

$$\begin{aligned}
& \ddot{\varphi}_1 \left\{ I_1 + I_{2y2} \left[k_I \frac{\cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}{(1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^2} + \frac{\cos^2 \alpha}{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} + \right. \right. \\
& \left. \left. + k_I \frac{\sin^2 \alpha \sin^2 \varphi_1}{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \right] + \frac{I_3 \cos^2 \alpha}{(1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^2} \right\} + \frac{\dot{\varphi}_1^2 \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \cdot \sin 2\varphi_1}{2(1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^2} \times \\
& \times \left[I_{2y2} \left(k_I - k_I \frac{1 + \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} - 1 \right) - I_3 \frac{2}{1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1} \right] = \\
& = T_1 - T_3 \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}.
\end{aligned} \quad (8)$$

Якщо знехтувати масою хрестовини, прийнявши $I_{2y2}=0$, рівняння руху (8) набуде вигляду

$$\begin{aligned}
& \ddot{\varphi}_1 \left(I_1 + I_3 \frac{\cos^2 \alpha}{(1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^2} \right) - \dot{\varphi}_1^2 I_3 \frac{\cos^2 \alpha \sin^2 \alpha \cdot \sin 2\varphi_1}{(1 - \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi_1)^3} = \\
& = T_1 - T_3 \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1}.
\end{aligned} \quad (9)$$

Перелік посилань

1. Коряк О. О. Визначення кінетичної енергії хрестовини шарніра Гука / Матеріали Міжнародної науково-практичної та науково-методичної конференції до Дня автомобіліста та дорожника «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців», 19-21 жовтня 2022 р. – Харків. ХНАДУ. – С. 178-181.

Молодан Андрій Олександрович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технології машинобудування та ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;

Артёмов Микола Прокопович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри оптимізації технологічних систем в рослинництві факультету мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний університет;

Пушкарєнко Олег Юрійович, аспірант кафедри оптимізації технологічних систем в рослинництві факультету мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний університет

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ В РЕЖИМАХ ІЗ ВІДКЛЮЧЕННЯМ ЦИЛІНДРІВ

Підвищення ефективності роботи двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) у сучасних умовах експлуатації є надзвичайно актуальним завданням, зважаючи на

необхідність економії палива, дотримання екологічних стандартів та забезпечення довговічності техніки. Особливої уваги заслуговують режими часткових навантажень і холостого ходу, які переважають у циклах роботи сільськогосподарської, автомобільної та тепловозної техніки. У таких умовах двигун працює з нераціональним коефіцієнтом корисної дії, що спричиняє перевитрату палива та збільшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Одним із технологічно обґрунтованих напрямів удосконалення є відключення частини циліндрів на низьких навантаженнях. Такий підхід дає змогу оптимізувати тепловий і газодинамічний режим, підвищити коефіцієнт наповнення циліндрів, зменшити питомі втрати та забезпечити більш повне згоряння палива в тих циліндрах, які залишаються активними. У роботі проведено порівняльний аналіз ефективності різних схем відключення циліндрів, зокрема повного та часткового, періодичного та постійного, залежно від швидкісного режиму та навантаження.

Особливу увагу приділено дослідженню динаміки паливоподачі в перехідних режимах. Проаналізовано вплив залишкового тиску в магістралях високого тиску паливної апаратури на наступні цикли впорскування, виявлено коливання циклових подач та їх вплив на стабільність роботи ДВЗ. На основі експериментальних і чисельних досліджень доведено доцільність впровадження регуляторів початкового тиску та впливу конструктивних особливостей паливної апаратури на ефективність упорскування при повторному підключенні циліндрів.

Значна частина досліджень зосереджена на оцінці втрат механічної енергії, що виникають внаслідок прокручування відключених циліндрів. Встановлено залежність між кількістю відключених циліндрів і збільшенням насосних втрат, що обумовлює необхідність глибокого моделювання внутрішніх процесів. Розроблено математичну модель, що дозволяє прогнозувати питомі витрати палива за різних сценаріїв відключення циліндрів з урахуванням тиску, температури, параметрів газообміну та тертя.

Досліджено вплив різних режимів відключення на вібраційні характеристики ДВЗ. Виявлено, що рівень вібрацій може збільшуватись при нерівномірному відключенні циліндрів або при надмірному зменшенні активної маси. Запропоновано методику симетричного або чергового відключення для мінімізації вібраційних навантажень та запобігання передчасному зносу опор кривошипно-шатунного механізму.

Поглиблений аналіз термодинамічних процесів у відключених циліндрах виявив нові закономірності, пов'язані з тепловіддачею в умовах відсутності впорскування та згоряння. Встановлено, що за рахунок залишкового тиску та температури у відключеному циліндрі відбувається поступове нагрівання стінок, що вимагає додаткового охолодження або оптимізації теплообмінного режиму.

Також розглянуто вплив регулювання початкового тиску ($P_{поч}$) на стійкість роботи дизеля в умовах холостого ходу. Використання динамічного регулятора тиску дозволяє зменшити коливання циклових подач палива та покращити рівномірність роботи двигуна. Запропоновано алгоритми автоматичного коригу-

вання параметрів упорскування залежно від температури, навантаження та швидкості обертання колінчастого вала.

Встановлено, що при відключенні циліндрів за умов електронного керування вдається забезпечити не лише стабільність роботи двигуна, а й зменшити викиди CO, CH, NOx та твердих частинок. Розрахунки показали, що зниження питомої витрати палива досягає 14–18% залежно від типу двигуна та характеру навантаження. Проведено оцінку економічного ефекту від впровадження системи з можливістю селективного відключення циліндрів у тракторній, тепловозній та автомобільній техніці. Наведено порівняльні графіки індикаторних характеристик двигуна з різною кількістю активних циліндрів.

Крім того, було розглянуто аспекти сумісності систем відключення циліндрів із сучасними електронними блоками керування двигуном. Зокрема, підкреслено необхідність забезпечення зворотного зв'язку між датчиками тиску, температури та положення дросельної заслінки для оптимального контролю режимів роботи. Запропоновано концепцію адаптивної системи керування, яка на основі аналізу миттєвих параметрів експлуатації самостійно визначає доцільність відключення певної кількості циліндрів.

Окрему увагу приділено питанням впливу відключення циліндрів на процес змащування і охолодження. Встановлено, що тривала робота деяких циліндрів у неактивному стані без впорскування палива призводить до зменшення змащувальної плівки на стінках циліндра, що потребує додаткових рішень у системі мащення та конструкції оливних каналів.

Запропонований підхід до відключення частини циліндрів ДВЗ дозволяє суттєво покращити техніко-економічні та екологічні показники двигуна. Поглиблений аналіз динамічних, термодинамічних та вібраційних характеристик підтвердив доцільність впровадження системи гнучкого керування кількістю активних циліндрів. Надалі доцільно проводити дослідження із застосуванням комп'ютерного моделювання, апробації алгоритмів керування в реальному часі, а також розробки адаптивних регуляторів, що враховують змінні умови експлуатації техніки.

Леонт'єв Дмитро Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сінельнік Данило Богданович, аспірант кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, danilsin1997@gmail.com

ЩОДО ВПЛИВУ РОЗПОДІЛУ ВАНТАЖУ НА ЗМІЩЕННЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРУ ТЯЖІННЯ В ПРИЧЕПІ З ЦЕНТРАЛЬНИМИ ОСЯМИ

Причепи широко використовуються для перевезення різного типу вантажу. Завдяки розташуванню осей в причепі з рознесеними осями (рис. 1а) можна ле-