

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗРАЗКА МОТОРНОГО МАСТИЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЙОГО ПИТОМОГО ОПОРУ

А. В. Мамикін, д. ф.-м. н. О. Л. Кукла, І. В. Могильний

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
Україна, м. Київ
kukla@isp.kiev.ua

Показано можливість визначення придатності для подальшої експлуатації зразка моторного мастила в автомобільному двигуні за допомогою аналізу залежності його питомого опору від температури. Для вимірювання питомого опору зразків мастил запропоновано використовувати планарні растрові мікроелектроди, при цьому суттєво зменшується необхідний для аналізу об'єм проби (від 20 мл у випадку конденсаторної комірки до 0,1 мл для растрового електроду), а сам електрод при практичному застосуванні можна легко розмістити в системі змащування автомобільного двигуна.

Ключові слова: електричний імпеданс, електрохімічна комірка, питомий опір, діелектрична стала, растровий мікроелектрод.

Для більшості легкових автомобілів заміна моторного мастила (ММ) в двигуні проводиться після пробігу в 10—15 тисяч кілометрів. Вказаний критерій визначається заводом-виробником автомобіля і не враховує реальні умови експлуатації автомобільного двигуна, такі як його технічний стан, режими використання, наявність механічних та температурних перенавантажень та ін., що в свою чергу може як збільшити, так і зменшити термін експлуатації ММ.

Основним критерієм якості ММ є значення його кінематичної в'язкості за різних температур: в режимі запуску і в режимі прогрітого двигуна, відповідно це низькотемпературна та високотемпературна в'язкість. Класифікація кінематичної в'язкості ММ по SAE (Society of Automotive Engineers) за цими двома параметрами поділяє ММ на мінеральні, напівсинтетичні та синтетичні з відповідними позначками 15W-40, 10W-40 та 5W-30. Перший показник в маркуванні — це характеристика низькотемпературної в'язкості, останній — високотемпературної. Якщо значення високотемпературної в'язкості у різних типи ММ практично однакові, то величина низькотемпературної в'язкості відрізняється в декілька разів (мінімальна — у синтетичних ММ). Відповідно, температурна залежність в'язкості для синтетичних ММ має характеризуватися найменшою крутизною, а для мінеральних ММ — найбільшою. Якщо врахувати те, що такі фізичні величини ММ, як в'язкість та питомий електричний опір, є пропорційно пов'язаними, подібна поведінка температурної залежності має зберігатися і для питомого електричного опору різних типів моторних мастил.

Завданням даної роботи було створення простого за своєю реалізацією оперативного способу визначення якості експлуатованого ММ шляхом вимірювання залежності питомого опору від температури, який би дозволив проводити його заміну в оптимальний, з практичної точки зору, термін.

В [1] нами був описаний портативний імпедансний вимірювач ІМ-1, за допомогою якого можна вимірювати, зокрема, значення питомого опору ММ. На рис. 1 наведено залежності питомого опору різних типів ММ від температури в діапазоні 20—60°C, отримані при використанні цього вимірювача та термостату ТХ-40. Тут видно, що з ростом тем-

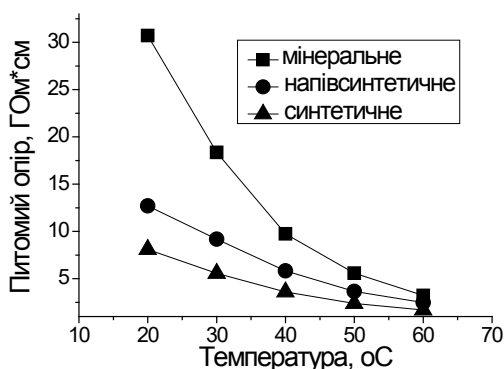
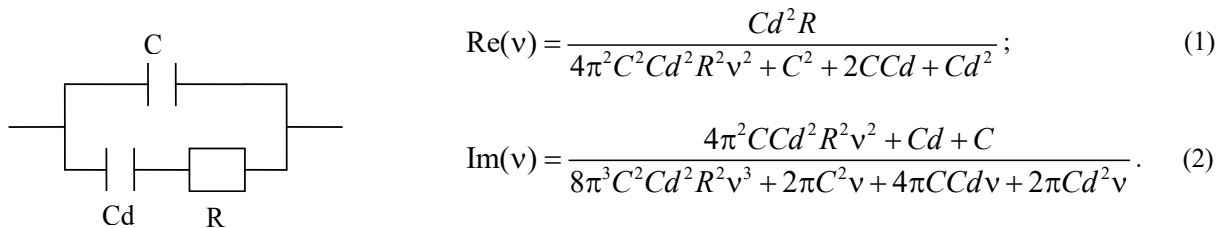


Рис. 1. Температурні залежності питомого опору різних типів моторних мастил

ператури питомий опір зразків моторних мастил прогнозовано зменшується, причому в більшому ступені вказаний ефект проявляється для мінеральних мастил. Зокрема, для них зміна питомого опору при переході від температури 60°C до кімнатної температури складає більше 600%. Мінімальна ж зміна питомого опору (менше ніж утричі) спостерігалася у зразків синтетичних ММ, а для зразків напівсинтетичних ММ вона становить порядку 300—400 %. Для експерименту були відібрані по три зразки ММ кожного типу, отримані результати свідчать про справедливість нашого припущення про можливість оцінки за температурною залежністю питомого опору ММ співвідношення його низько- та високотемпературної в'язкості та, відповідно, оцінки придатності зразка ММ до подальшого застосування.

Для вимірювання питомого опору ММ замість конденсаторної комірки можна використовувати розроблені нами раніше растрові (зустрічно-штирьові) мікроелектроди із системами золотих шин шириною 20 мкм та зазором 10—20 мкм із загальною площею біля 2 мм². При цьому вдається суттєво зменшити необхідний для аналізу об'єм проби (від 20 мл у випадку конденсаторної комірки до 0,1 мл у випадку растрового мікроелектроду). Математичний аналіз типових частотних залежностей активної та реактивної складових повного опору такого електроду, зануреного в зразки ММ, показує, що еквівалентна електрична схема, представлена на рис. 2, складається з послідовного сполучення активного опору зразка R та ємності подвійного електричного шару Cd , що моделює наявність приелектродних ефектів в електрохімічній системі. На схемі вказано також ємність C електричного з'єднання мікроелектроду з вимірювальним приладом. Використовуючи модельні вирази для повного електричного опору схеми (1), (2), а також експериментально виміряне значення імпедансу цієї системи на фіксованій частоті ν в діапазоні 0,5—5 Гц, можна легко розрахувати величину опору R . При практичному ж застосуванні власне сам електрод можна легко розмістити в системі змащування автомобільного двигуна.



$$\operatorname{Re}(\nu) = \frac{Cd^2 R}{4\pi^2 C^2 Cd^2 R^2 \nu^2 + C^2 + 2CCd + Cd^2}; \quad (1)$$

$$\operatorname{Im}(\nu) = \frac{4\pi^2 CCd^2 R^2 \nu^2 + Cd + C}{8\pi^3 C^2 Cd^2 R^2 \nu^3 + 2\pi C^2 \nu + 4\pi CCd \nu + 2\pi Cd^2 \nu}. \quad (2)$$

Рис.2. Електрична еквівалентна схема вимірювальної електрохімічної системи та математичні вирази, що описують її повний опір

Таким чином, показана можливість визначення за температурною залежністю питомого опору моторного мастила співвідношення його низько- та високотемпературної в'язкості та відповідної оцінки придатності зразка ММ до подальшого застосування. Використання растрових мікроелектродів та спрощеної версії портативного вимірювача імпедансу (що працює на фіксованій частоті з діапазону 0,5—5 Гц) дозволяє інтегрувати вимірювальну схему в систему змащування автомобільного двигуна та своєчасно визначити оптимальний кінцевий термін експлуатації зразка моторного мастила.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Мамыкин А. В., Кукла А. Л., Матвиенко Л. М. и др. Высокоинформативный комплексный метод определение типа моторного масла // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2019.— № 3—4.— С. 36—44.

A. V. Mamykin, O. L. Kukla, I. V. Mogylnyi

Determination of the quality of a motor oil sample by the temperature dependence of its resistance

The paper shows a possibility to determine whether a motor oil sample can be used in a car engine using the analysis of the temperature dependence of its specific resistance. The resistivity can be measured using a counter-pin microelectrode, which significantly reduces the volume of the motor oil sample required for the analysis (from 20 ml in the case of the condenser cell to 0.1 ml in case of the microelectrode). The electrode itself can be easily placed into the lubrication system of the real-life car engine.

Keywords: electrical impedance, electrochemical cell, resistivity, dielectric constant, interdigital electrode.