

УДК 662.613.13.507

ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОГО ВПЛИВУ НА ПАЛИВО

Ю. М. Терещенко, д-р техн. наук, проф.;
В. І. Морозов, канд. техн. наук, доц.; *І. В. Морозова*

Національний авіаційний університет
e-mail : iramoro@mail.ru

Розглянуто деякі аспекти застосування способу електрофізичного впливу на паливо з метою поліпшення експлуатаційних показників теплових двигунів.

Ключові слова: паливо, неоднорідне магнітне поле, магнітний момент, спин ядра, резонансна частота, ядерна поляризація, спосіб електрофізичного впливу.

Some aspects of the method of application electrophysical impact on fuel in order to improve the operational performance of heat engines.

Keywords: fuel, uniform magnetic field, the magnetic moment, the spin of the nucleus, the resonant frequency, the nuclear polarization, method electrophysical influence.

Вступ

Однієї із глобальних проблем автомобільних компаній на сьогодні є необхідність контролю витрати палива і зменшення шкідливого впливу автомобільних вихлопів на навколишнє середовище.

Нині підвищення експлуатаційних показників двигуна у транспортній мережі є комплексною проблемою і її вирішення досягається на всіх стадіях конструювання, виробництва та експлуатації.

Найважливішою умовою ефективної експлуатації показників двигуна є застосування високоякісних сортів палива з поліпшеними експлуатаційними властивостями. Саме ці властивості найчастіше стають вирішальними і, таким чином, впливають на ефективність застосування різноманітної техніки.

Питання поліпшення експлуатаційних властивостей палива вирішуються різними напрямками. Особливе місце у зв'язку з простотою технічного вирішення і високою економічною ефективністю, одержав спосіб магнітного впливу.

Запропонований спосіб електрофізичного впливу на паливо, заснований на резонансному поглинанні змінної електромагнітної енергії протонною системою рідини в неоднорідних магнітних полях.

Постановка завдання

Метод полягає в комплексному впливі постійного неоднорідного магнітного поля і змінного високочастотного електромагнітного поля на ядра елементів, що мають магнітний момент (у цьому випадку на вуглеводневі рідини). У результаті цього впливу відбувається резонансне поглинання енергії ядерною системою рідини.

Швидкість перебігу рідини через установку електрофізичного впливу контролювали за максимальним сигналом абсорбції енергії протонною системою.

Проведено дослідження ефективності електрофізичного впливу на експлуатаційні властивості палива. Досліджено електрофізичні і фізико-хімічні властивості: діелектрична проникність, діелектричні втрати, магнітна сприйнятливність, зміст фактичних смол, кислотність. Проведено спектральні та хроматографічні дослідження.

Основний зміст

Електрони атома і ядра деяких елементів (H^1 , C^{13} , O^{17} , P^{31} , Li^7 , F^{19} та інші) володіють магнітним і механічним моментом. Спин електрона виявляється у вигляді тонкої структури в атомних спектрах. Якщо говорити про ядра, то ця властивість виявляється у вигляді надтонкої структури. Магнітний момент електрона взаємодіє з магнітним моментом ядра. Енергія взаємодії залежить від взаємної орієнтації спінів або магнітних моментів, а кількість можливих орієнтацій визначається спіном ядра. Сумарний спин ядра залежить від того, чи компенсують один одного спіни складових частин ядра чи ні.

У магнітному полі магнітні моменти протона зі спином $I = \pm 1/2$ орієнтуються лише двома способами — по полю або проти напрямку поля. Кожне ядро, що володіє магнітним моментом, потрапляючи в магнітне поле, набуває зеємановської додаткової енергії — μH_0 . Гамільтоніан \mathcal{H} у цьому випадку має вигляд [1, 2]

$$\mathcal{H} = -\mu_n H_0,$$

де μ_n — магнітний момент протона; H_0 — напруженість магнітного поля.

Нехай поле H_0 напрямлене вздовж осі Z лабораторної системи координат, тоді зєєманівська взаємодія описується гамільтоніаном

$$\mathcal{H} = -\gamma h N_0 I_z,$$

де γ — гіромагнітне відношення ядра, для H^1 ; h — стала Планка; I_z — спіновий момент ядра.

У разі зміни повного моменту ядра істотно змінюється його стан, тобто змінюється його внутрішня енергія. З принципів статистичної фізики випливає, що відношення чисел протонів n з різними орієнтаціями магнітних моментів дорівнює

$$\frac{n_{(+\mu)}}{n_{(-\mu)}} = e^{\frac{2\mu H}{kT}},$$

де T — абсолютна температура рідини; $n_{(+\mu)}, n_{(-\mu)}$ — населеності рівнів; k — стала Больцмана.

Ядерна поляризація P у звичайних умовах буває незначною через малість μ_n і визначається з виразу

$$P = \frac{n_{(+\mu)} - n_{(-\mu)}}{n_{(+\mu)} + n_{(-\mu)}}.$$

У разі збільшенні напруженості зовнішнього магнітного поля збільшується різниця енергії для спіна, спрямованого проти поля, і спіна, спрямованого по полю, що приводить до зростання поляризації. Однак це вибудовування спінів відбувається не відразу. До накладення магнітного поля кількість спінів, спрямованих «угору» і «униз», була однаковою, а потім у полі частина спінів, спрямованих проти магнітного поля, перевернуто.

Переорієнтація ядерного спіна супроводжується зміною його енергії, тому вона може відбуватися тільки за наявності якого-небудь об'єкта, з яким ядро обмінюється енергією. Такими об'єктами можуть бути електрони, сусідні ядра, парамагнітні елементи (кисень та інші), іони, вільні радикали чи радіочастотний контур з високою добротністю, налаштований на частоту прецесії ядер у зовнішньому магнітному полі.

В об'ємі речовини є спрямований уздовж зовнішнього поля сумарний магнітний момент ядер M (намагніченість)

$$M = \mu [n_{(+\mu)} - n_{(-\mu)}].$$

Вираз можна записати так

$$\frac{n_{(+\mu)} - n_{(-\mu)}}{n_{(+\mu)} + n_{(-\mu)}} = \frac{e^{\frac{2\mu H}{kT}} - 1}{1 + e^{\frac{2\mu H}{kT}}},$$

а оскільки зазвичай $\frac{2\mu H}{kT} \ll 1$, то

$$e^{\frac{2\mu H}{kT}} \approx 1 + \frac{2\mu H}{kT}.$$

Звідки для загальної кількості ядер в одиниці об'єму речовини n_0 магнітний момент M дорівнює

$$M = \frac{\mu^2 N_0 n_0}{kT}.$$

Швидкість зміни намагніченості ядер M у магнітному полі H_0 визначається виразом

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\chi_0 H_0 - M}{T_1},$$

де χ_0 — статистична магнітна сприйнятливність ядер; T_1 — час поздовжньої релаксації.

Експериментально встановлено, що намагніченість досягає своєї рівноважної величини за час порядку $3T_1$, тобто якщо речовина протягом часу, набагато більшого, ніж T_1 , знаходилася в сильному магнітному полі, то рівноважна намагніченість ядер дорівнює

$$M = \chi_0 H_0.$$

Особливу складність при застосуванні магнітного впливу на рідині являє собою вибір оптимальних умов впливу для отримання максимального ефекту та експрес-контроль властивостей рідини. Пристрої, спроектовані для одних рідин, практично не придатні для роботи з іншими рідинами без попередньої перебудови, що не на всіх пристроях може бути здійснена.

Нестабільність одержуваного корисного ефекту та відсутність поточного контролю над режимом впливу обмежує широке застосування магнітного методу в практиці.

Для підвищення універсальності магнітного впливу на рідкі системи, а також для здійснення поточного контролю над процесом впливу було запропоновано електрофізичний високочастотний спосіб, заснований на резонансному поглинанні електромагнітної енергії ядерною системою в неоднорідних магнітних полях.

Згідно з уявленнями квантової теорії для ядер діамантної рідини, що знаходяться в зовнішньому магнітному полі H_0 найбільш істотною є зєєманівська взаємодія, яка описується гамільтоніаном

$$\mathcal{H} = -q_n \beta N_0 I = -\gamma \hbar N_0 I,$$

де q_n — ядерний q -фактор; β — магнетон Бору.

Енергетичний спектр системи ядер складається з $2I + 1$ рівновіддалених магнітних підрівнів енергії $E_{(m)}$

$$E_{(m)} = -q_n \beta m H_0,$$

кожен з яких характеризується хвильовою функцією $\Psi_{(m)}$, де $m = \langle I_z \rangle$.

За електрофізичного високочастотного впливу, щоб викликати переходи між цими рівнями під час перебігу рідини крізь зону неоднорідного постійного магнітного поля, на неї одночасно впливають високочастотним змінним електромагнітним полем H_1 . При цьому частота змінного поля збігається з частотою прецесії ядер у цьому неоднорідному постійному магнітному полі H_0 і спостерігається вибіркоче поглинання енергії протонною системою рідини [3, 4]

$$\omega = \gamma H_0,$$

де ω — частота прецесії ядер.

Після виходу рідини з поляризувального поля вона має проекції намагніченості на осі координат M_x, M_y, M_z .

Унаслідок прецесії намагніченості під дією змінного електромагнітного поля H_1 змінюється величина M_z , при цьому швидкість зміни M_z дорівнює

$$\frac{dM_z}{dt} = M_y \gamma H_1.$$

Швидкість зміни M_x унаслідок прецесії намагніченості під дією постійного поля H_0

$$\frac{dM_x}{dt} = -(\gamma H_0 - \omega) M_y.$$

Через обидва рухи величина M_y обмінюється зі швидкістю.

$$\frac{dM_y}{dt} = -M_z \gamma H_1 + M_x (\gamma H_0 - \omega)$$

Отримані рівняння справедливі протягом проміжку часу, набагато меншого від часу релаксації T_1 і T_2 . Поздовжня спин-гратова релаксація T_1 викликає зміну намагніченості M_z зі швидкістю

$$\frac{dM_z}{dt} = \frac{\chi_0 H_0 - M_z}{T_1},$$

а поперечна релаксація T_2 викликає зміну M_x і M_y зі швидкістю

$$\left. \begin{aligned} \frac{dM_x}{dt} &= -\frac{M_x}{T_2} \\ \frac{dM_y}{dt} &= -\frac{M_y}{T_2} \end{aligned} \right\}$$

Таким чином, зміна намагніченості ядер, що перебувають у постійному магнітному полі напруженістю H_0 і під дією змінного електромагнітного поля H_1 , що змінюється з частотою ω , описується системою трьох рівнянь Блоха

$$\left. \begin{aligned} \frac{dM_x}{dt} &= -(\gamma H_0 - \omega) M_y - \frac{M_x}{T_2}; \\ \frac{dM_y}{dt} &= -M_z \gamma H_1 + M_x (\gamma H_0 - \omega) - \frac{M_y}{T_2}; \\ \frac{dM_z}{dt} &= M_y \gamma H_1 + \frac{\chi_0 H_0 - M_z}{T_1}. \end{aligned} \right\}$$

Змінне електромагнітне поле H_1 викликає збурення системи спинів, що описується гамільтоніаном \mathcal{H}'

$$\begin{aligned} \mathcal{H}'(t) &= \mathcal{H} \cos \omega t = \\ &= q_n \beta (I_x H_{1x} + I_y H_{1y} + I_z H_{1z}) \cos \omega t. \end{aligned}$$

Якщо до ввімкнення змінного електромагнітного поля H_1 момент $t = 0$ спин знаходиться в початковому стані $\Psi(m)$, то відповідно до першого наближення теорії збурень, залежних від часу, імовірність того, що за $t = \tau$ спин буде перебувати в стані $\Psi'(m')$, дорівнює

$$|a(\tau)|^2 = \hbar^2 \left| \int_0^\tau \langle \Psi' | \mathcal{H}'(t) | \Psi \rangle e^{i\omega' t} dt \right|^2,$$

де $\omega' = (E - E')/\hbar$.

Оскільки зміну локального поля всередині системи спинів можна вважати невеликою, то слід очікувати, що існує безперервний розподіл стану з максимумами в околі E і E' . Це призводить до виникнення результуючого резонансного поглинання з максимумом поблизу резонансної частоти $\omega_0 = q_n \beta H/\hbar$.

Вплив електромагнітного поля H_1 викликає інтенсивні переходи «знизу вгору» і «згори вниз» між рівнями, і больцманівський розподіл заселеностей порушується. Але оскільки на нижчому енергетичному рівні частинок більше, ніж на верхньому, то переходів «знизу вгору» буде теж більшим, ніж навпаки. При цьому збільшується енергія середовища, а, отже, електромагнітна енергія поля H_1 частково поглинається.

Спінова система, що поглинула деяку енергію, підвищує свою енергію, а за рахунок спин-гратової релаксації T_1 відбувається відновлення теплової рівноваги з середовищем, тобто з будь-яким оточенням, яким може бути і газ, і рідина, і тверде тіло.

Взаємодіючи з середовищем, усі ядра зі спіном $I = 1/2$ у зразку створюють локальні магнітні поля навколо себе, з якими взаємодіють магнітні моменти неспарених електронів.

Отже, розглянуту систему можна описати гамільтоніаном

$$H = H_e + H_n + H_{ne},$$

де H_e — гамільтоніан електронів, що слабо взаємодіють; H_n — гамільтоніан, що включає зееманівську енергію ядер у постійному магнітному полі H_0 та енергію магнітної взаємодії між ядрами; H_{ne} — гамільтоніан взаємодії між ядрними й електронними спінами.

В усталеному стані різниця населеностей n дорівнює

$$n = \frac{n_0}{1 + (\gamma H_1)^2 T_1 T_2},$$

де n_0 — різниця заселеностей за термічної рівноваги.

Якщо усунути змінний електромагнітний вплив на рідину, то ймовірність переходів «униз» і «угору» в одиницю часу буде

$$n = n_0 + C e^{-t/T}.$$

Це рівняння зручніше записати у вигляді

$$n - n_0 = (n - n_0)_0 e^{-t/T_1},$$

де $(n - n_0)_0$ — відхилення від теплової рівноваги в початковий момент часу.

З рівняння випливає, що після збурювання різниця заселеностей, а разом і сумарне намагнічування зразка, повертається до стаціонарного стану експоненціально. При цьому встановлення поздовжньої компоненти ядерної намагніченості відбувається в результаті обміну енергії між системою ядерних спінів і молекулярною системою. Швидкість цього обміну, а отже, і встановлення поздовжньої складової визначається інтенсивністю спин-гратової взаємодії.

Потужність P , що поглинається спінами зі змінного електромагнітного поля, дорівнює

$$P = \hbar \omega W_n = \hbar \omega W \frac{n_0}{1 - (\gamma H_1)^2 T_1 T_2}.$$

Отже, вимірюючи втрати на резонансній частоті ω в котушці індуктивності, крізь яку перебігає рідина, можна виявити ядерне магнітно-резонансне поглинання зумовлене переходами між магнітними підрівнями. В кінцевому підсумку, за резонансного поглинання спіни переносять енергію від змінного електромагнітного поля до молекулярної системи рідини.

Із різниці заселеності рівнів випливає, що речовина володіє магнітною сприйнятливістю і комплексною сприйнятливістю зразка

$$\chi = \chi' - j\chi'',$$

являючись якою визначають поглинання потужності на одиниці об'єму зразка. При цьому зв'язок між мікроскопічними та макроскопічними властивостями можна встановити, обчислюючи середнє значення енергії, що P_ω поглинається за одиницю часу, змінного електромагнітного поля $H_1 \cos \omega t$

$$P_\omega = 2\omega \chi'' H_1^2.$$

Ця рівність встановлює просту залежність між потужністю P , що поглинається, сприйнятливістю χ'' та амплітудою змінного магнітного поля H_1 . Величини χ' і χ'' пов'язані одна з одною, тобто дійсна частина комплексної сприйнятливості — дисперсія χ' виражається через χ'' за допомогою співвідношення Крамерса–Кронига [2, 3]

$$\chi'(\omega) = \frac{1}{2} \chi_0 \omega_0 \frac{T_2^2 (\omega_0 - \omega)}{1 + T_2^2 (\omega_0 - \omega)^2 + \gamma_n^2 H_1^2 T_1 T_2};$$

$$\chi''(\omega) = \frac{1}{2} \chi_0 \omega_0 \frac{T_2}{1 + T_2^2 (\omega_0 - \omega)^2 + \gamma_n^2 H_1^2 T_1 T_2},$$

де χ_0 — статична сприйнятливість Кюрі

$$\chi_0 = \frac{N_v q_n^2 \beta I(I+1)}{3kT},$$

де N_v — кількість спінів в одиниці об'єму.

Величина χ'' різко зростає поблизу резонансу і викликає сильне резонансне поглинання енергії з коливального контуру високочастотного генератора. При цьому спостерігається сигнал абсорбції енергії.

Висновки

З розробленим методом з'явилася можливість якісно поліпшувати ряд характеристик, від яких прямо залежать витрати палива і динаміка автомобіля, а також експлуатаційні показники працюючого двигуна.

У результаті застосування електрофізичного способу впливу на паливо досягається:

- зниження витрати палива до 5–7 % залежно від стану двигуна і якості вихідного палива, що заливається;
- зниження коефіцієнта тертя на 20–40 % і зниження зношування пари тертя при терті ковзання в дизельному паливі на 38–46 %;
- збільшення критичного осьового навантаження схоплювання на 20 %;

- більш рівномірна та динамічна робота двигуна;
- зменшення утворення нагару на стінках камери згоряння на 20–25 %, каталізаторі та вихлопних трубах;
- автомобіль буде менш чутливішим до якості палива;
- збільшення терміну служби автомобільних двигунів;
- зменшення викиду шкідливих газів в атмосферу (CO_2 до 25 %, C_mH_n до 35 %, NO_x до 20 %).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Вонсовский С. В.* Магнетизм / С. В. Вонсовский. — М. : Наука, 1971. — 1032 с.
2. *Вонсовский С. В.* Магнетизм микрочастиц / С. В. Вонсовский. — М. : Наука, 1973. — 279 с.
3. *Ядерный магнитный резонанс* : пер. с англ. / Э. Р. Эндрю; пер. Н. М. Померанцев, Е. Н. Скубур; за ред. В. Н. Лазуткина. — М. : Изд-во иностр. лит., 1957. — 299 с.
4. *Украина ищет альтернативу* // Современная АЭС. — 2006. — № 8. — С. 68–71.
5. *Спосіб і пристрій для підвищення економічних і екологічних показників роботи двигуна внутрішнього згоряння*. / В. І. Морозов, І. В. Морозова. — К. : Вісник центрального наукового центру транспортної академії України «Автошляховик України». — 2010. — № 13. — С. 58–60.
6. *Кочірко Б. Ф.* Автомобільні палива: довідник / Б. Ф. Кочірко. — К. : Масма, 2007. — 125 с.
7. *Кульчицкий А. Р.* Токсичность автомобильных и тракторных двигателей / А. Р. Кульчицкий // Наука. — 2004. — № 4. — С. 17–21.

Стаття надійшла до редакції 29.02.2016