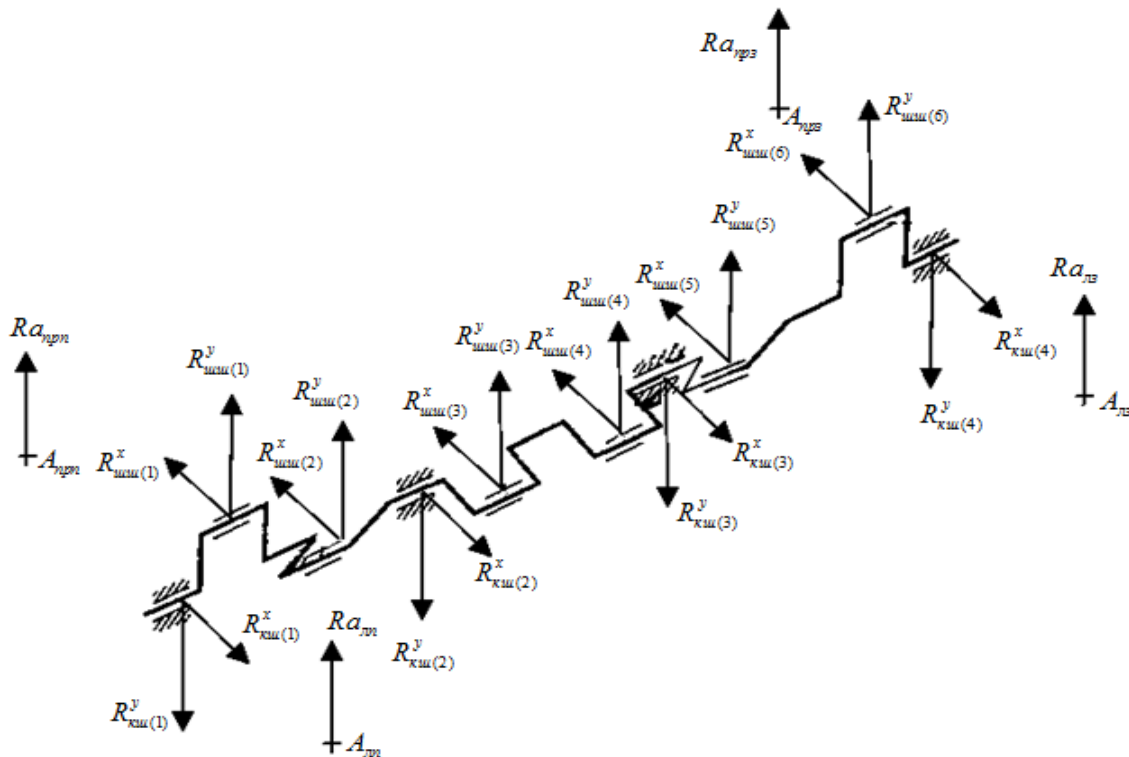


Рис. 1. Схема сил, що діють на корінні та шатунні шийки у шестициліндровому рядному двигуні, та на опори двигуна

Визначення реакцій на корінних шийках двигуна $R_{кш}$ виконується з урахуванням особливості конструкції двигуна. Сили розкладалися на дві складові: вертикальну та горизонтальну.

Сумарна реакція усіх корінних шийок у горизонтальній площині $\sum R_{ку}^x$ дорівнює сумарній нормальній силі $\sum N$ усіх циліндрів за модулем, проте протилежна за напрямком, тому реакції на опорах двигуна у цій площині виникати не будуть.

Використання просторової системи дії сил значно ускладнює проведення розрахунків, тому для спрощення було вирішено розкласти просторову систему на дві площинні системи.

Вважаючи, що розподіл навантаження на передні та задні опори двигуна для лівої та правої сторони однаковий, використовувався коефіцієнт $K_{n/3}$, який визначає долю розподілу навантаження між передніми $R_{\sum n}^a$ та задніми $R_{\sum 3}^a$ опорами:

$$K_{n/3} = \frac{R_{\sum n}^a}{R_{\sum 3}^a}. \quad (1)$$

Таким чином були отримані залежності, що визначають реакції на відповідних опорах: передній правій R_{npr}^a , передній лівій R_{nl}^a , задній правій R_{npz}^a та лівій R_{lz}^a опорах.

$$R_{npr}^a = -\left(\frac{\sum R_{ку}^y}{4} - \frac{\sum NX}{2b} + \frac{mg}{4}\right) K_{n/3}; \quad R_{nl}^a = -\left(\frac{\sum R_{ку}^y}{4} + \frac{\sum NX}{2b} + \frac{mg}{4}\right) K_{n/3}; \quad (2)$$

$$R_{npz}^a = -\left(\frac{\sum R_{ку}^y}{4K_{n/3}} - \frac{\sum NX}{2bK_{n/3}} + \frac{mg}{4K_{n/3}}\right); \quad R_{lz}^a = -\left(\frac{\sum R_{ку}^y}{4K_{n/3}} + \frac{\sum NX}{2bK_{n/3}} + \frac{mg}{4K_{n/3}}\right), \quad (3)$$

де b – відстань між опорою двигуна та центром колінчастого валу; X – хід поршня, mg – вага двигуна.

Незалежно від кількості працюючих циліндрів сума горизонтальних реакцій залишається незмінною та дорівнює нулю.

Результати розрахункового дослідження двигуна

Як показали розрахунки, при роботі усіх циліндрів середні та максимальні реакції на опорах двигуна приблизно однакові (рис. 2а). При відключенні першої пари циліндрів (рис. 2б) максимальне навантаження, порівняно з його найбільшим значенням при роботі усіх циліндрів, зростає до 40%, та стає помітною нерівномірність розподілу навантаження по опорах. При відключенні ще однієї пари, порівняно з роботою на чотирьох циліндрів, знову відбувається значна зміна максимального навантаження, яка складає близько 30%,

а також стає чітко помітним порушення циклічності зміни періодичності реакцій на опорах (рис. 2в).

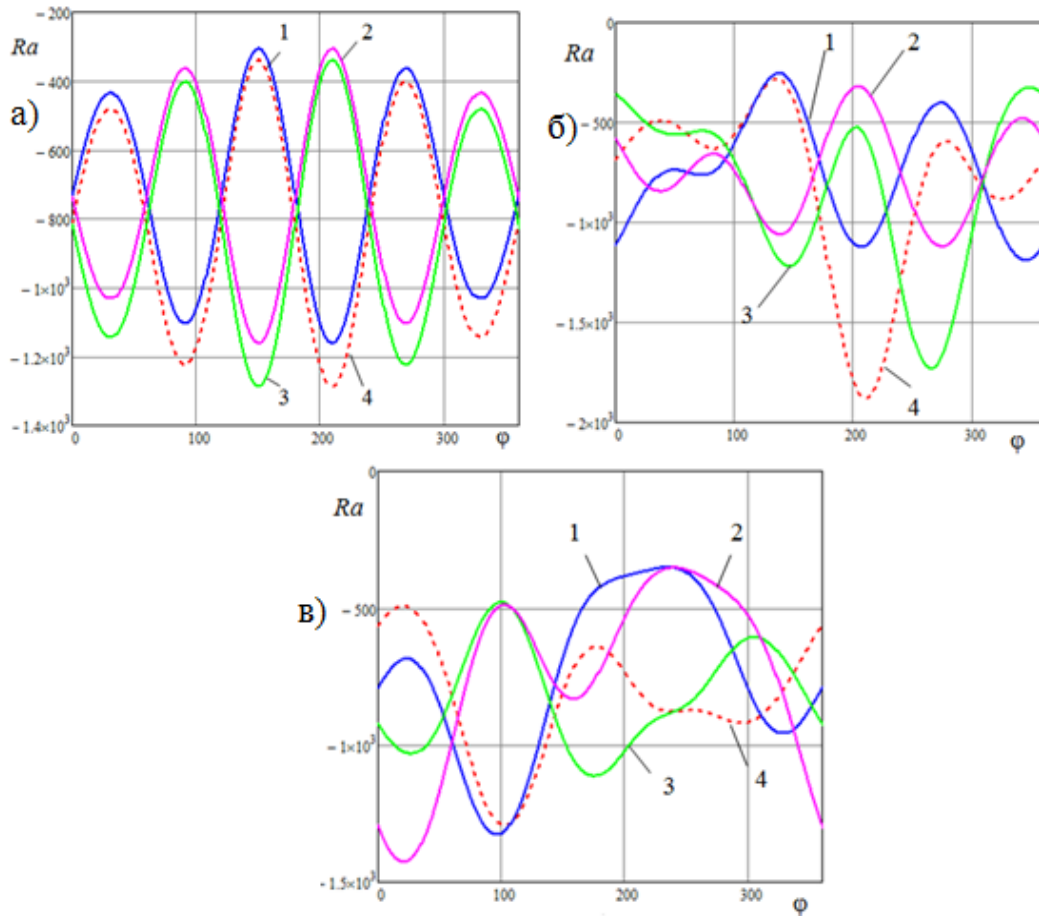


Рис. 2. Зміна реакцій на опорах двигуна від кута оберту колінчастого валу

а – при роботі усіх циліндрів; б – при роботі чотирьох циліндрів; в – при роботі двох циліндрів; 1 – ліва задня опора; 2 – права задня опора; 3 – права передня опора; 4 – ліва передня опора

Для більш детального аналізу впливу відключення циліндрів на зміну реакцій на опорах двигуна визначимо коефіцієнт динамічності, що є відношенням максимальної реакції на опорі до її середнього значення:

$$K_d = \frac{R_a^{\max}}{R_a} \quad (4)$$

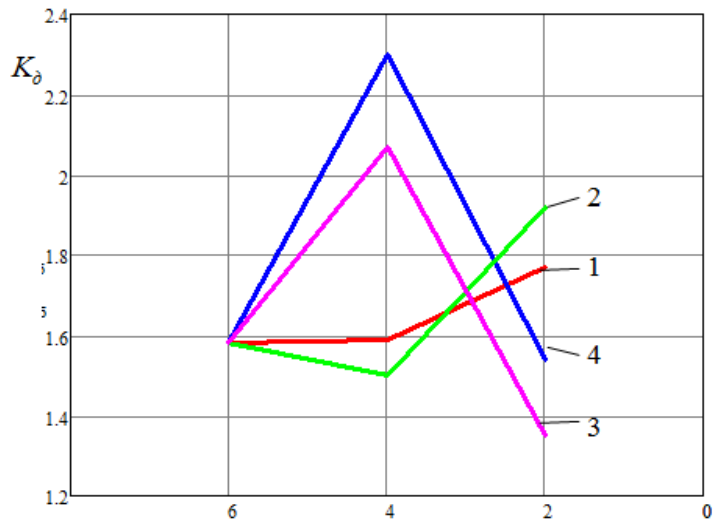


Рис. 5. Залежність коефіцієнта динамічності від кількості працюючих циліндрів для кожної опори
1 – ліва задня опора; 2 – права задня опора; 3 – права передня опора; 4 – ліва передня опора

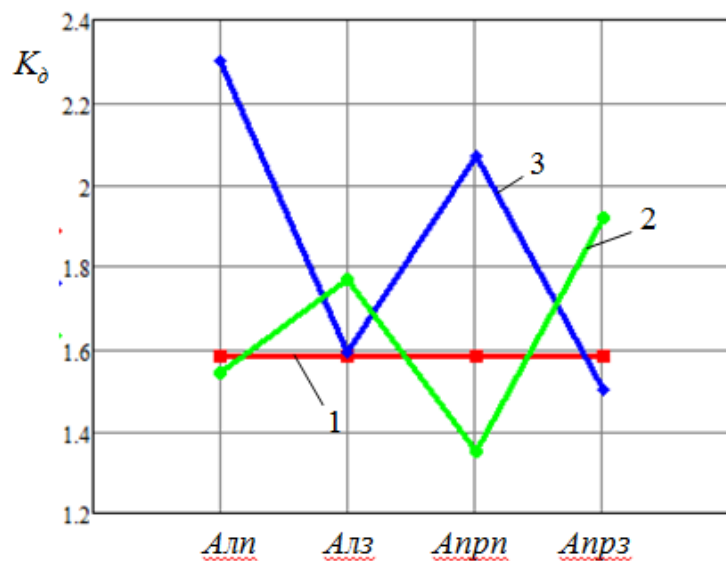


Рис. 6. Значення коефіцієнта динамічності на опорах двигуна в залежності від кількості працюючих циліндрів
1 – при шести працюючих циліндрах; 2 – при чотирьох працюючих циліндрах; 3 – при двох працюючих циліндрах

Висновки

Отримані результати дослідження показали, що:

1. При відключенні циліндрів з'являється невірноваженість двигуна, яка впливає на опори двигуна.

2. При відключенні циліндрів стрибок максимального навантаження на опори двигуна складає до 40%, а динамічне навантаження на опори двигуна змінюється в 1,3–1,5 рази.

В подальшому для вирішення питання про зменшення навантаження на опори двигуна при відключенні циліндрів необхідно дослідити вплив на нього механізмів зрівноваження сил інерції КШМ (механізми Ланчестера).

Бібліографічний список

1. Einfluss hydraulischer Nockenwellenversteller auf die Dynamik von Ventil- und Steuertrieben / Bernd HeiЯing. – 2009. – 133 с.
2. Сирота А.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатциліндрового бензинового двигуна застосуванням комбінованого методу регулювання потужності: дис,... к.т.н.: 05.05.03 / Сирота Олександр Вадимович. – К., 2011. – 286 с.
3. Gilbert Peters. Cylinder deactivation on 4 cylinder engines: A torsional vibration analysis . – Eindhoven University of Technology (TU/e). – 2007. – 75 с.