

УДК 621.317.738

Е. Д. Макшаков, Сарапульский политехнический институт (филиал) ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»  
Ю. Г. Подкин, доктор технических наук, профессор, Сарапульский политехнический институт (филиал)  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

## МОНИТОРИНГ МОТОРНОГО МАСЛА ПО ЭКВИВАЛЕНТНЫМ РЕЛАКСАЦИОННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

*Показана возможность повышения точности дизелькометрического мониторинга моторного масла (ММ) путем анализа его эквивалентных релаксационных электрических характеристик. Разработана методика повышения точности измерений параметров ММ в эксплуатируемом двигателе на основе оптимизации пробоотбора и математической обработки результатов наблюдений. Приведены экспериментальные данные температурных зависимостей эквивалентных релаксационных емкостей и сопротивлений некоторых марок масел, полученные релаксационным измерительным преобразователем. Выявлена возможность использования эквивалентных релаксационных параметров для принятия решения о кондиционности ММ.*

**Ключевые слова:** моторное масло, диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление, эквивалентные релаксационные электрические характеристики, температура, мониторинг.

В последнее время все более актуальна разработка средств мониторинга моторных масел (ММ), что обусловлено рядом причин, главная из которых – стремление к замене ММ по его фактическому состоянию. Это ведет к экономии средств, а также природных ресурсов вследствие увеличения срока до замены и снижению негативного влияния на экологическую обстановку.

Зачастую в основу таких средств мониторинга положены дизелькометрические измерительные преобразователи, использующие монохроматические либо узкополосные зондирующие воздействия без строгого обоснования рабочих частот [1, 2]. Однако в ММ вследствие разнородности состава, интенсивных температурных и механических воздействий возникают генерационно-ингибиторные процессы [3–5], сопровождающиеся изменением диэлектрических характеристик во времени и по частоте. Наиболее неравномерны низкочастотные диэлектрические характеристики, так как неоднородность и неравномерность работающих ММ отражается релаксационными процессами именно на низких частотах. При произвольном выборе рабочей частоты информативность средств оценки состояния ММ дизелькометрическим способом далека до оптимальной. Повысить эффективность мониторинга ММ можно четкой привязкой рабочей частоты к релаксационной области [4, 5], в которой чувствительность эквивалентных диэлектрических характеристик моторных масел максимальна [6, 7]. Учитывая эквивалентность временного и частотного представления диэлектрических характеристик, наиболее целесообразно выполнить это требование путем релаксационного измерительного преобразования диэлектрических параметров ММ.

Для реализации такого преобразования в емкостном датчике созданного нами измерителя параметров  $RC$ -двухполосников используется измерительный сигнал в виде прямоугольного импульса напряжения, а информационный сигнал формируется встроенным микроконтроллером на основе анализа отклика на это воздействие [8]. Контроль параметров

ММ в эксплуатируемом двигателе осложняется интенсивными шумами измерительного преобразования. Для повышения воспроизводимости результатов наблюдений контроллер реализует алгоритм принципа накопления информативного сигнала.

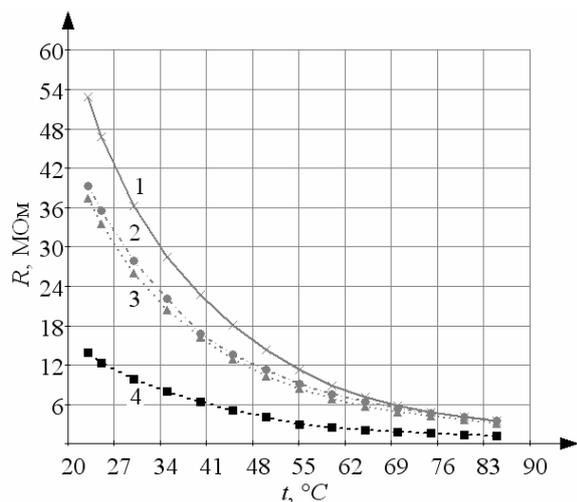
При измерении статических и динамических эквивалентных электрических характеристик первичного измерительного преобразователя (ПИП), заполненного исследуемым ММ, достоверность получаемых результатов сильно зависит от способа отбора и подготовки пробы и алгоритма математической обработки результатов наблюдений.

Если в качестве исследуемого объекта выступает свежее товарное ММ определенной марки какого-либо производителя, то перед заливкой пробы в рабочий межэлектродный зазор ПИП масло не следует подвергать встряске, взбалтыванию или иным воздействиям, которые могут привести к образованию воздушных включений в дисперсионной среде и появлению дополнительных составляющих погрешностей измерений диэлектрической проницаемости и удельного сопротивления.

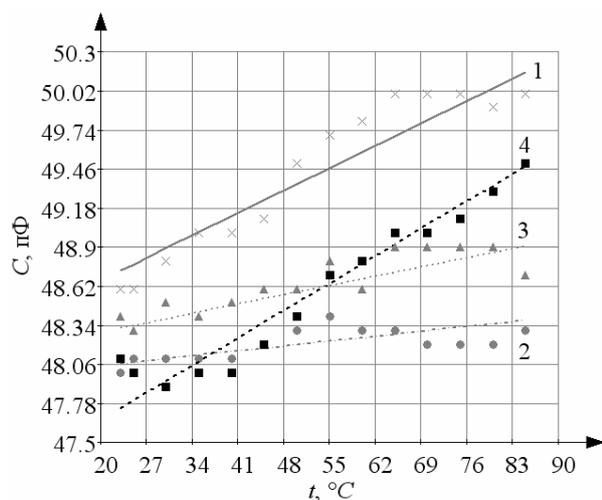
Что же касается отработавшего ММ, то достоверность результатов измерений сильно зависит от места отбора пробы. Так, если необходимо проанализировать состав работающего в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) ММ, то пробу необходимо брать со дна картера, предварительно перед этим запустив двигатель на некоторое время. Это обусловлено тем, что хотя вводимые в состав ММ диспергирующие присадки и поддерживают во взвешенном состоянии продукты неполного сгорания топлива и износа деталей цилиндра-поршневой группы, их оседание все же возможно. Работа системы смазки ДВС обеспечивает равномерное распределение составляющих структуру масла компонентов по всему объему картера благодаря перекачке и, как следствие, перемешиванию всей массы.

Основным фактором, влияющим на достоверность результатов измерений, является температура ММ. На рисунке приведены температурные зависимости изменения эквивалентных релаксационных

электрических сопротивлений (*a*) и эквивалентных релаксационных электрических емкостей (*b*) ММ, полученных с помощью измерителя параметров RC-двухполосников [8]. Здесь кривая 1 – SUPREMA FORMULA GT 10W-40 TS, проработавшее в двигателе автомобиля 12000 км; 2 и 3 – свежие ММ SUPREMA FORMULA GT 10W-40 TS из различных партий; 4 – свежее ММ «ЛУКОЙЛ СУПЕР» 5W-40. В качестве ПИП использовалась емкостная трехэлектродная система коаксиального типа [9].



a



б

Температурные зависимости эквивалентных релаксационных электрических сопротивлений (*a*) и емкостей (*b*) ММ различных марок

Экспериментальные температурные зависимости эквивалентного электрического сопротивления удовлетворительно согласуются с известными данными [6, 7]. Снижение эквивалентного электрического сопротивления ММ объясняется уменьшением вязко-

сти с повышением температуры, а также повышением диссоциирующей способности.

Исходя из однотипности кривых (см. рис.), их можно аппроксимировать одной функцией с переменным масштабным коэффициентом. Замена масштабного коэффициента при переходе на свежее масло позволит контролировать изменение его параметров в определенном диапазоне температур. При этом можно сформировать базу данных для ряда марок ММ со значениями динамических диэлектрических характеристик или непосредственно эквивалентных им параметров *C* и *R* в виде аналитических функций с целью дальнейшего использования этих функций при мониторинге ММ в процессе эксплуатации и принятия решения о его годности к дальнейшей эксплуатации.

### Библиографические ссылки

1. Хадифа Валид Камал. Методы и средства современного экспресс-контроля и мониторинга качества технических жидкостей // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 2. – С. 223–228.
2. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учеб. пособие / В. В. Остриков, С. А. Нагорнов, О. А. Клейменов, В. Д. Прохоренков, И. М. Курочкин, А. О. Хренников, Д. В. Доровских. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с.
3. Подкин Ю. Г. Теоретические основы диэлектromетрического контроля неравновесных дисперсных систем. – М. : Научтехлитиздат, 2003. – 158 с.
4. Мишков М. Ю., Подкин Ю. Г. Особенности проектирования емкостных первичных измерительных преобразователей диссипативных жидких сред. – Ч. 1. Анализ принципиальных особенностей // Датчики и системы. – 2013. – № 8. – С. 21–26.
5. Розенталь О. М., Подкин Ю. Г. Методы и средства диэлектрических измерений водных растворов электролитов // Измерительная техника. – 2014. – № 1. – С. 67–70.
6. Dielectric Properties for Monitoring the Quality of Heated Oils / S. M. El-Shami, I. Z. Selim, I. M. El-Anwar, M. H. El-Mallah // JAOS. – 1992. – Vol. 69. – No. 9. – pp. 872–873.
7. M'Peko J.-C. Evaluation of the dielectric properties of biodiesel fuels produced from different vegetable oil feedstocks through electrochemical impedance spectroscopy / D. L. S. Reis, J. De Souza, A. R. L. Caires // International Journal of Hydrogen Energy. – London: Elsevier, 2013. – Vol. 38. – No. 22. – Pp. 9355–9359. – URL: <http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/45319>
8. Пат. № 2503020 Российская Федерация, МПК G01R27/00. Измеритель параметров RC-двухполосников / Е. Д. Макшаков ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова». – № 2012124471/28; заявл. 13.06.2012; опубл. 27.12.2013.
9. Макишаков Е. Д. Емкостный первичный измерительный преобразователь для сыпучих и жидких материалов // Информационное и техническое обеспечение инновационных технологий : Материалы респ. науч.-метод. очно-заоч. конф. – Сарапул : Изд-во СПИ, 2011. – С. 34–36.

### Monitoring the Engine Oil by Equivalent Electrical Relaxation Specifications

The possibility of increasing the accuracy of dielectric monitoring of engine oil (EO) by analyzing its equivalent electrical relaxation specifications is shown. Methodology for improving the accurate measurements of EO engine operated on the basis of optimization of sampling and mathematical analysis of observations has been developed. The experimental data of the temperature dependence of the relaxation equivalent capacitors and resistance of some brands of oils obtained by relaxation transmitter are given. The possibility of using equivalent relaxation parameters for the accepting decision about quality of EO has been revealed.

**Key words:** engine oil, permittivity, conductivity, equivalent electrical relaxation specifications, temperature, monitoring.

Получено 10.09.2014

УДК 620.179.1

**Ю. В. Данилов**, кандидат технических наук, Сарапульский политехнический институт (филиал)  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**Ю. Г. Подкин**, доктор технических наук, профессор, Сарапульский политехнический институт (филиал)  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## РАСЧЕТ ЕМКОСТЕЙ МЕТАЛЛИЗИРУЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Проведен сравнительный анализ трудоемкости методов расчета емкостей сложных металлизированных поверхностей, применяемых в технологиях гальванической металлизации и микроэлектромеханических систем. Показано, что в 2D-приближении наиболее эффективен метод Монте-Карло. Разработан алгоритм применения этого метода для расчета емкостей плоских поверхностей с учетом краевых эффектов.

**Ключевые слова:** гальваническая металлизация, емкости плоских поверхностей, краевые эффекты.

Для решения проблем микроминиатюризации современной электронной аппаратуры, создания микроэлектромеханических систем (МЭМС) разработчики применяют все более сложные, разветвленные структуры элементов конструкций, повышают степень интеграции микросхем и плотность упаковки печатных узлов [1, 2]. Постоянно усложняются топологии проводящих структур и, как следствие, распределения электромагнитных полей в них. Разнообразие размеров и форм проводящих структур повысило требования к способам их формирования. Одним из эффективных путей решения этих проблем стало развитие технологий гальванической металлизации проводящих поверхностей. Выбор режима электрохимической металлизации должен при высокой производительности обеспечить заданную толщину и равномерность покрытия.

Качественные показатели металлизированных покрытий в первую очередь определяются точностью задания и поддержания плотности тока. При заданной плотности тока и варьировании площади электродов меняется величина тока гальванической ванны. Поэтому для расчета площади анодов и необходимого тока металлизации при заданной плотности тока гальванопары необходимо знать площадь поверхности металлизации изделия.

Поля большинства электродных структур гальванических ванн, образованных сплошной протяженной поверхностью анода и дискретизированной поверхностью катода (металлизированного изделия), используемых в производстве печатных плат, невозможно рассчитать аналитически; в этих случаях можно ис-

пользовать численные методы. Пакеты автоматизированного проектирования в большинстве случаев основаны на аппроксимации эмпирической кривой или эмпирических формул. Проверка правильности этих формул должна опираться на точные методы определения характеристик. Кроме того, любые численные методы расчета должны быть эффективными, гибкими при разработке и использовании результатов.

Обычно численные методы выбираются на основе компромиссов между точностью, быстродействием, требованием к объему памяти, эксплуатационной гибкости, зависят от анализируемой структуры [1]. Рассмотрим особенности применения в технологии печатных плат метода конечно-разностной аппроксимации уравнений Лапласа. Переход от уравнения Лапласа к конечно-разностным уравнениям эффективен, когда возможности аналитического решения ограничены из-за сложной геометрии системы электродов печатной платы.

Метод конечно-разностных уравнений можно проиллюстрировать решением задачи, сводящейся к двумерному уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Распределение потенциала находят в ограниченной области. Область решения разбивают линиями на ячейки, образуя сетку с шагом  $h$ . Это позволяет вместо строгого решения (1) найти значения потенциалов для точек пересечения линий, образующих узлы сетки в выделенной области (см. рис.).