

Надвисокочастотний метод оцінки спрацювання циліндрів автомобільних і тракторних двигунів

Показано принципову можливість використання радіохвильового методу для діагностики циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання. Використання запропонованого методу дозволяє без розбирання двигуна диференціювати несправність циліндро-поршневої групи та зробити висновок про необхідність обслуговування чи ремонту.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, циліндро-поршнева група, діагностика, радіохвильовий метод, ремонт, ресурс двигуна, несправність двигуна.

Суть проблеми. З точки зору екологічної безпеки найбільше занепокоєння викликають викиди відпрацьованих газів двигунів транспортних засобів. Наявність в них забруднюючих атмосферу речовин пов'язана не лише з неправильним налагодженням паливної системи, а й зі спрацюванням циліндро-поршневої групи двигуна. У зв'язку з цим дуже важливою є оперативна діагностика та підтримання в робочому стані усіх систем ДВЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні практично відсутні технічні засоби, що дозволяють без розбирання двигуна оцінити стан циліндро-поршневої групи. Широко використовуваний метод вимірювання компресії не дозволяє достовірно оцінити спрацювання поверхонь тертя двигуна [1]. Відомі пневматичні установки [2], принцип дії яких базується на подачі в циліндр через отвір для свічки запалювання повітря під тиском 8-10 кг/см² та спостереженні за зміною поверхні циліндра. При цьому визначають нерівномірність спрацювання циліндра по його довжині та герметичність клапанної системи. Перспективним, на наш погляд, є застосування радіохвильового методу [3], який дозволяє оцінити не лише спрацювання циліндрів за різних положень поршня, а й стан внутрішніх поверхонь циліндрів та дна поршня.

Мета досліджень – проаналізувати перспективність застосування радіохвильового методу для діагностики циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання.

Результати досліджень. Особливістю радіохвильового методу є використання електромагнітних хвиль довжиною від одиниць міліметрів до десятків сантиметрів надзвичайно високої частоти (НВЧ). Як вихідні параметри електромагнітної хвилі можна використовувати зміни амплітуди, частоти, фази тощо.

Уявімо внутрішній об'єм камери згорання як об'ємний циліндричний резонатор, як відрізок порожнистого циліндричного хвилеводу. Для збудження такого резонатора можна використовувати індуктивний або ємнісний зв'язок. За ємнісного зв'язку подовжений внутрішній провідник коаксіальної лінії, що грає роль штиря для зв'язку, розташовують в ділянці максимальної напруженості електричного поля і встановлюють його по можливості паралельно напрямкові лінії поля. За індуктивного зв'язку на кінці кабелю, що з'єднується з резонатором, включають петлю, яку розташо-

вують в ділянці максимальної напруженості магнітного поля і встановлюють так, щоб лінії магнітного поля пронизували площину петлі по можливості під прямим кутом. Елементи збудження можуть вводитися в порожнину циліндра через отвір для свічки запалювання. В циліндричних резонаторах співіснують коливання зі складовими типу Е і Н [4]. Визначення резонансної частоти є складною задачею, що її найчастіше вирішують наближеними методами. Визначення резонансної частоти у широкому діапазоні частот ще більш ускладнюється. Для визначення зміни резонансної частоти необхідні дані структури поля [5]. Якщо в ідеальному випадку в циліндричному об'ємному резонаторі діаметром D і довжиною l уздовж довжини l укладається p напівхвиль, то резонансну довжину хвилі $\lambda_{кр}$ (критичну) цього типу знайдемо за формулою:

$$\lambda_{рез} = \frac{\lambda_{кр}}{\sqrt{1 + \left(\frac{p\lambda_{кр}}{2l} \right)^2}}. \quad (1)$$

Відомо, що довжина хвилі та резонансна частота зв'язані співвідношенням:

$$f_{рез} = \frac{c}{\lambda_{рез}}, \quad (2)$$

де c – швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі.

Реальна камера згорання мало схожа на ідеальний циліндричний резонатор, а значення її власної резонансної частоти визначається багатьма факторами: формою та об'ємом камери, станом внутрішньої поверхні тощо. При цьому слід зазначити, що у даному разі викликає зацікавленість відхилення резонансної частоти від нормованого показника, визначеного для ідеального стану ЦПГ. Отже, розглянемо два випадки. У першому випадку будемо вважати, що стінки циліндра двигуна мають ідеальну форму, але на поверхні поршня та тарілок клапанів є відкладення нагару. Цей випадок відповідає тому, що в резонатор довільної форми об'ємом V_0 , обмежений ідеально провідною поверхнею S_0 і заповнений середовищем з параметрами ϵ_0 , μ_0 , вноситься інше середовище з параметрами ϵ_a , μ_a і об'ємом $V < V_0$. Відносну зміну власної частоти в загальному випадку визначають з виразу:

$$\Delta f = \frac{\int_{V_0} (\Delta \varepsilon_a \dot{E} \dot{E}_0^* + \Delta \mu_a \dot{H} \dot{H}_0^*) dv}{f_0 \int_{V_0} (\varepsilon_0 \dot{E} \dot{E}_0^* + \mu_0 \dot{H} \dot{H}_0^*) dv}, \quad (3)$$

де $\Delta \varepsilon = \varepsilon_a - \varepsilon_0$; $\Delta \mu = \mu_a - \mu_0$; \dot{E}_0^* , \dot{H}_0^* – вектори, комплексно поєднані векторам електричної \dot{E}_0 і магнітної \dot{H}_0 напруженості в об'ємному резонаторі об'ємом V_0 , обмеженому ідеальною провідною поверхнею S_0 і заповненому середовищем з параметрами ε_0 , μ_0 ; f_0 – власна частота, що відповідає цьому полю; \dot{E}_0 , \dot{H}_0 – вектори електричної і магнітної напруженостей у тім же резонаторі, заповненому іншим середовищем з параметрами ε_a , μ_a ; f – власна частота, що відповідає цьому полю; $\Delta f = f_0 - f$.

За незначного забруднення поля – E_0 вважають, що $E = E_0$, $H = H_0$, а при заповненні камери згоряння діелектричним середовищем ($\mu_a = 0$) вираз (3) перетворюється:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \left[1 + (\varepsilon_0 - 1) \frac{\int_{V_0} |\dot{E}_0|^2 dv}{\int_{V_0} |\dot{E}_0|^2 dv} \right]^{-1/2}. \quad (4)$$

У другому випадку приймемо, що нагар у камері згоряння відсутній, але поверхня циліндра дещо спрацьована. За цих умов резонатор довільної форми об'ємом V_0 , обмежений ідеальною провідною поверхнею S_0 і заповнений середовищем з параметрами ε_0 , μ_0 , має деформацію ідеально провідної поверхні порожнини, що приводить до зміни об'єму резонатора на величину $V < V_0$. Зміну власної частоти визначають за формулою:

$$\Delta f = \frac{\pm f \int_{V_0} \varepsilon_0 \dot{E} \dot{E}_0^* dv \mp f_0 \int_{V_0} (\mu_0 \dot{H} \dot{H}_0^*) dv}{\int_{V_0} (\varepsilon_0 \dot{E} \dot{E}_0^* + \mu_0 \dot{H} \dot{H}_0^*) dv}, \quad (5)$$

де верхній знак „+” відповідає збільшенню, нижній „-” – зменшенню об'єму.

За незначного забруднення поля – E_0 вираз (5) можна записати як:

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm \frac{\int_{V_0} \mu_0 |\dot{H}_0|^2 dv - \int_{V_0} \varepsilon_0 |\dot{E}_0|^2 dv}{\int_{V_0} (\varepsilon_0 |\dot{E}_0|^2 + \mu_0 |\dot{H}_0|^2) dv}. \quad (6)$$

В резонаторах на відрізках порожнистих хвильоводів при заповненні уздовж осі z розподіл поля має вигляд:

$$\dot{E} = \dot{E}_0 \varphi(z); \quad \dot{H} = \dot{H}_0 \psi(z), \quad (7)$$

де $\dot{E} = \dot{E}(x, y, z)|_{z=0}$; $\dot{H} = \dot{H}(x, y, z)|_{z=0}$, а об'ємні інтеграли можуть бути замінені лінійними.

В умовах експлуатації двигунів на зміну власної частоти можуть впливати і наявність нагару, і зміна геометрії циліндра. Тому для отримання інформаційної надлишковості доцільно використовувати й інший інформативний параметр – зміну добротності резонансної системи. Відомо, що добротність Q об'ємного

резонатора визначають відношенням запасеної енергії до енергії втрат за певний період і характеризує смугу пропущення резонатора у режимі змушених коливань, а також його здатність зберегти накопичену енергію в режимі власних коливань. Розрізняють добротність Q_0 ненавантаженого резонатора і добротність Q_H навантаженого резонатора. Добротність ненавантаженого резонатора визначають за формулою:

$$Q_0 = \frac{2 \int_{V_0} H^2 dv}{\delta \int_{S_0} H^2 ds}, \quad (8)$$

де δ – глибина проникнення електромагнітної хвилі в металеву стінку; v – об'єм резонатора; s – площа поверхні стінок резонатора; H – напруженість магнітного поля.

Отже, визначено, що втрати енергії через спрацьовування поверхні циліндра будуть незначними. За зміною положення поршня в циліндрі відповідно змінюється резонансна частота і добротність системи. Тому доцільно проводити виміри не за одного положення поршня.

Висновки. Означено принципову можливість використання радіохвильового методу для діагностики циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння. Застосування запропонованого методу дозволяє визначити характерні для кожного циліндра двигуна параметри, диференціювати несправність циліндро-поршневої групи та приймати рішення щодо необхідності ремонту або очищення циліндрів від продуктів згоряння.

Список літератури

1. Ремонт автомобилей [Текст] : уч. для технікумов / Под ред. С.И. Румянцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт. – 1998. – 327 с.
2. Будова й експлуатація автомобілів [Текст] / В.Ф. Кисляков, В.В. Лушчик. – К.: Либідь, 2002. – 162 с.
3. Автотранспортні засоби категорій «В» і «С» [Текст] : навч. посіб. для ВНЗ / Я.Ю. Білоконь, В.М. Горкун, А.І. Окоца. – К: Арій, 2009. – 352 с.
4. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий [Текст]: справочник. – В 2-х книгах. – Кн. 2; под ред. В.В.Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
5. Головкин, Д.Б. Частотно-дисперсійні аналізатори складу та властивостей матеріалів та речовин [Текст] / Д.Б.Головкин, Ю.О. Скрипник, К.Л. Шевченко. – К.: МП "Леся", 2002. – 182 с.

Аннотация. Показана принципиальная возможность использования радиоволнового метода для диагностики цилиндрической поршневой группы двигателей внутреннего сгорания. Использование предложенного метода позволяет без разборки двигателя дифференцировать неисправность цилиндрической поршневой группы и сделать вывод о необходимости обслуживания или ремонта.

Summary. Shown fundamental possibility of the use of radio wave method for diagnostics of cylinder liner group of combustion engines. The use of the offered method allows without sorting out of engine to differentiate the disrepair of cylinder liner group and draw conclusion about the necessity of service or repair.