

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПОВЫШЕННОГО ИЗНОСА ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО
ПРИЛОЖЕНИЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕГО МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ
ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА**

БУЛАВКА Ю. А., МЕЛЕШКО А. В.

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой

Аннотация. В работе представлен способ цифрового диагностирования предельного состояния моторного масла в двигателе внутреннего сгорания (ДВС). Внедрение приложения в повседневную жизнь автомобилистов позволит минимизировать аварийные ситуации на дорогах, позволит своевременно диагностировать поломки систем двигателя и получить экономический эффект при выборе сроков замены моторного масла в ДВС.

Ключевые слова. Моторное масло, экспресс диагностика, экспресс-тест, бумажная хромотография.

**MANAGING THE RISKS OF INCREASED WEAR OF INTERNAL COMBUSTION
ENGINE BY USING A MOBILE APPLICATION THAT MONITORS THE
CONDITION OF USED ENGINE OIL**

BULAVKA YU. A., MELESHKO A. V.

Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk

Abstract. The paper presents a method for digitally diagnosing the limiting state of motor oil in an internal combustion engine (ICE). The introduction of the application into the daily life of motorists will minimize emergency situations on the roads, allow timely diagnosis of engine system breakdowns and obtain an economic effect when choosing the timing of engine oil changes in ICE.

Keywords. Engine oil, express diagnostics, express-test, paper chromatography.

Работа моторных масел в процессе эксплуатации автомобиля – это сложный неконтролируемый физико-химический процесс, который включает в себя срабатывание присадок, их окисление, нагарообразование, лакообразование и др. Моторные масла, используемые в современных двигателях, должны отвечать всем предъявляемым

требования, которые с каждым годом ужесточаются, чтобы минимизировать аварийные ситуации на дорогах общего пользования и обеспечить заданный бесперебойный срок службы работы двигателя внутреннего сгорания.

Высококачественное товарное моторное масло изготавливают путем компаундирования базовых масел в комбинациях с остаточными компонентами и вовлечением до 17% масс. присадок, как правило – пакетов присадок различного функционального назначения [2].

Моторное масла выполняет ряд функций в ДВС, основная функция моторного масла – это снижение трения и износа трущихся деталей ДВС за счет создания на их поверхностях прочной масляной пленки. Не менее важными функциями моторного масла является возможность нейтрализации кислых соединений, образующихся в процессе сгорания топлива, и защита металлических поверхностей от коррозии [2].

При запуске и работе двигателя на поверхности деталей, а также между трущимися деталями масло должно находиться в виде тонкой пленки, которая обеспечивает легкий пуск двигателя при низкой температуре и эффективное смазывание при высокой [2]. Использование недостаточно качественного моторного масла или масла, которое эксплуатировалось в жестких условиях без своевременной замены приводит к появлению в камере сгорания отложений в виде нагара, лака и сажи.

Как правило производители моторных масел рекомендуют производить замену моторного масла в системе по истечению 1 года эксплуатации или определенного километража пробега. Однако, опытные автомобилисты производят замену отработанного моторного масла ориентируясь по моточасам работы двигателя, так как эксплуатация автомобиля по городу влияет на состояние масла в ДВС .

Периодичность замены отработанного моторного масла, в частности, зависит от характера эксплуатации автомобиля, его средней скорости и частоты поездок. Следовательно, это снижает точность определения сроков замены масла в ДВС ориентируясь на моточасы, и необходимо подобрать такой метод оценки отработанности моторного масла, который будет удовлетворять всем условиям.

Халатное отношение к своему автомобилю, а также несвоевременная диагностика моторного масла может привести к выходу из строя двигателя и значительным затратам на его восстановление и ремонт, а также провоцирование аварийных ситуаций и жертвы на автомобильных дорогах [2]. Использование доступных и малозатратных методов диагностики предельного состояния отработанного моторного масла позволит повысить срок службы трибосопряжений транспортного средства и увеличить межремонтный период.

Выбранным нами способом мониторинга степени отработанности моторного масла в двигателе внутреннего сгорания стал «Метод бумажной хроматографии капельной пробы моторного масла», который подвергся цифровизации, для упрощения использования и минимизации факторов субъективной оценки.

До внедрения мобильного приложения метод выглядел следующим образом. В ходе экспресс-диагностики по четырем характерным зонам капельной пробы рассчитываются коэффициенты моюще-диспергирующих свойств, коэффициент механических примесей, выполняется визуальная диагностика состояния пробы моторного масла, включающая в себя поэтапную оценку внешнего вида и размера зон и цвета, капли с шаблонами [4, 5]. Результаты капельных проб работавших в двигателе различных моторных масел представлены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Капельная проба масел, эксплуатируемых в разных условиях

Для испытания необходимы следующие реактивы и оборудование: пробы анализируемого масла; сушильный шкаф; плитка; стеклянный термостойкий стакан; стеклянная палочка; фильтровальная или обычная (не глянцевая) бумага; линейка.

Перед проведением капельного теста необходимо зарегистрировать текущую информацию: общий пробег автомобиля; марка используемого моторного масла и тип топлива (бензин, дизельное топливо); пробег с момента замены моторного масла.

В первую очередь необходимо прогреть двигатель до рабочей температуры до $+70\ldots90^{\circ}\text{C}$. Дать возможность постоять двигателю до 5…7 минут, чтобы масла стекло в картер. За это время необходимо подготовить чистый белый лист бумаги или фильтр.

Далее необходимо открыть крышку капота и с помощью щупа нанести 1…3 капли на лист бумаги или фильтр. После нанесения моторного масла на бумагу необходимо поместить лист в сухое чистое место и при $\approx 20^{\circ}\text{C}$ оставить образец в течение суток или поместить образец в сушильный шкаф при температуре $\approx 100^{\circ}\text{C}$ на ≈ 1 час до полного высыхания. Оценка качества моторного масла производится после полного высыхания пробы по форме и внешнему виду полученного в результате масляного пятна [4]. Далее необходимо визуально сопоставить распределение основных зон по площади растекания капли от центра к краю с изображением, приведенным на рисунке 2.

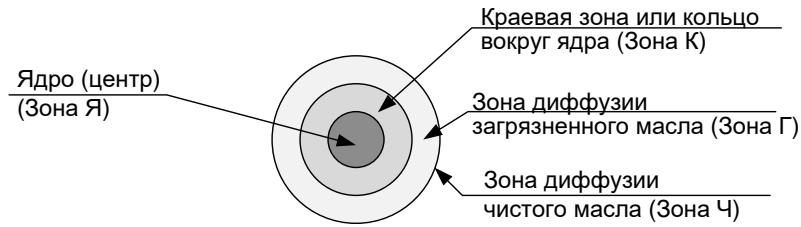


Рисунок 2 – Распределения основных зон растекания моторного масла

Капельный тест включает визуальную и численную диагностику для определения всех возможных характеристик. Численная диагностика состоит из вычисления коэффициента моюще-диспергирующих свойств и коэффициента механических примесей.

Коэффициент моюще-диспергирующих свойств моторного масла может определить двумя способами:

Способ 1. Коэффициент моюще-диспергирующих свойств (ДС) является численной характеристикой диспергирующей способности масла, выражен в условных единицах. Нормальным диапазоном является диапазон от 0,5 до 1,1 – это идеальное состояние, 0,5 – это нижняя граница нормы. В случае, если этот показатель снизился до 0,6, необходимо участить проведение капельных проб, т.к. моторное масло находится на пределе рабочего состояния. Если этот показатель составляет величину меньше либо равную 0,3, моторное масло отработанно и требует замены:

$$ДС = 1 - \frac{d^2}{D^2} \quad (1)$$

где d – диаметр окружности кольца, мм;

D – диаметр окружности зоны диффузии, мм.

Способ 2 (методика Хмелевой Н.М. и Пасечникова Н.С. [20]). Граничным значением коэффициента моюще-диспергирующих свойств (K_{MD}), считается является 1,65. Если расчетное значение получилось ниже этой величины, то высока вероятность образования в двигателе лаковых отложений:

$$K_{MD} = \frac{D}{d} \quad (2)$$

где d – диаметр окружности кольца, мм;

D – диаметр окружности зоны диффузии, мм.

Коэффициент механических примесей в моторном масле (методика Хмелевой Н.М. и Пасечникова Н.С. [1] определяется следующим образом.

Граничным значением коэффициента механических примесей ($K_{МПР}$) является величина 0,44. Если расчетное значение получилось ниже этой границы, то вероятно образование задиров на стенках цилиндров:

$$K_{МПР} = \frac{d_1}{d} \quad (3)$$

где d – диаметр окружности кольца, мм;

d_1 – диаметр окружности центра капли, мм.

При нормальных условиях эксплуатации масла должно иметь значение коэффициента механических примесей более 0,44. Если моторное масло израсходовало свой ресурс эксплуатации, то значение коэффициента механических примесей будет ниже 0,44. На капельной пробе выделяют четыре характерные зоны.

Первая зона (или Зона 1) – это центр капли моторного масла (см. рисунок 3). Первая зона – центр капли. Соответствует изначальному контуру капли до её дальнейшего растекания по листу бумаги. В этой зоне оседают тяжелые нерастворимые механические примеси в масле. d_1 обозначен диаметр края окружности центра капли.

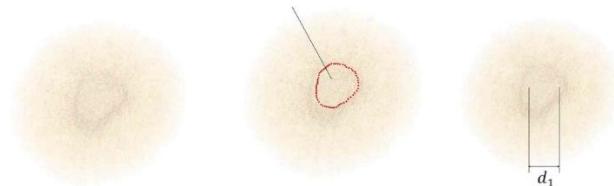


Рисунок 3 – Первая зона растекания капли

Вторая зона (или Зона 2) – это зона, которая окаймляет центр капли (см. рисунок 4). Вторая зона – кольцо темноватого цвета (оттенок зависит от количества моточасов, которое наработало масло), которое окаймляет центр капли. В этой зоне располагаются малорастворимые в масле органические примеси. Через d обозначим диаметр края окружности кольца.

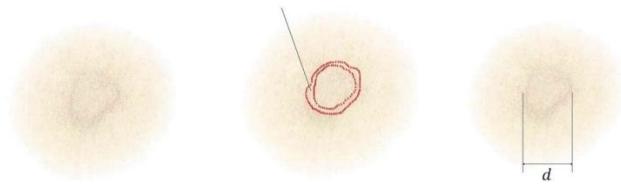


Рисунок 4 – Вторая зона растекания капли

Третья зона (или Зона 5) – это зона, которая находится за второй зоной (см. рисунок 6). Третья зона – обширная зона за второй зоной, обычно в диапазоне оттенков от желтого до сероватого цвета. Это зона диффузии через краевую зону масла с легкими

растворёнными органическими примесями. Через D обозначим диаметр края окружности зоны диффузии.

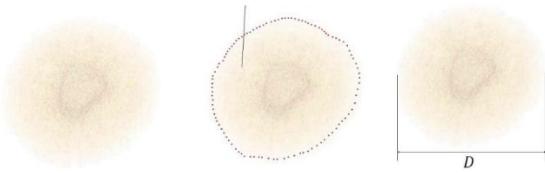


Рисунок 5 – Третья зона растекания капли

Четвертая зона – самое внешнее кольцо светлого тона. Это зона чистого масла. Присутствует не всегда в капельной пробе и в расчетах не участвует. После чистой зоны масла, в относительно редких случаях, может находиться еще одно кольцо – это бензин, присутствующий в масле. Это зона также не учитывается в расчетах.

Визуальная диагностика состояния пробы моторного масла включает в себя поэтапную оценку внешнего вида и размера зон, цвета капли с шаблонами. Определение состояния работавшего в двигателе моторного масла методом бумажной хроматографии заключается поэтапном анализе каждой зоны и классификации каждой зоны по цвету при сравнении с шаблонами для дизельного и бензинового двигателя представленными на рисунках 6 и 7 соответственно. После проведения всех диагностик расчета коэффициента моюще-диспергирующих свойств, коэффициента механических примесей, анализа и сопоставления с шаблонами четырех характерных зон капельной пробы делается вывод о качестве моторного масла, степени загрязненности и определяется возможность его дальнейшего использования или замены [1-5].

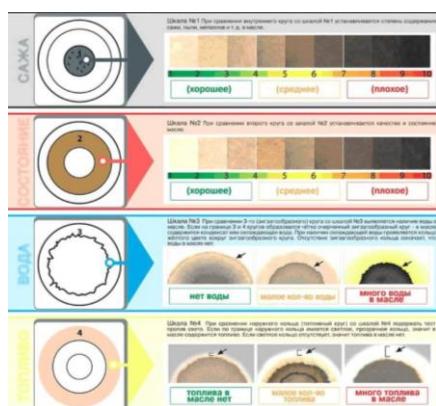


Рисунок 6 – Классификации зон по цвету для бензинового двигателя

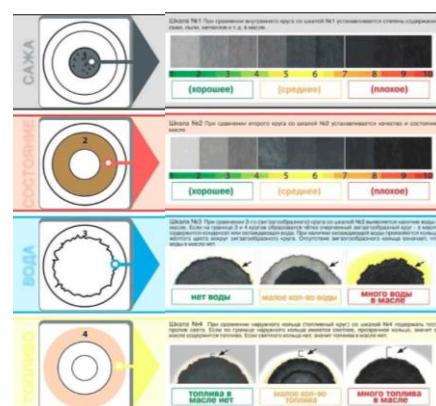


Рисунок 7 – Классификации зон по цвету для дизельного двигателя

В качестве объектов исследования выбраны образцы свежего и отработанного моторного масла, отобранные через каждые 2000 км пробега: образец синтетического масла используемый в смазывающей системе дизельного двигателя легкового автомобиля,

соответствующий классификациям: SAE 5W-40, API SL/CF, ACEA A3/B3. Автомобиль BMW e38 730D, двигатель m57, объем 3.0.

Результаты проведения экспресс-тестирования качества различных проб моторного масла используемого в дизельном ДВС представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 - Результат анализа моторного масла (дизельного ДВС) методом бумажной хроматографии

На рисунке 8 *а* видно, что капельная проба свежего моторного масла для дизельного двигателя характерных зон не имеет, ядро и другие зоны не сформировались, моторное масло чистое, механических примесей, воды и топлива нет, моюще-диспергирующие свойства масла сохранены.

На рисунке 8*б* видно, что на капельной пробе моторного масла для дизельного ДВС с пробегом 2000 км значение коэффициента моюще-диспергирующих свойств равно 2,71, что выше 1,65, т.е. вероятность лакообразования в двигателе минимальна. Значение коэффициента механических примесей составляет 0,82, что выше 0,44, т.е. вероятность образования задиров на стенках цилиндров минимальна. Значение коэффициента ДС составляет 0,86, что находится в допустимом диапазоне 0,5...1,1, т.е. диспергирующие свойства на хорошем уровне. По визуальной диагностике капельной пробы и сравнении с эталонной шкалой можно заключить, что воды и топлива в нем нет, масло относиться к категории «хорошее», возможно его дальнейшее использование.

На рисунке 8 *в*, значение коэффициента моюще-диспергирующих свойств 2,04, что выше 1,65, т.е. вероятность образования в двигателе лаковых отложений минимальна. Значение коэффициента механических примесей 0,76, что выше 0,44, т.е. вероятность образования задиров на стенках цилиндров минимальна. Значение коэффициента моюще-диспергирующих свойств 0,76 входит в допустимый диапазон 0,5...1,1, т.е. моюще-диспергирующие свойства моторного масла хорошие.

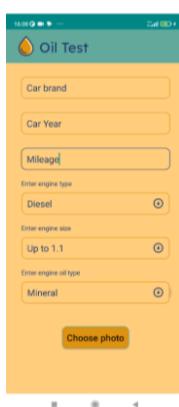
По содержанию сажи состояние «хорошее», состояние второго круга «среднее», вода в масле отсутствует, дизельного топлива в масле нет. Таким образом, рассмотренный образец пробы моторного масла с пробегом 4000 км не требует замены.

На рисунке 8 *г* видно, что на капельной пробе моторного масла для дизельного ДВС с пробегом 6000 км значение коэффициента моюще-диспергирующих свойств равно 1,09,

что ниже 1,65, т.е. высока вероятность образования в двигателе лаковых отложений. Значение коэффициента механических примесей составляет 0,76, что выше 0,44, т.е. вероятность образования задиров на стенках цилиндров минимальна. Значение коэффициента ДС составляет 0,37, что ниже допустимой величины 0,5, т.е. моторное масло утратило свои диспергирующие свойства и достигло своего предельного состояния. По визуальной диагностике капельной пробы и сравнении с эталонной шкалой можно заключить, что вода в масле присутствует, однако топлива в нем нет, масло относиться к категории «средне-плохое» и находится на пограничном стоянии, что говорит о необходимости его скорой замены.

На рисунке 9 *д* видно, что на капельной пробе моторного масла для дизельного ДВС с пробегом 8000 км. Значение коэффициента моюще-диспергирующих свойств равно 1,08, что ниже 1,65, т.е. высок риск лакообразования в двигателе. Значение коэффициента механических примесей составляет 0,65, что ниже 0,44, т.е. вероятность образования задиров на стенках цилиндров минимальна. Значение коэффициента ДС составляет 0,29, что ниже допустимой величины 0,5, т.е. моторное масло утратило свои диспергирующие свойства и требует замены. По визуальной диагностике капельной пробы и сравнении с эталонной шкалой можно заключить, что вода в масле присутствует, однако топлива в нем нет, масло относиться к категории «плохое» и требуется его замена.

Для того, чтобы исключить визуальную и числовую оценку степени сработанности масла нами разработан программный продукт в виде мобильного приложения на языке программирования Java с использованием нейронной сети Tensorflow и её машинного обучения в облачном сервисе Google Colab. Интерфейс мобильного приложения с преимуществами продукта приведен на рисунке 9.



Преимущества использования продукта:



Снижение рисков преждевременной поломки двигателя внутреннего сгорания или его узлов



Возможность отслеживания состояния масла в течение периода его использования



Получение экономического эффекта в случае продления сроков использования масла с достаточным запасом эксплуатационных свойств



Простота, малозатратность и эффективность метода

Рисунок 9 - Интерфейс мобильного приложения с преимуществами продукта

Мобильное приложение предназначено для диагностики состояния моторного масла в системе смазки двигателя внутреннего сгорания на базе методики бумажной хроматографии

по капельной пробе, выдает характеристику текущего состояния моторного масла и рекомендации о необходимости его замены.

Таким образом, эффективным методом диагностики предельного состояния моторного масла индивидуальными потребителями (автомобилистами) и транспортными компаниями является экспресс-анализ отработанного масла методом «бумажной хроматографии» интегрированным в мобильное приложение. Данный программный продукт имеет простой и интуитивно понятный интерфейс, хранит в своей базе эталонные шаблоны для диагностики, выполняет визуальное сканирование всех зон растекания и автоматизированный расчет коэффициентов, что во многом упрощает возможность использования данного программного продукта и, в конечном итоге, позволяет защитить ДВС от излишнего износа и преждевременных поломок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.С.201768 СССР, МПК 7 G01N 31/05. Оценки и выбраковки моторного масла по капельной пробе / Пасечников Н.С., Хмелева Н.М.
2. Анализ эффективности экспресс-тестов для определения срока замены отработанного моторного масла/ Ю.А. Булавка, А.В. Мелешко //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки, 2023 (1), С.100-107. doi.org/10.52928/2070-1616-2023-47-1-100-107
3. Использование метода капельной пробы для теоретического исследования изменения параметров моторного масла / О.В. Мяло, В.В. Мяло, Е.В. Демчук// Вестник Омского ГАУ. Процессы и машины агронженерных систем. – 2021. – №3. – с. 137-145
4. Способ экспресс-оценки рабочих свойств работающих моторных масел в полевых условиях методом "масляного пятна" // Патент России № RU2563206C1. 20.09.2015. / Дунаев А.В., Соловьев С.А.
5. Weismann, I.B. «Ein Öl kann vieles ab – aber so richtig sauer sollte es niemals werden!» // ÖlChecker. – Sommer 2011. – P. 5 – 7.