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

СПОСОБ МОНИТОРИНГА МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПО ЭКВИВАЛЕНТНЫМ РЕЛАКСАЦИОННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Качественные показатели моторных масел (ММ), залитых в систему смазки, постоянно ухудшаются, как в процессе эксплуатации двигателя, так и в режиме простоя. Однако зафиксировать момент, когда изменение качественных показателей ММ достигает опасного для дальнейшей эксплуатации уровня, без проведения сложного химического анализа невозможно. Поэтому до сих пор замена ММ производится по нормативному сроку эксплуатации и напрямую не связана с реальным ухудшением его качества. В то же время имеется тесная взаимосвязь многих электрофизических и потребительских характеристик ММ. Использование электрофизического контроля для мониторинга системы смазки позволяет объективно оценивать реальное изменение качественных показателей ММ и производить его замену тогда, когда ресурс полностью исчерпан. Однако определить момент предельного изменения качественных показателей довольно сложно.

Как показали исследования [1–3], наиболее динамично и предсказуемо в процессе эксплуатации происходит изменение эквивалентного электрического сопротивления ММ. Поэтому большинство исследователей при проектировании систем мониторинга опираются на этот качественный показатель [4]. Однако удовлетворительная корреляция резистивных и эксплуатационных характеристик ММ наблюдается лишь в ограниченном температурном диапазоне. По нашим данным [5], это диапазон от 23 до 55 °С. Дальнейшее увеличение температуры ведет к «слиянию» резистивно-температурных характеристик и усложнению интерпретации результатов измерения. Повысить информативность контроля и снизить вероятность ошибок позволяет введение канала измерения эквивалентной электрической емкости *C*, отражающей изменение диэлектрической проницаемости ММ [6]. Наиболее интенсивно при загрязнении и деструктуризации, сопровождающихся формированием дисперсной системы, диэлектрические характеристики материалов изменяются в релаксационном режиме [7], поскольку оказываются в области абсорбции резистивной и дисперсии емкостной составляющих [8, 9]. Таким образом, можно выделить два этапа эксплуатационного диэлькометрического мониторинга: определение кондиционности ММ в процессе прогрева двигателя внутреннего сгорания по изменению текущих изотермических значений эквивалентных резистивных характеристик и дополнительный контроль состояния ММ по изменению емкостно-температурных характеристик. Если изменения достигнут критических значений, при которых масло исчерпало свой ресурс, то должно приниматься решение о замене. Поясним это графически. На рис. 1, *а* приведены: *1* − температурная зависимость электрического сопротивления ММ в критическом состоянии; *2* – температурная зависимость электрического сопротивления свежего ММ – начальная характеристика.

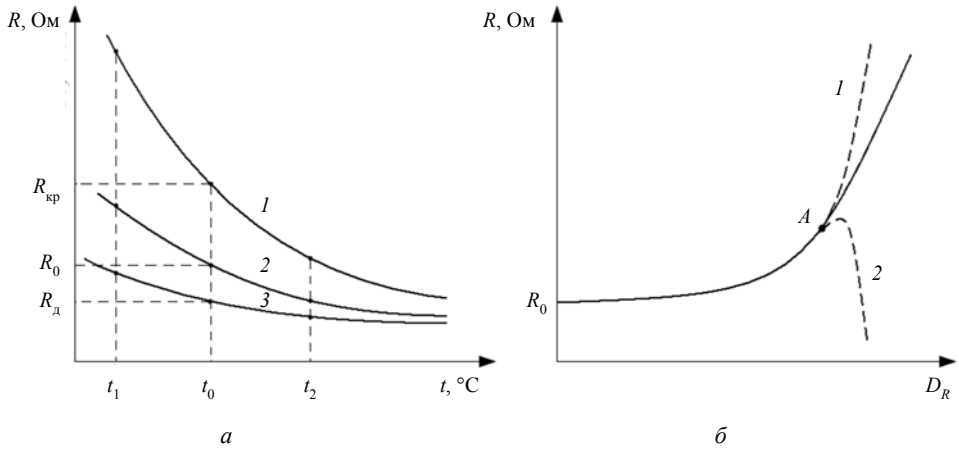

Рис. 1. Выбор зоны допуска электрического сопротивления для принятия решения о кондиционности ММ (*а*) и деградационная характеристика (*б*)

© Макшаков Е. Д., Подкин Ю. Г., 2015

В запредельном режиме возможно смещение резистивно-температурной характеристики относительно критической и вверх, и вниз (кривая *3* на рис. 1, *а*).

Можно полагать, что ММ находится в кондиционном состоянии, если выполняется условие $R_0 < R < R_{кр}$, где R_0 – электрическое сопротивление свежего ММ при рабочей температуре измерения t_0; $R_{кр}$ – критическое значение электрического сопротивления ММ при t_0, деструктуризация которого достигла допустимого предела; R – изотерма электрического сопротивления ММ при t_0.

Гипотетическая ситуация, при которой $R < R_0$, что на графике (рис. 1, *а*) при t_0 соответствует значению сопротивления $R_д$, должна рассматриваться как аномальное отклонение от номинального режима работы системы смазки, свидетельствующее о ненормативном составе масла или проблемах с двигателем.

Использование резистивно-температурных характеристик (рис. 1, *а*) для принятия решения о некондиционности ММ не рационально, поскольку эти характеристики не имеют выраженных узловых точек.

Введем вспомогательный параметр – степень деструктуризации масла D, характеризующий «старение» ММ в зависимости от продолжительности эксплуатации. Зависимости эквивалентных электрических сопротивления и емкости ММ от степени деструктуризации D имеют смысл деградационных характеристик. На деградационной характеристике эквивалентного электрического сопротивления ММ критическое изменение состояния ММ отражается «разбегом» характеристик из узловой точки *A* (рис. 1, *б*). Нарушение режима работы системы смазки отражается пунктирной кривой *2*. Ускоренное повышение сопротивления R из-за образования в составе ММ эмульсии, увеличения механических и других загрязнений характеризует пунктирная ветвь *1*.

Любое изменение эквивалентного электрического сопротивления, как в сторону увеличения, так и уменьшения, вследствие загрязнения сопровождается увеличением электрической емкости C ММ, что связано с образованием в его структуре дополнительных полярных включений, например, молекул воды, а также процессами межслойной поляризации, обусловленной перемещениями молионов при воздействии измерительного сигнала. На рис. 2, *а* изображены начальная *3*, текущая *2* и критическая *1* температурные зависимости электрической емкости C ММ, а также зависимость изменения емкости C от степени деструктуризации D_C и точка перегиба *A*, соответствующая, например, попаданию в ММ охлаждающей жидкости (рис. 2, *б*).

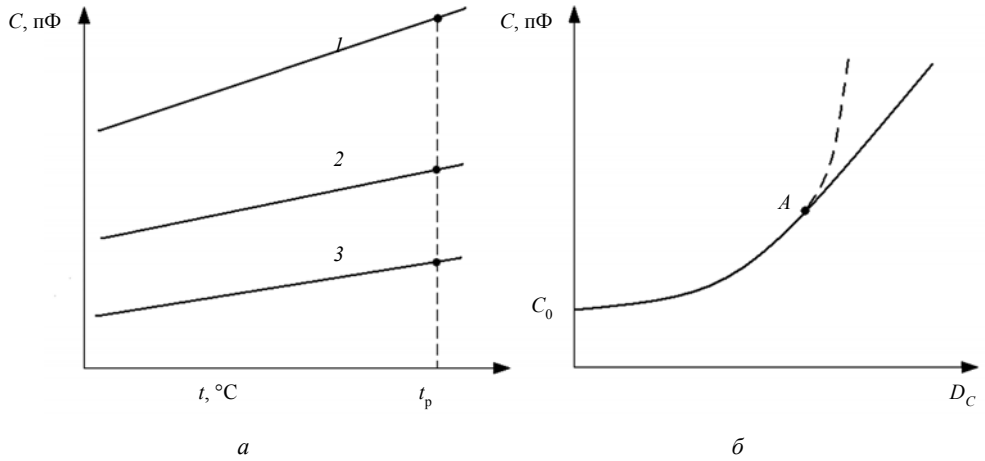

Рис. 2. Емкостно-температурные характеристики ММ (*а*) и изотерма (*б*)

Характеристики построены исходя из экспериментальных данных [10]. Температура $t_р$ на рис. 2, *а* – температура рабочего теплового режима двигателя.

Поскольку степень деструктуризации определяется не абсолютными значениями, а приращениями сопротивления R и емкости C в процессе эксплуатации относительно их начальных значений R_0 и C_0, для ее оценки целесообразно использовать эксплуатационные характеристики

$$\delta_R = \frac{R - R_0}{R_0}; \quad \delta_C = \frac{C - C_0}{C_0}.$$

Эксплуатационные характеристики ММ «SUPREMA FORMULA GT» 10W-40 TS при 22 °C в зависимости от пробега автомобиля приведены на рис. 3 [11].

Так как деструктуризация масла сопровождается изменением обоих эквивалентных параметров R и C, то комплексную степень деструктуризации D на стадии прогрева двигателя следует определить как сумму относительных изменений в логарифмическом масштабе, вводя весовой коэффициент k, учитывающий различие динамических диапазонов изменения переменных:

$$D = \lg(\delta_R) + k\lg(\delta_C). \quad (1)$$

На графике (рис. 4) кривая $D_1 = \lg(\delta_R)$, $D_2 = k\lg(\delta_C)$, $k = 0{,}45$. Очевидно, что функция D объективно отражает изменение состояния ММ во всем жизненном цикле, начиная от момента заливки свежего масла до момента замены. Наиболее резкий подъем значения D наблюдается на начальной стадии эксплуатации, когда

происходит интенсивное загрязнение остатками масла, эксплуатируемого ранее, и начальная приработка ММ. Момент замены ММ можно определять по приближению степени деструктуризации D к предельно допустимому значению $D_{пор}$ (для исследованных масел можно принять критерий $D_{пор} \approx 0$). Весовой коэффициент k позволяет менять крутизну деградационной характеристики. При этом возможно выделение нескольких зон значений D, характеризующих степень приближения состояния ММ к критическому.

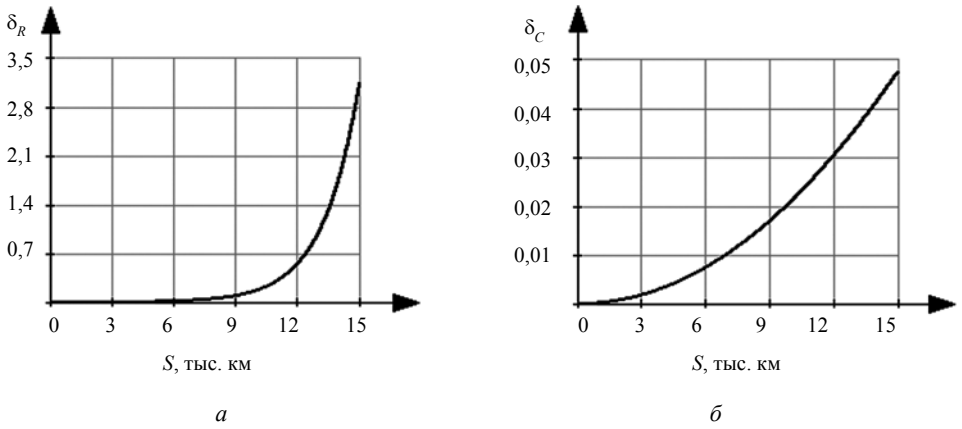

Рис. 3. Зависимость эксплуатационных характеристик ММ от пробега автомобиля

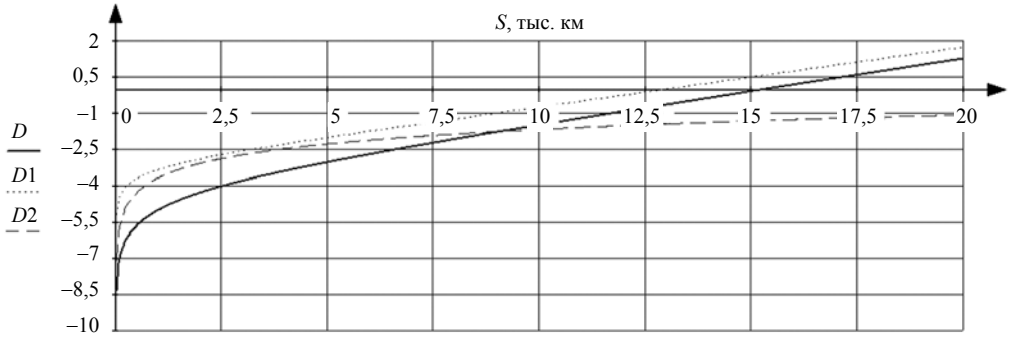

Рис. 4. Изменение степени деструктуризации ММ от продолжительности эксплуатации

Поскольку в рабочем тепловом режиме двигателя возрастает чувствительность релаксационного измерительного преобразователя к факторам, влияющим на эквивалентную емкость, введем дополнительный критерий степени деструктуризации:

$$D_{C\text{пор}} = \lg \frac{C_{\text{пор}} - C_{0\text{р}}}{C_{0\text{р}}},$$

где $C_{пор}$ – пороговое значение эквивалентной электрической емкости, соответствующее предельно допустимой степени деструктуризации ММ при $t = t_р$.

Текущее значение степени деструктуризации определяется исходя из выражения

$$D_C = \lg \frac{C(t_\text{р}) - C_{0\text{р}}}{C_{0\text{р}}},$$

где $C(t_р)$, $C_{0р}$ – текущее и исходное значение эквивалентной электрической емкости ММ при рабочей температуре двигателя $t_р$ соответственно. При этом решение о некондиционности ММ должно приниматься, если $D_C \geq D_{C\text{пор}}$.

На основе выявленных закономерностей разработан способ контроля состояния моторных масел в процессе эксплуатации по их эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам, заключающийся в том, что для распространенных марок моторных масел записывают в базу данных бортового контроллера экспериментально определенные исходные эквивалентные релаксационные параметры R_0, C_0, пороговые параметры $R_{пор}$, $C_{пор}$ при значении температуры t_0, выбираемом в интервале от 20 до 50 °С индивидуально для каждого масла по критерию кондиционности, рассчитанные относительные изменения

$$\delta_{\text{пор}R} = \frac{R_{\text{пор}} - R_0}{R_0}; \quad \delta_{\text{пор}C} = \frac{C_{\text{пор}} - C_0}{C_0}$$

и пороговую степень деструктуризации

$$D_{\text{пор}} = \lg\left(\delta_{\text{пор}R}\right) + k \lg\left(\delta_{\text{пор}C}\right),$$

на стадии прогрева двигателя при достижении температуры t_0 измеряют текущие эквивалентные релаксационные параметры ММ $R(t_0)$ и $C(t_0)$, рассчитывают относительные изменения

$$\delta_R = \frac{R(t_0) - R_0}{R_0}; \quad \delta_C = \frac{C(t_0) - C_0}{C_0},$$

текущую степень деструктуризации по (1), и если $D \geq D_{пор}$, принимают решение о некондиционности ММ. При рабочей температуре двигателя $t_р$ для распространенных марок моторных масел экспериментально определяют по критерию кондиционности масла и записывают в базу данных бортового контроллера значения пороговых рабочих эквивалентных электрических емкостей $C_{пор}(t_р)$, исходные эквивалентные электрические емкости $C_{0р}$, рассчитанные значения второй пороговой степени деструктуризации

$$D_{C пор} = \lg \frac{C_{пор}(t_р) - C_{0р}}{C_{0р}},$$

измеряют текущее рабочее значение эквивалентной релаксационной емкости $C(t_р)$, рассчитывают рабочее значение степени деструктуризации

$$D_C = \lg \frac{C(t_р) - C_{0р}}{C_{0р}};$$

при $D_C \geq D_{C пор}$ принимается решение о некондиционности ММ.

Библиографические ссылки

1. *Макшаков Е. Д.*, *Подкин Ю. Г.* Мониторинг моторного масла по эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 4(64). – С. 108–110.

2. *Макшаков Е. Д.* Система экспресс-анализа качества моторных масел // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 2(54). − С. 125–127.

3. *Макшаков Е. Д.* О возможности прогнозирования срока замены моторного масла в двигателе внутреннего сгорания с помощью релаксационного диэлькометрического анализа // Институциональное и информационно-техническое обеспечение инновационных технологий : региональная науч.-метод. конф. – Сарапул : Изд-во СПИ, 2014. – С. 82–85.

4. *Сысоева С.* Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем Powertrain и контроля эмиссии. – Ч. 2. О датчиках температуры и обо всех остальных // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8. − С. 22–32.

5. *Макшаков Е. Д.*, *Подкин Ю. Г.* Мониторинг моторного масла по эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам.

6. *Подкин Ю. Г.*, *Мишков М. Ю.* Особенности проектирования емкостных первичных измерительных преобразователей диссипативных жидких сред. – Ч. 1. Анализ принципиальных особенностей // Датчики и системы. – 2013. − № 8. − С. 21–26.

7. *Подкин Ю. Г.* Теоретические основы диэлькометрического контроля неравновесных дисперсных систем. − М. : Научтехлитиздат, 2003. − 158 с.

8. *Подкин Ю. Г.*, *Мишков М. Ю.* Указ. соч.

9. *Макшаков Е. Д.*, *Подкин Ю. Г.* Контроль загрязненности моторного масла по его эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам // Институциональное и информационно-техническое обеспечение инновационных технологий : региональная науч.-метод. конф. – Сарапул : Изд-во СПИ, 2014. – С. 86–89.

10. *Макшаков Е. Д.*, *Подкин Ю. Г.* Мониторинг моторного масла по эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам.

11. *Макшаков Е. Д.* О возможности прогнозирования срока замены моторного масла в двигателе внутреннего сгорания с помощью релаксационного диэлькометрического анализа.

Получено 08.12.2014

УДК 539.149

А. Я. Клочков, кандидат технических наук, доцент, Рязанский государственный радиотехнический университет
А. И. Коршунов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
С. Г. Емельянов, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, Курск
С. А. Батуркин, Рязанский государственный радиотехнический университет

ТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НЕУПОРЯДОЧЕННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА СТРУКТУРЫ GST225

Для исследования динамики фазовых переходов по изменению электропроводности образцов был предложен метод дополнительного смещающего тока [1, 2]. Применение постоянного токового смещения позволило регулировать среднюю температуру активной области, изменяя время процессов плавления и кристаллизации.

Цель работы – моделирование, расчет параметров и выявление особенностей структуры нелегированных и легированных неупорядоченных полупроводников GST225.

Изучение влияния примесей

Чтобы получить более полное представление о влиянии примесей на кристаллические и аморфные GST, необходимо провести более систематический анализ с учетом обеих фаз. Кроме этого необходимо сравнить различные типы примесей и наметить связь между химической природой примесей и изменением атомной и электронной структуры, тем самым разработать руководство, чтобы выбрать оптимальные примеси [3].

© Клочков А. Я., Коршунов А. И., Емельянов С. Г., Батуркин С. А., 2015