

УДК 121.43:121.892.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖИ

© А. А. Хазиев¹, Н. Н. Сугатов¹, А. В. Лаушкин¹, А. В. Постоли²*Статья поступила 19 декабря 2016 г.*

Одна из основных тенденций современного автомобилестроения — снижение вредных выбросов и увеличение интервалов замены масла путем внедрения новых систем и режимов работы двигателя. Это позволяет уменьшить как расходы на обслуживание транспортного средства, так и негативное воздействие на окружающую среду. Однако при этом растет скорость поступления загрязнений в моторное масло, что приводит к более быстрой его деградации. Предотвратить отказ двигателя и выявить снижение эксплуатационных характеристик можно путем периодического контроля. Поэтому на сегодняшний день существует потребность в новых методах экспресс-диагностики моторного масла. Развитие элементной базы и повышение точностных характеристик измерительных устройств дают возможность использовать их при определении качественных показателей масла, например, диэлектрических характеристик в широком диапазоне частот. Приведены результаты исследований моторных масел различных базовых основ, представлены математические зависимости между диэлектрическими показателями образцов масел и концентрацией сажи в них.

Ключевые слова: моторное масло; диэлектрическая проницаемость; оценка качества моторного масла; сажа.

Известно, что периодичность замены моторного масла для отдельных марок современных автомобилей может достигать 150 тыс. км. В последнее время производители смазочных материалов столкнулись с тем, что для дальнейшего сокращения расходов на обслуживание транспортного средства и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду необходимо увеличение этого интервала.

Для снижения концентрации NO_x в выхлопах автомобилей используют систему рециркуляции выхлопных газов (EGR). Благодаря ей часть газов поступает во впускной коллектор, вследствие чего продукты сгорания, которые должны были уйти в выхлопную систему, попадают в цилиндры и масло, и скорость накопления загрязнителей увеличивается. Для удержания большого количества загрязнений во взвешенном состоянии производители повышают диспергирующую способность моторного масла, что негативно влияет на коррозию деталей в двигателе из-за присутствия в масле свободных аминов.

Цель работы — оценка концентрации сажи в моторном масле по его диэлектрическим параметрам, измеренным волновым методом.

Только 29 % сажи, образующейся при сгорании дизельного топлива в двигателе, удаляется через выхлопную трубу, остальное остается в масле, на стен-

ках цилиндра и днище поршня [1]. Сажа в масле ведет к истиранию и ускоренному износу подшипников, клапанов и распределительного вала. Повышенное ее содержание значительно увеличивает скорость образования шлама и отложений на поршневых кольцах, которые особенно вредны, поскольку кольца при этом теряют свою подвижность, что в конечном итоге может привести к их заклиниванию. Ограниченная свобода перемещения поршневых колец ухудшает герметичность между поршнем и стенками цилиндра, что в свою очередь ведет к прорыву газов в картер и еще большему отложению сажи.

На рис. 1 представлено изменение кинематической вязкости смазочного материала при 40 °C в зависимости от концентрации сажи. Видно, что при росте концентрации сажи в моторном масле кинематическая вязкость значительно увеличивается. Отметим, что даже 2 % сажи в моторном масле могут привести к увеличению вязкости более чем на 12,5 мм²/с [2].

Зависимость диэлектрических показателей моторного масла от концентрации сажи исследовали методом линии передачи [3]. Для этого использовали установку (рис. 2), состоящую из измерительной ячейки — прямоугольного волновода размером 32 × 16 × 166 мм и скалярного анализатора цепей, собранного на основе генератора USB-TG124A и анализатора USB-SA124B (Signal Hound). Установка позволяет измерять амплитуду прошедшего через измерительную ячейку сигнала в заданном диапазоне час-

¹ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия; e-mail: madi-chim@mail.ru

² НИИ прикладной телематики (НИИПТ), Москва, Россия; e-mail: anat_post@mail.ru

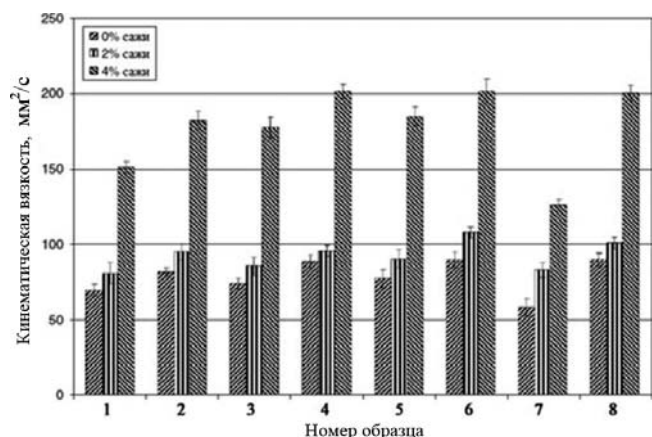


Рис. 1. Изменение кинематической вязкости в зависимости от концентрации сажи [1]

тот — косвенный показатель, характеризующий диэлектрические параметры исследуемого масла.

Для расчета комплексной диэлектрической проницаемости необходимо знать параметры не только прошедшего, но и отраженного сигналов. Эти данные можно получить с помощью векторных анализаторов цепей, но они имеют значительно большую стоимость и габариты, поэтому диэлектрическую проницаемость оценивали по амплитуде прошедшего сигнала.

Исследовали образцы синтетического, полусинтетического и минерального моторных масел. Измерения проводили при концентрациях сажи в масле от 0 до 1,06 % по объему. В общей сложности для каждого типа масла выполнили по девять измерений.

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) образца синтетического масла в зависимости от концентрации сажи представлены на рис. 3. Видно, что с увеличением концентрации сажи АЧХ смещаются влево, в сторону уменьшения частоты. Это объясняется тем, что относительная диэлектрическая проницаемость



Рис. 2. Установка для измерения зависимости диэлектрических показателей масла от концентрации сажи: 1 — генератор USB-TG124A; 2 — анализатор USB-SA124B; 3 — волновод

сажи (18,8) значительно больше диэлектрической проницаемости свежего (без сажи) масла (~2) [4, 5]. С ростом диэлектрической проницаемости смазочного материала в волноводе (см. рис. 2) уменьшается граничная частота (cutoff frequency), определяющая максимальную длину проходящей по нему волны.

Можно выделить четыре пика для каждой АЧХ (см. рис. 3, а). Частоты соответствуют модам электромагнитных волн, которые могут существовать в исследуемых частотных диапазонах. Отметим, что амплитуда пиков 1 и 2 (см. рис. 3, б) практически не меняется, а пик 4 имеет более сглаженную форму по сравнению с другими.

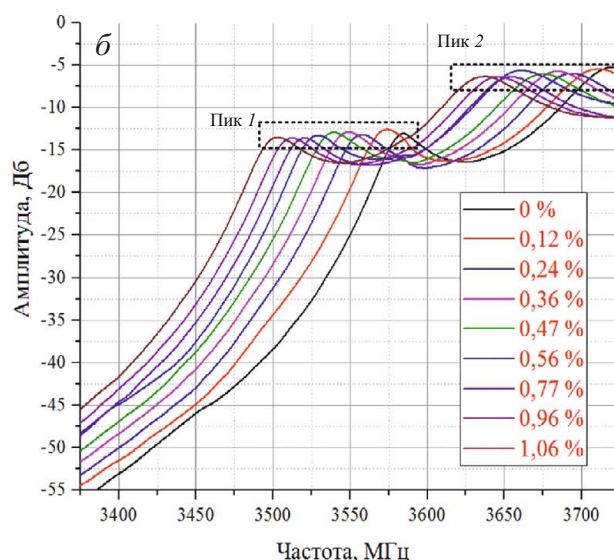
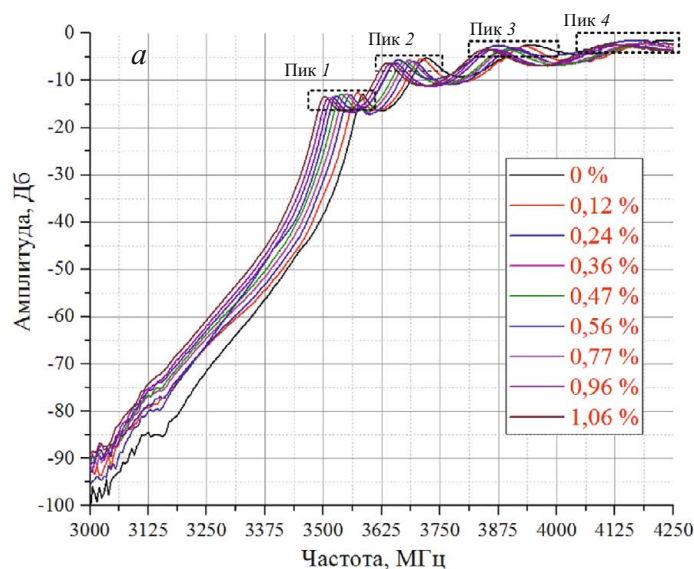


Рис. 3. АЧХ синтетического моторного масла с различным содержанием сажи (а) и в увеличенном масштабе в области пиков 1 и 2 (б)

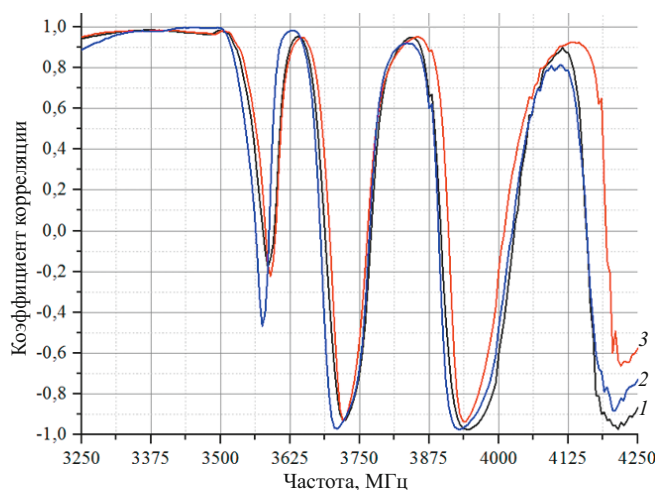


Рис. 4. Зависимость коэффициента корреляции концентрации сажи образцов минерального (1), синтетического (2) и полусинтетического (3) масел от частоты

Зависимость коэффициента корреляции концентрации сажи от частоты для исследуемых образцов

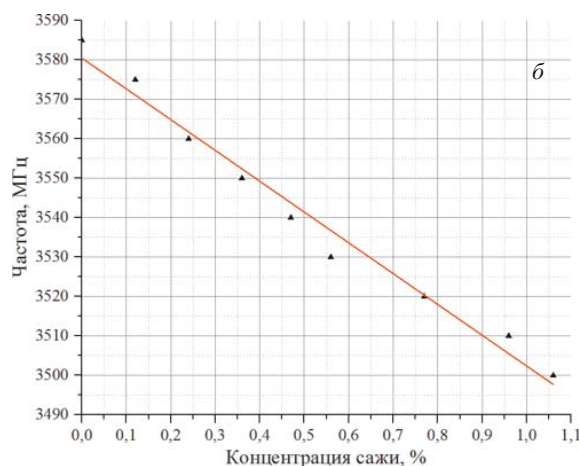
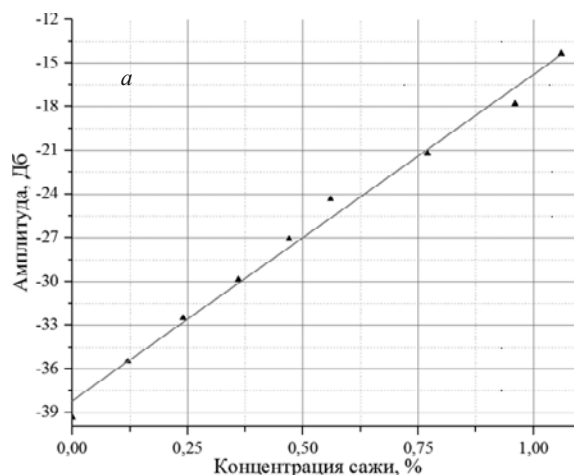


Рис. 5. Зависимости амплитуды сигнала частотой 3495 МГц (а) и частоты пика 1 (б) от концентрации сажи для синтетического моторного масла

Результаты корреляционного анализа и аппроксимирующие функции, описывающие зависимости амплитуды сигнала и частоты пиков от концентрации сажи

Тип масла	Частота, МГц	Пик	Коэффициент корреляции		Коэффициент детерминации		Математическая модель $y = kx + b$		Стандартная ошибка углового коэффициента k		Стандартная ошибка свободного члена b	
Синтетическое	3495	1	0,99	0,99	0,99	0,98	$22,39x - 8,18$	$-78,08x + 3580,5$	0,79	4,13	0,49	2,53
		2		0,98		0,95		$-75,78x + 3714,34$		5,9		3,6
		3		0,99		0,97		$-89,82x + 3936,98$		5,79		3,55
		4		0,93		0,84		$-89,28x + 4218,37$		8,34		13,63
Полусинтетическое	3495	1	0,97	0,998	0,93	0,99	$30,79x - 6,22$	$-97,65x + 3603,15$	1,82	2,62	2,98	1,6
		2		0,995		0,99		$-100,21x + 3738,9$		3,87		2,37
		3		0,995		0,99		$-115,75x + 3962,8$		2,7		4,42
		4		0,97		0,92		$-105,56x + 4236,6$		6,74		11,01
Минеральное	3485	1	0,96	0,998	0,91	0,99	$30,32x - 46,63$	$-97,91x + 3597,72$	3,24	1,7	1,98	2,78
		2		0,995		0,99		$-101,32x + 3734,4$		2,45		4
		3		0,99		0,98		$-111,58x + 3955,2$		5,65		3,46
		4		0,7		0,41		$-60,99x + 4207,43$		23,71		14,52

моторных масел представлена на рис. 4. Видно, что наибольшая чувствительность к изменению концентрации сажи наблюдается на частотах 3485 (минеральное масло) и 3495 (синтетическое и полусинтетическое масла) МГц.

Для исследуемых типов масел провели корреляционный анализ с определением аппроксимирующих функций, описывающих зависимости амплитуды сигнала и частоты пиков 1 – 4 (см. рис. 3) от концентрации сажи. Результаты приведены в таблице.

На рис. 5 представлены зависимости амплитуды сигнала частотой 3495 МГц и частоты пика 1 (см. рис. 3) от концентрации сажи и аппроксимирующие прямые (см. таблицу) для образца синтетического моторного масла.

Высокие коэффициенты корреляции и детерминации (см. таблицу) свидетельствуют о практически функциональной зависимости амплитуды на выбранных частотах и частоты пиков от концентрации сажи.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили теоретические основы поведения моторного

масла в электрическом поле при увеличении концентрации сажи. Получены математические модели зависимостей амплитуды сигнала и частоты вершин пиков от концентрации сажи в образцах моторных масел различных базовых основ. Приведенные зависимости практически полностью идентичны для полусинтетического и минерального масел, что можно объяснить их близким химическим составом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sam G., Santhosh B., Vishaal G., Mridul G. Effect of diesel soot on lubricant oil viscosity / Tribol. Int. 2007. Vol. 40. Issue 5. P. 809 – 818.
2. Rigol S., Schenk M., Perryman R., Hosny W. Challenges in the onboard oil condition monitoring / Proc. of Advances in Computing and Techno-

logy (AC&T). The School of Computing and Technology. 4th Annual Conference. University of East London. 2009. P. 26 – 34. On-line: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.426.9180&rep=rep1&type=pdf>.

3. Сугатов Н. Н., Хазиев А. А. Выбор оптимального метода оценки качества работающего моторного масла по диэлектрическим показателям / Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 1. С. 343 – 354.
4. Green D., Lewis R. The effects of soot-contaminated engine oil on wear and friction: a review / Proc. Inst. Mech. Engin. D. J. Automob. Engin. 2008. Vol. 222(9). P. 1669 – 1689.
5. Власов Ю. А. Методология диагностики агрегатов автомобилей электрофизическими методами контроля параметров работающего масла: дис. ... докт. тех. наук. — Томск: Томский государственный архитектурно-строительный институт, 2015. — 368 с.

UDC 121.43:121.892.2

DEPENDENCE OF THE DIELECTRIC PARAMETERS OF THE MOTOR OIL ON THE SOOT CONTENT

© A. A. Khaziev, N. N. Sugatov, A. V. Laushkin, and A. V. Postolit

Submitted December 19, 2016.

Reduction of noxious emissions and increase in oil drain intervals which reduce the maintenance cost of the vehicles and decrease a negative impact on the environment is one of the main trends in the modern automobile industry. The goals are achieved through introduction of the new systems and modes of engine operation, which in turn increases the rate of oil pollution and speeds-up degradation of the motor oils. Periodic monitoring of the oil characteristics can prevent the engine failure and reveal a decrease in the motor oil performance in due time which entails the necessity of developing the new methods for rapid analysis of motor oils. The development of the element base and increase in the accuracy of measuring devices provide their adaptation for determination of the qualitative characteristics of the motor oil. Nowadays, there are available measuring devices providing measuring of the dielectric characteristics of the motor oil within a wide range. The possibility of using measurement data for determination of condition of the motor oil is considered. The results of studying motor oils of various basic bases through determination of dielectric parameters are presented. Correlation analysis revealed clear dependence of the dielectric parameters of motor oil on the soot content.

Keywords: motor oil; dielectric constant; the quality control of the motor oil; soot.

REFERENCES

1. Sam G., Santhosh B., Vishaal G., Mridul G. Effect of diesel soot on lubricant oil viscosity / Tribol. Int. 2007. Vol. 40. Issue 5. P. 809 – 818.
2. Rigol S., Schenk M., Perryman R., Hosny W. Challenges in the onboard oil condition monitoring / Proc. of Advances in Computing and Technology (AC&T). The School of Computing and Technology. 4th Annual Conference. University of East London. 2009. P. 26 – 34. On-line: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.426.9180&rep=rep1&type=pdf>.

3. Sugatov N. N., Khaziev A. A. The choice of an optimum method of assessment of quality of the working engine oil on dielectric indicators / Moderniz. Nauch. Issled. Transport. Kompl. 2013. Vol. 1. P. 343 – 354 [in Russian].
4. Green D., Lewis R. The effects of soot-contaminated engine oil on wear and friction: a review / Proc. Inst. Mech. Engin. D. J. Automob. Engin. 2008. Vol. 222(9). P. 1669 – 1689.
5. Vlasov Yu. A. Methodology of diagnostics of units of cars electrophysical control methods of parameters of the working oil: doctoral thesis. — Tomsk: Tomskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi institut, 2015. — 368 p. [in Russian].