

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ИММИТАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНОГО МАСЛА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ВЫГОДЫ

Надежность современных машин, механизмов и технологического оборудования определяется процессами, протекающих в трибологических системах, которые можно представить, как «материалы пары трения – смазочный материал» (МПТ-СМ). Данные системы могут характеризоваться коэффициентом трения, прирабатываемостью, износостойкостью, приспособляемостью и самоорганизацией. Поэтому разработка средств и методов контроля состояния системы и процессов, происходящих в ней, является актуальной задачей, решение которой позволит создать теоретические и практические разработки, направленные на повышение надежности механических систем.

Процессы, происходящие в системе «МПТ-СМ», в большей мере зависят от степени окисления смазочного материала, а если учесть, что они более интенсивно протекают на поверхностях трения, за счет более высоких температур и каталитического влияния материалов пар трения, то становится понятным, насколько весома связь и взаимовлияние элементов этой системы на ее надежность [1].

Ресурс моторных масел является важным эксплуатационным показателем, так как оказывает основное влияние на надежность двигателей внутреннего сгорания и зависит от их конструктивных особенностей, степени форсирования, технического состояния цилиндропоршневой группы, режимов работы, состояния системы фильтрации, герметичности масляной системы и от качества самого масла.

Основным направлением для увеличения ресурса и надёжности двигателей является организация проведения периодического контроля состояния моторного масла. Вышеизложенное обуславливает актуальность задачи разработки конструкции датчиков и исследованию с их помощью качества моторных масел.

Для определения состояния моторного масла можно использовать параметр изменения его относительной диэлектрической проницаемости  $\Delta\epsilon$ . Загрязнения, несомненно, будут оказывать влияние на величину параметра  $\Delta\epsilon$  [2].

Однако, стоит заметить, что изменение величины диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ , следовательно, и емкости) в зависимости от срока эксплуатации и загрязненности масел составляет несколько

процентов. По этой причине емкость датчика – малоинформативный параметр.

Если представить масло как диэлектрик, то в качестве контролируемого параметра, в настоящее время, используется измерение тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ). Изменение показаний емкостного датчика при этом обусловлено изменением  $\text{tg}\delta$  так и емкостью.

Для контроля жидких сред использование ёмкостных ячеек является базовым подходом к созданию датчиков. Эти ячейки позволяют получить конкретную информацию о диэлектрических потерях в жидких средах на основании отклика на различных частотах зондирующего сигнала.

Использование тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ), а также емкости (диэлектрической проницаемости) говорит о загрязненности масла как диэлектрика. Изменение показаний емкостного датчика при этом обусловлено изменением  $\text{tg}\delta$ [2]. В качестве регистратора  $\text{tg}\delta$  использовался измеритель иммитансных характеристик Е7–25.

Нами были исследованы зависимости  $\text{tg}\delta$  масла марки М12В2 с использованием конструкций конденсаторов с коаксиальными спиралевидными и плоскопараллельными пластинами, помещенными в жидкую среду при комнатной температуре. Конструкции плоскопараллельного конденсатора имели две разновидности: с сплошными обкладками и обкладками в виде сетки.

Объектами исследования являлись емкостные датчики и электрофизические характеристики моторных масел.

В таблице 1 приведены значения загрязнённости проб моторного масла М14В2.

**Таблица 1 – Характеристики проб моторного масла М14В2**

Номер пробы	Загрязнённость, мото-часов	Примечание
1	–	Чистое
2	153,50	–
3	320,10	–
4	465,20	Присутствует вода
5	628	–
6	907,2	–

В результате проведенных исследований получены следующие зависимости.

На рис. 1 и 2 приведены зависимости от частоты угла сдвига фаз между действительной и мнимой частью комплексного сопротивления проб масел, отличающихся степенью загрязнённости, которая вызвана сроком эксплуатации.

Из рис. 1 и 2 видно, что зависимость угла сдвига фаз между действительной и мнимой частью комплексного сопротивления (проводимости)  $\varphi$  обратно пропорциональна частоте во всем рассматриваемом диапазоне. На рис. 3 представлена зависимость  $tg\delta$  от наработки часов для частоты 65 Гц. Этот рисунок позволяет сделать следующее заключение: при увеличении загрязненности  $tg\delta$  уменьшается по нелинейному закону. В диапазоне загрязненности от 0 до 200 единиц наблюдается незначительный, в пределах 10% рост  $tg\delta$ , после чего  $tg\delta$  уменьшается с ростом загрязненности. При загрязненности около 600 единиц значение  $tg\delta$  уменьшается примерно в 2 раза от исходного значения.

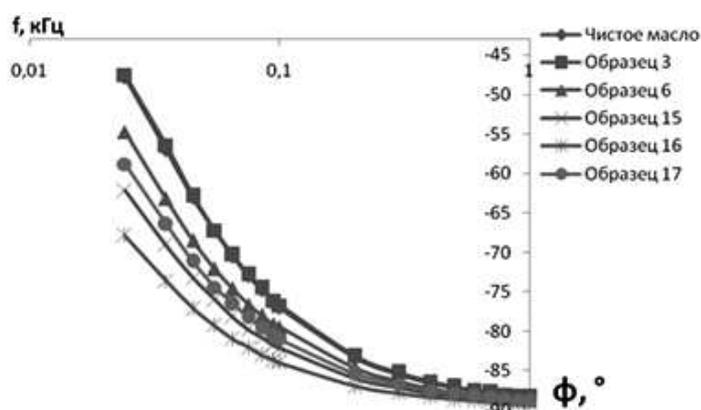


Рисунок 1 – Зависимость  $\varphi$  в диапазоне частот от 100 Гц до 1 кГц

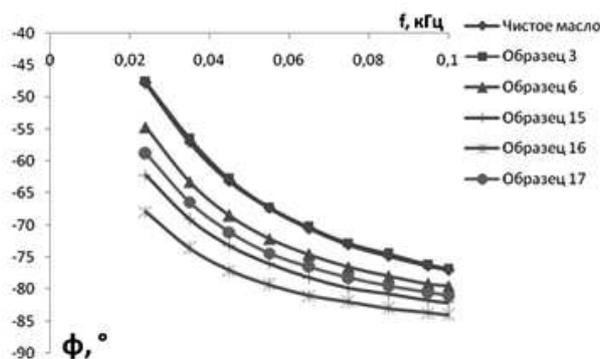


Рисунок 2 – Зависимость  $\varphi$  в диапазоне частот от 20 Гц до 100 Гц

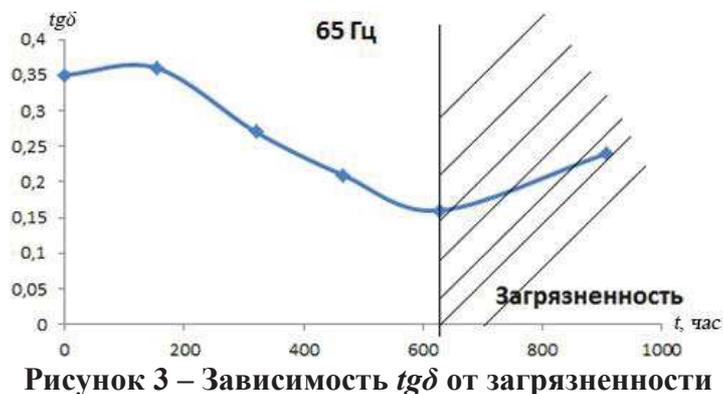


Рисунок 3 – Зависимость  $tg\delta$  от загрязненности

Таким образом, показано, что загрязненность моторных масел влияет на их электрофизические характеристики, в частности, на тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическую проницаемость и угол сдвига фаз между действительной и мнимой частью комплексного сопротивления.

Количественный разброс  $\varphi$  от загрязненности зависит от выбора частоты в качестве фиксированной. Так на частоте 25 Гц изменение  $\varphi$  составляет порядка 45% от максимального до минимального значения. При частоте 100 Гц это изменение составляет уже порядка 10%, а на частоте 1 кГц – порядка 1%. Конструкция предложенного конденсатора позволяет при соответствующей доработке использовать его в качестве датчика, размещенного в магистралях подачи масла в механические системы, а также в магистралях отбора масла из механических систем и внутри их. На основании исследования, проводившихся в НИЛ 5.3, диэлектрических характеристик пробы моторных масел для дизельного двигателя трактора *ХТЗ–17021* с двигателем «Дойтц» с различной наработкой и выполнением их анализ.

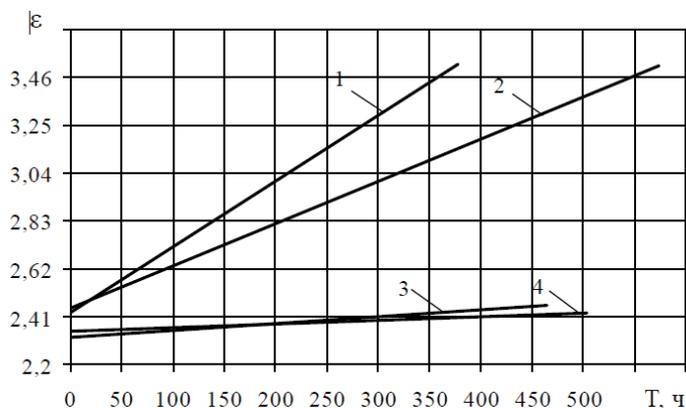
Анализируя результаты нужно отметить, что предельного значения, за время работы моторного масла *Маст–ЭкстраДизель* в тракторе *ХТЗ–17021*, достигла только вязкость при наработке 237 часов (увеличение 48,2%) и эксплуатация такого масла не рекомендуется. Дальнейшая эксплуатации показала, что вязкость продолжает увеличиваться, а скорость поступления продуктов износа (железа) в масло остаётся на том же уровне и составила 3,97 мг/ч или 0,16 мг/л израсходованного топлива.

Анализ основных браковочных показателей качества масла *АЗМОЛ Турбо 1 SAE 15W – 40 API SG/CF–4* с разной наработкой (табл.1) показал, что предельное значение имеет показатель коксуемости 4,89% в результате чего дальнейшая эксплуатация масла была прекращена.

Результаты анализа моторного масла *DEUTZ OEL TAD SAE 15W – 40 API CF–4* из трактора с наработкой масла 317 часов пригодно к дальнейшей эксплуатации, а из трактора с наработкой масла 471 час рекомендуется заменить, так как предельного значения достигла вязкость (увеличение на 40,7%) и коксуемость 4,25%. Скорость поступления железа в моторное масло составило 2,65 мг/ч и 0,11 мг/л израсходованного топлива. Температуры вспышки изменялась от начального значения на 5 – 15°C.

На рис. 4 представлены зависимости изменения относительной диэлектрической проницаемости моторных масел при эксплуатации тракторов *ХТЗ –17021* и большегрузных самосвалов.

У моторных масел «Азмол Турбо 1» *SAE 15W-40 API SG/CF-4* и «Маст-Экстра Дизель» *SAE 15W-40 API SG/CD* (см. рис. 14), которые проработали в двигателе «Дойтц» трактора *XT3 – 17021* при выполнении полевых сельскохозяйственных работ по обработке почвы 378 часов = 3,52 и 574 часа = 3,51.



**Рисунок 3 – Изменение диэлектрической проницаемости моторных масел от времени работы в двигателе: 1 – XT3-17021 (Азмол Турбо-1 *SAE 15W-40*); 2 – XT3-17021 (Маст-Экстра Дизель *SAE 15W-40*); 3 – Komatsu HD 1200-1 (*ESSO SAE 15W-40*); 4 – БелАЗ 75121-20 (Крол Альфа *SAE 10W-40*).**

Моторное масло *ESSOLUBE XT 401 SAE 15W-40 API CF-4* проработало в двигателе автомобиля самосвала *Kamatsu HD 1200-1* 464 часа = 2,46. Полусинтетическое моторное масло Крол Альфа *SAE 10W-40 API CF-4/ SG* отработало в двигателе автомобиля *БелАЗ 75121-20* 503 часа = 2,43. Наибольшее значение диэлектрическая проницаемость достигает при работе в двигателе трактора, чем в двигателе автомобилей самосвалов.

Диагностируя качество моторного масла по диэлектрической проницаемости, можно с большей достоверностью утверждать о фактическом состоянии работавшего масла, чем по наработке.

При уточнении периодичности диагностирования моторных масел необходимо устанавливать предельное значение диэлектрической проницаемости индивидуально для каждого трактора, учитывая техническое состояние двигателя и его систем, качество применяемого масла и внешние условия эксплуатации.

Зная скорость поступления продуктов изнашивания в масло, при работе двигателя в одинаковых условиях, на маслах различных производителей можно с большей достоверностью утверждать о работоспособности двигателя на этих маслах.

Для контроля загрязненности масла как диэлектрика используется тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ), а также емкости (диэлектрической проницаемости). Изменение показаний емкостного

датчика при этом обусловлено изменением  $tg\delta$ . В качестве регистратора  $tg\delta$  использовался измеритель иммитансных характеристик Е7–25 – портативный прибор класса точности 0,15% с широким диапазоном рабочих частот.

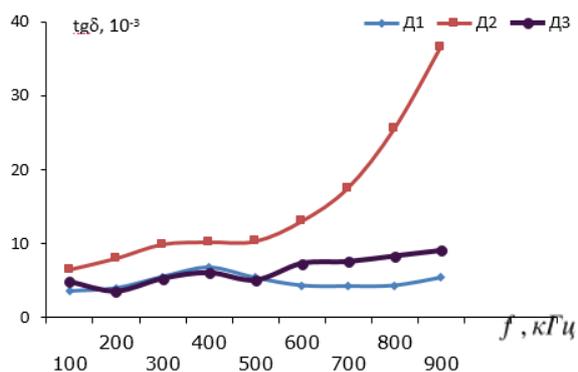
Нами были исследованы зависимости  $tg\delta$  масла марки М14В2 с использованием конструкций конденсаторов с плоскопараллельными и коаксиальными спиралевидными пластинами, помещенными в жидкую среду при комнатной температуре. Конструкции плоскопараллельного конденсатора имели две разновидности: с сплошными обкладками и обкладками в виде сетки.

На рис. 5 представлены зависимости величины  $tg\delta$  от частоты для моторного масла М14В2 с нулевым временем наработки.

Из анализа данных графика можно сделать следующие выводы:

- в диапазоне частот 100–500 кГц показания датчиков с плоскопараллельными и сетчатыми обкладками практически идентичны и  $tg\delta$  находится на уровне  $(3–7) \cdot 10^{-3}$ ;
- для спиралевидного датчика численное значение  $tg\delta$  почти в 2 раза выше на данных частотах;
- на частотах 500–1000 кГц и чувствительность спиралевидного датчика значительно возрастает.

Недостаток ранее использованных датчиков – анизотропия скорости смены диэлектрической среды (масла) между сплошными обкладками в процессе измерения относительно осей координат обкладок.



**Рисунок 5 – Зависимость значения  $tg\delta$  проб масел от частоты измерения и конструкции датчиков:**

**D1 – плоскопараллельный; D2 – спиралевидный; D3 – сетчатый**

По осям X, Y смена масла проблем не вызывает, а по оси Z, перпендикулярной плоскости X-Y, замена масла затруднена. Вследствие повышенного сопротивления протекания масла, повышаются требования к жесткости конструкции датчика, а также возникает временная задержка при считывании показаний. Для снятия затруднений

проточности масел по трем пространственным осям X-Y-Z существенные преимущества имеет сетчатый и в большей степени спиралевидный датчики.

У каждого ДВС есть регламентированное техническое обслуживание, когда всё моторное масло заменяется на новое. Рассмотрим двигатель «Дизель Д49». Он устанавливался в тепловозы «2ТЭ10МК».

Тепловозы семейства ТЭ10 выпускались более 50 лет с 1958 по 2007 годы, сначала на Харьковском тепловозостроительном заводе, затем выпуск продукции наладил Ворошиловградский завод транспортного машиностроения. Двухсекционные мощные тепловозы с успехом заменили паровозы, которые имели одиночную тягу. Усовершенствованные технические показатели локомотивов и их роль в развитии советского железнодорожного транспорта были отмечены правительством. Разработчики награждены дипломами и медалями. В 1981 году завод наладил выпуск локомотивов серии «2ТЭ10МК» – магистральный двухсекционный грузовой локомотив мощностью 3000 л.с [3].

На работу двигателя «Дизель Д49» уходит 300 литров масла: 225 литров в верхнем картере, 55 литров в нижнем картере и 20 литров отводится для труб и теплообменника [3].

Срок службы моторного масла марки M14B2 в данном двигателе составляет 30,000 км. Следовательно, после прохождения тепловозом данного расстояния требуется замена моторного масла. При использовании датчика контроля иммитансных характеристик можно отслеживать диэлектрические потери. На основании этих данных можно сделать вывод о целесообразности замены моторного масла.

Если рассматривать экономическую составляющую данного вопроса, то цена 1-го литра M14B2 около 2,3\$ (на декабрь 2021 года). Стоимость 300 литров масла соответственно будет 690\$. Не учитываем фильтра, работы по замене и утилизации отработанного масла. Если предположить, что данное моторное масло прослужит 32.000 км, то экономическая выгода составит около 6,7%. В денежном эквиваленте это около 48\$.

Подводя итоги, можно смело сказать, что при использовании датчика контроля иммитансных характеристик получить экономическую выгоду в обслуживании двигателей внутреннего сгорания не составит труда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Берко А.В. метод контроля моторных масел по параметрам термоокислительной стабильности и триботехническим характери-

стикам: Дис. Д-р. техн. наук: 05.11.13 [Место защиты ТПУ] – 2015 – 164 с.

2. Батурля И.В., Кузьмич А.И., Баранов В.В., Петрович В.А., Серенков В.Ю., Завацкий С.А., Фоменко Н.К., Ковальчук Н.С. Диэлектрические характеристики моторных масел для силовых агрегатов, измеряемые емкостными датчиками // Доклады БГУИР. – 2016, № 3 (97). – С. 103-106.

3. Тепловоз 2ТЭ10МК [Электронный ресурс] / Сайт Софрино-Электротранспорт. – 2021. – Режим доступа: <https://seltrans.ru/ru/blog/teplovoz-2te10mk> – Дата доступа: декабрь 2021 г.

4. Дмитренко И.В., Особенности конструкции, эксплуатации и обслуживания дизелей типа Д49: Методическое пособие для студентов специальности 1507 ”Локомотивы” для всех форм обучения / И.В. Дмитренко. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002. – 40 с.

УДК 004.1

Маг. В.С. Кантарович; доц. Н.И. Гурин  
(БГТУ, г. Минск)

## **ГЕНЕРИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОЧЕЧНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДРЕВОСТОЯ**

В работе рассматривается процедура моделирования процесса высадки саженцев на плоскости в древостоях естественного происхождения с учётом законов естественного лесовозобновления. При этом основная задача при визуализации размещения деревьев на заданной площади заключается в генерировании пространственного размещения множества точек на выбранном участке в некоторой области плоскости. Подразумевается, что точечный процесс однородный, т. е. вероятность того, что в некоторую область с площадью  $S$  попадёт ровно  $N$  точек, зависит от  $N$  и  $S$ , но не будет зависеть от самой области, её формы и положения на плоскости.

Существуют различные алгоритмы по генерированию пространственного размещения точечных структур на плоскости, которые используют различные статические и функциональные характеристики древостоя. В работе рассматривается и реализуется алгоритм генерирования размещения, который использует в качестве критерия функциональную характеристику в виде радиальной функции распределения  $g(r)$ , где  $r$  – расстояние между точками.

Радиальная функция распределения используется для проверки гипотезы о принадлежности рассматриваемого размещения к одному из типов: регулярное, случайное, контагиозное (групповое) и контагиозное размещение с внутригрупповой регулярностью.