

УДК 665.73

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ, ИЗМЕРЯЕМЫЕ ЕМКОСТНЫМИ ДАТЧИКАМИ

И.В. БАТУРЛЯ, А.И. КУЗЬМИЧ, В.В. БАРАНОВ, В.А. ПЕТРОВИЧ, В.Ю. СЕРЕНКОВ,
С.А. ЗАВАЦКИЙ, Н.К. ФОМЕНКО, Н.С. КОВАЛЬЧУК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 1 октября 2015

Приведены результаты исследования диэлектрических характеристик проб моторных масел в зависимости от времени их эксплуатации. Предложена методика контроля характеристик масел, предназначенных для силовых установок, с помощью емкостных датчиков, что позволяет проводить мониторинг на мобильных (подвижных) технических объектах.

Ключевые слова: диэлектрические характеристики моторных масел, датчики, тангенс угла диэлектрических потерь, мониторинг.

Введение

Моторные масла, например марки М14В2, широко используются для различных силовых агрегатов. Качество таких масел является принципиальным для надежной работы силовых агрегатов и обеспечения безопасности движущихся объектов.

Применение технологии удаленного тестирования (мониторинга) параметров работы локомотивов в [1] позволило снизить себестоимость перевозок на величину до 7 %. При этом в область мониторинга были включены параметры потребления топлива, параметры разгона и торможения, мощности силовых установок и местоположения. Установлено, что количество внезапных отказов снизилось на ~15 %. Дальнейшее уменьшение эксплуатационных затрат возможно при оптимизации регламентных работ по техобслуживанию агрегатов. Такую возможность могут предоставить системы мониторинга с контролем параметров свойств масел в силовых агрегатах.

В настоящее время контроль параметров смазочных масел осуществляется путем забора проб для анализа масла физико-химическими методами (эмиссионно-спектральный анализ) в специализированных лабораториях. Этот вариант неэффективен по причинам высокой стоимости и продолжительности обследования. Для повышения эксплуатационной надежности и эффективного использования силовых агрегатов предлагается осуществлять контроль изменения параметров масел косвенными методами. Находясь в замкнутом смазывающем контуре, в процессе эксплуатации масло меняет свои физико-химические свойства. Являясь смесью углеводородов (диэлектриков) и присадок, каждый тип масла обладает свойственными ему иммитансными характеристиками – диэлектрической проницаемостью, проводимостью, тангенсом угла диэлектрических потерь, углом сдвига фаз между действительной и мнимой частями проводимости. Эти характеристики существенно изменяются в процессе эксплуатации масел. Контроль их изменения дает возможность оценить наличие загрязняющих компонентов косвенным образом (в частности, по изменению диэлектрических потерь), при этом величина отклонения от исходных значений позволяет оценивать и прогнозировать сроки технического обслуживания агрегата по состоянию параметров масел.

Известно также, что для контроля качества трансформаторных масел в энергетике действующие стандарты, с учетом ГОСТ 6581-75 и [2], предписывают определять тангенс угла

диэлектрических потерь. В [3] оценка изменения качества масел двигателей внутреннего сгорания основывается на анализе относительной диэлектрической проницаемости проб масел. Однако данные технологии не доработаны до уровня, позволяющего применить их в системах удаленного мониторинга подвижных объектов.

В данной работе исследуются изменения тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) и емкости (C_s) объемной измерительной ячейки (своеобразного конденсатора), заполненной пробой исследуемого масла в зависимости от степени загрязненности исследуемых проб моторных масел и частоты генератора в эквивалентной схеме замещения.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

В ходе работы проводилась регистрация зависимости параметров $\text{tg}\delta$ и C_s в диапазоне частот от 25 Гц до 1 кГц для проб масел с разной степенью загрязненности. Образцы для исследований предоставлены предприятием-партнером SIA «Ekotehserviss» (г. Рига). Набор образцов составлен из проб, забираемых физико-химической лабораторией локомотивного депо в процессе эксплуатации из двигателя одного и того же локомотива на протяжении всего срока эксплуатации масла.

Регистрация измеряемых параметров проводилась при комнатной температуре с помощью измерителя иммитанса E7-25, изготовленного «ОАО МНИПИ» Республики Беларусь. Прибор позволяет регистрировать характеристики с точностью не менее 1 %. В качестве датчика для регистрации параметров использовали плоский конденсатор, помещенный в среду образца. В таблице приведены характеристики вязкости моторного масла M14B2, применяемого для смазки двигательной установки, в зависимости от срока его эксплуатации в моточасах.

Характеристики проб моторного масла M14B2

№ п/п образца	Вязкость при 100 °С	Количество отработанных моточасов
1	13,80	0
2	13,88	153,50
3	13,95	320,10
4	14,22	628
5	15,02	907,2

В качестве рабочей гипотезы принимаем, что моторное масло со сроком эксплуатации 907, 2 ч имеет предельно допустимые параметры. Регламентный срок эксплуатации моторного масла данной марки около 1000 моточасов. Проверим зависимость тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) и емкости (C_s) объемной измерительной ячейки на примере исследуемых образцов масел от сроков их эксплуатации.

На рис. 1 представлена зависимость $\text{tg}\delta$ масла от частоты генератора схемы измерения и от количества отработанных моточасов каждой. Как видно из рисунка, в диапазоне частот от 25 Гц до 1 кГц значения $\text{tg}\delta$ для всех проб уменьшаются обратно пропорционально частоте генератора в схеме измерения. Количественные расчеты показывают, что изменение значения $\text{tg}\delta$, в зависимости от срока эксплуатации проб масел, хорошо различимо и имеет разброс более 50 % от максимальных до минимальных значений $\text{tg}\delta$ в диапазоне частот от 25 Гц до 1 кГц. Графики для первой пробы (свежего масла) и второй со сроком эксплуатации 153,5 моточаса практически совпадают. Изменения хорошо заметны начиная с третьего образца – 320 моточасов (около трети регламентного срока эксплуатации).

Зависимость C_s от частоты представлена на рис. 2, из которого видно, что в диапазоне частот от 25 Гц до 200 Гц значение параметра C_s , также как и $\text{tg}\delta$, изменяется обратно пропорционально частоте. Однако количественный разброс измеренных значений C_s существенно меньше диапазона изменения значения $\text{tg}\delta$. При этом характер зависимостей $\text{tg}\delta$ и C_s совпадают.

На рис. 3 представлена зависимость $\text{tg}\delta$ от времени наработки масел для частоты измерения 60 Гц (частота выбрана произвольно). Из него следует, что при увеличении времени наработки значение $\text{tg}\delta$ уменьшается по нелинейному закону. В диапазоне времени наработки от 0 до 200 ч наблюдается незначительный, в пределах 10 %, рост значения параметра $\text{tg}\delta$. Вероятно это обусловлено испарением адсорбированной влаги. После значения $\text{tg}\delta$ уменьшается

по мере наработки моточасов. При наработке параметра 600 ч значение $\text{tg}\delta$ уменьшается более чем в два раза по сравнению с исходной величиной. Это достаточно информативный параметр.

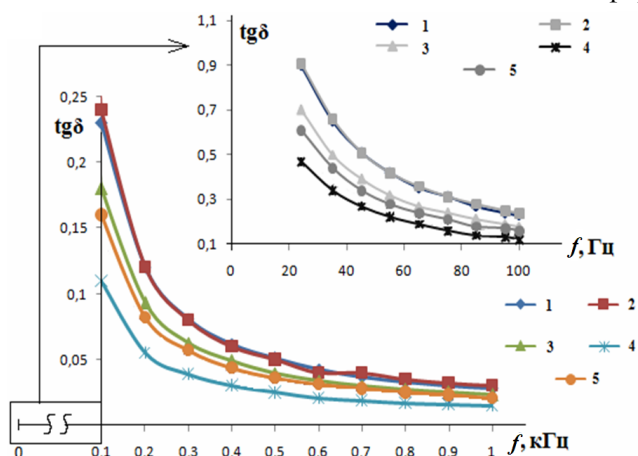


Рис. 1. Зависимость значения $\text{tg}\delta$ проб масел от времени наработки и частоты измерения

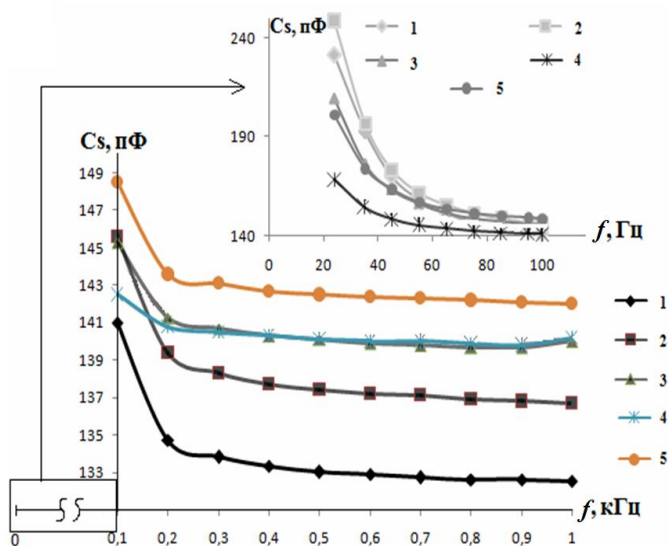


Рис. 2. Зависимость C_s проб масел от времени наработки и частоты измерения

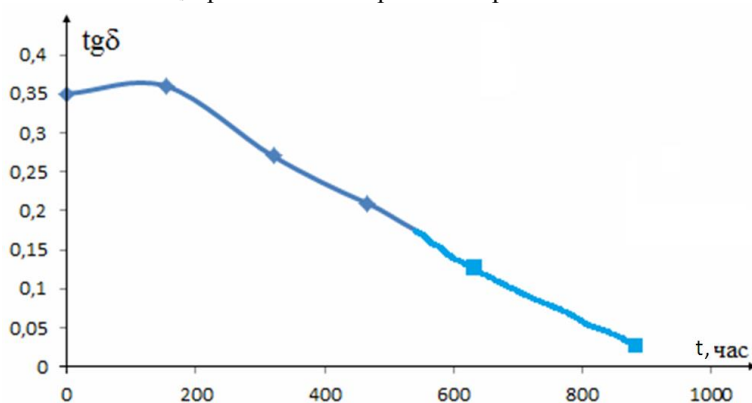


Рис. 3. Зависимость значения $\text{tg}\delta$ от времени наработки моторного масла

Заключение

В результате исследований показаны зависимости параметра диэлектрических потерь в моторном масле от времени наработки. Установлено, что наиболее чувствительным параметром, отражающим срок наработки масла (на примере масла марки M14B2), является величина $\text{tg}\delta$. Представленные результаты показывают также, что в качестве основы для построения датчика

может быть применен емкостной метод определения характеристик диэлектрических потерь, связанных с временем работы и, соответственно, с изменением свойств масла.

Конструкция датчика конденсаторного типа позволяет использовать его в качестве элемента, устанавливаемого в магистралях подачи моторного масла в механические системы дизельных двигателей, а также в магистралях отбора масла и внутри их.

DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF ENGINE OILS FOR POWER UNITS, AS MEASURED BY A CAPACITIVE SENSOR

I.V. BATURELIA, A.I. KUZMICH, V.V. BARANOV, V.A. PETROVICH, V.Y. SERENKOV,
S.A. ZAWATSKI, N.K. FOMENKO, N.S. KAVALCHUK

Abstract

The results of the study sample, depending characteristics of dielectric losses of motor oils with different degrees of aging are given. The technology of controlling the parameters of oil power plants described by means of monitoring systems installed on mobile objects is proposed.

Keywords: dielectric characteristics of motor oils, sensors, dielectric loss tangent, monitoring.

Список литературы

1. *Миртов В.К., Мацкевич П.Д., Кузьмич А.И.* // Матер. Междунар. науч. конф. «Информационные технологии и системы (ITS 2013)». Минск, 23 октября 2013 г. С. 166–167.
2. ГОСТ Р МЭК 60247-2013. Жидкости изоляционные. Определение относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь ($\tan \delta$) и удельного сопротивления при постоянном токе
3. *Григоров А.Б., Карножицкий П.В., Слободской С.А.* // Вестн. НТУ «ХПИ». 2006. № 25. С. 169–175.