

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПРЕСС-ТЕСТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКА ЗАМЕНЫ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА

канд. техн. наук, доц. Ю.А. БУЛАВКА, А.В. МЕЛЕШКО
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

Проанализирована эффективность экспресс-тестов для контроля текущего состояния моторного масла в течение периода его эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания и определения предельного состояния отработанного моторного масла. Приведены результаты диагностики физико-химическими, реологическими и оптическими методами изменения состояния свежего моторного масла из системы смазки дизельного двигателя внутреннего сгорания через равные интервалы пробега. Предложен проект программного продукта в виде мобильного приложения для диагностики состояния моторного масла в системе смазки двигателя внутреннего сгорания на основе бумажной хроматографии по капельной пробе, который позволит определять индивидуальными автомобилистами необходимость замены отработанного моторного масла и, как следствие, повысит срок службы трибосопряжений автотранспортного средства и увеличит их межремонтный период.

Ключевые слова: отработанное моторное масло, двигатель внутреннего сгорания, экспресс-тест, диагностика состояния моторного масла, бумажная хроматография.

Введение. В настоящее время невозможно представить жизнь современного человека без автомобиля, почти каждый третий человек является владельцем транспортного средства, но не каждый задумывается, какие процессы протекают в двигателе внутреннего сгорания (ДВС). Для обеспечения плавности работы такой системы используют специальные смазывающие материалы – моторные масла^{1, 2, 3, 4} [1; 2].

Моторное масло является важной составляющей надежной, продолжительной и бесперебойной работы ДВС и применяется для снижения трения и износа контактируемых деталей двигателя, защиты от коррозии, вымывания и удаления накопившихся продуктов загрязнения и износа с трущихся поверхностей, охлаждения отдельных деталей. Высококачественное товарное моторное масло изготавливают путем компаундирования базовых масел в комбинациях с остаточными компонентами и вовлечением пакетов присадок различного функционального назначения [2].

Производители моторных масел рекомендуют производить замену отработанного моторного масла по истечению одного года эксплуатации или определенного километража поездок (от 7 000 до 15 000 км). Однако требуемая периодичность замены масла зависит от характера эксплуатации автомобиля, его средней скорости и частоты поездок, поэтому опытные автомобилисты производят замену отработанного моторного масла, ориентируясь не на пробег двигателя по спидометру, а по моточасам (МЧ) работы двигателя (для синтетических масел через 300...350 МЧ; полусинтетических – через 200...300 МЧ; минеральных – через 170...200 МЧ), т.к. эксплуатация автомобиля по городу (частое стояние в пробках) существенно влияет на состояние масла в двигателе и его степень отработанности. Вместе с тем данный метод определения срока замены моторного масла не учитывает индивидуальных особенностей режимов и условий эксплуатации двигателя, что может привести как к преждевременной замене масла с еще достаточным запасом эксплуатационных свойств, так и преждевременному «старению» масла, износу сопряженных деталей^{1, 5} [3–5].

¹ Мелешко А.В., Булавка Ю.А. Экспресс-методы определения срока замены отработанного моторного масла [Электронный ресурс] // Электрон. сб. тр. молодых специалистов Полоц. гос. ун-та им. Евфросинии Полоцкой. – 2022. – Вып. 45 (115). Промышленность. – С. 133–136. URL: https://journals.psu.by/specialists_industry/article/view/2634/2386

² Синтез и исследование свойств смазочных композиций на основе отходов производства полиэтилена, отработанных масел и побочных продуктов масляного производства / С.В. Покровская, Ю.А. Булавка, Е.В. Юревич // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: Материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф. / Минск (23–24 нояб. 2011 г.). – Минск: БГТУ, 2011. – С. 230–233.

³ Мелешко А.В., Булавка Ю.А. Влияние основы для синтеза моюще-диспергирующей присадки (синтетических либо дистиллятных линейных алкилбензолсульфоновых кислот) на показатели качества продукта // Электрон. сб. тр. молодых специалистов Полоц. гос. ун-та им. Евфросинии Полоцкой. – 2022. – Вып. 45 (115). Промышленность. – С. 137–140. URL: https://journals.psu.by/specialists_industry/article/view/2635/2387

⁴ Мелешко А.В., Булавка Ю.А. Обзор методов определения степени окисления моторного масла // Электрон. сб. тр. молодых специалистов Полоц. гос. ун-та им. Евфросинии Полоцкой. – 2022. – Вып. 45 (115). Промышленность. – С. 141–144. URL: https://journals.psu.by/specialists_industry/article/view/2636/2388

⁵ Периодичность замены моторного масла с учетом условий эксплуатации автомобилей в современных условиях / Д.А. Попов, А.М. Кадырметов, Н.А. Горячев и др. // Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий: Материалы Всерос. науч.-техн. конф. / Воронеж (18 окт. 2021 г.) – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 19–22. DOI:10.34220/PRTOPT2021_19-22

Во время работы ДВС моторное масло подвергается воздействию высоких температур, интенсивно окисляется, обводняется и насыщается несгоревшим топливом; происходит накопление продуктов окисления и неполного сгорания топлива: сажи, нагара и лака; присадки начинают разлагаться и перестают нейтрализовать образующиеся кислоты и диспергировать слипающиеся шламовые соединения, что приводит к развитию коррозии и интенсивному износу узлов трения. Последствиями несвоевременной замены масла можно назвать перегрев мотора, увеличение нагрузки и сокращение его ресурса, перерасход топлива, повреждение элементов турбокомпрессора, коррозию деталей двигателя, проворот шатунных вкладышей, забивание масляных каналов продуктами сгорания и износа и в целом преждевременный износ важных систем ДВС [2; 6].

Актуальной задачей является исследование методик промежуточного анализа и диагностики состояния моторного масла с целью определения возможности продления его эксплуатации.

Основная часть. Показатели достижения предельного состояния моторного масла по изменению эксплуатационных свойств в настоящее время контролируют в лабораторных условиях с использованием специализированного оборудования и реактивов, стандартизированных методов анализа: фотометрических, фотоколориметрических, оптоэлектронных, спектроскопических, химикоспектральных, потенциометрических, аналитических и пр. [7–18]. Для проведения данных анализов необходимо дорогостоящее лабораторное оборудование и реактивы, обученный персонал, что ограничивает возможность использования данных методов диагностики для индивидуального потребителя (автомобилиста) и транспортных компаний. Использование индивидуальными потребителями доступных и малозатратных методов диагностики предельного состояния отработанного моторного масла позволит повысить срок службы трибосопряжений транспортного средства и увеличить межремонтный период.

Методы исследований. Выполнена диагностика состояния синтетического моторного масла, используемого в смазывающей системе дизельного двигателя легкового автомобиля BMW e38 730D с объемом двигателя 3.0, соответствующего классификациям SAE 5W-40, API SL/CF, ACEA A3/B3 (свежее и отработанное из системы смазки двигателя, через равные интервалы пробега) различными методами: оптическими (по показателю преломления и коэффициенту светопропускания), реологическими (по плотности, вязкости и индексу вязкости), физико-химическим (по кислотному числу), физическим (метод бумажной хроматографии по капельной пробе).

Результаты и их обсуждение. Для оценки качества исследуемых образцов моторного масла оптическими методами в лабораторных условиях выполнено определение показателя преломления и коэффициента светопропускания. Показатель преломления определяли по ГОСТ 28869-90 при помощи рефрактометра Rudolph Research Analytical марки J-257. Степень светопропускания определяли на фотоэлектроколориметре КФК-3, который предназначен для определения коэффициента светопропускания растворов в диапазоне длин волн 315–980 нм. На рисунке 1 приведена зависимость изменения показателя преломления различных проб моторного масла от пробега автомобиля. Результаты определения коэффициента светопропускания представлены в таблице 1.

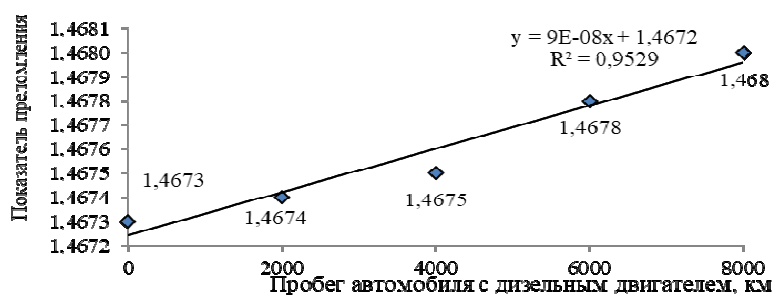


Рисунок 1. – Зависимость изменения показателя преломления проб моторного масла от пробега автомобиля

Таблица 1. – Коэффициент светопропускания моторного масла в дизельном двигателе внутреннего сгорания

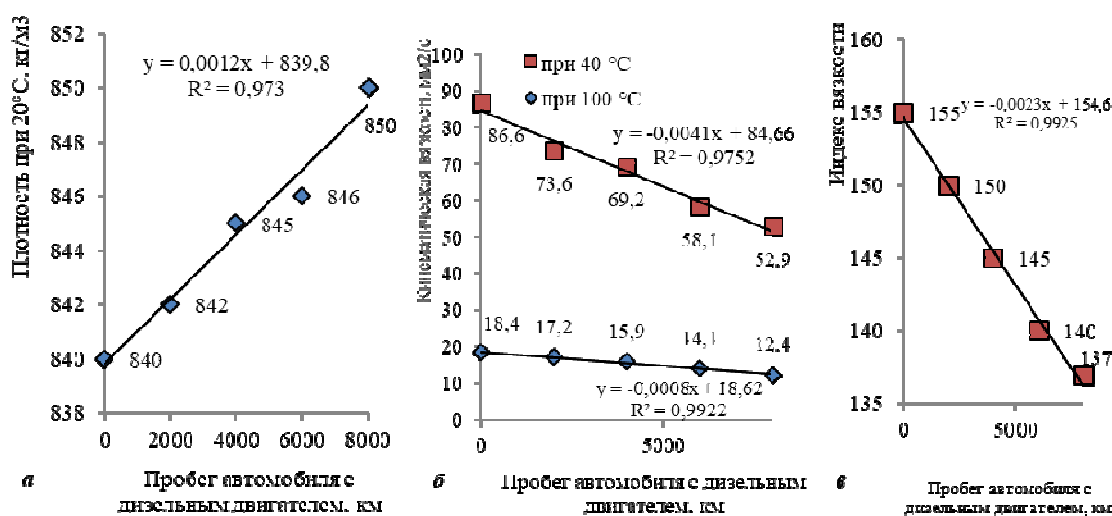
Показатель	Свежее масло	Работавшее в ДВС масло с пробегом, км			
		2000	4000	6000	8000
Коэффициент светопропускания, %	100,00	3,25	0,13	0,06	0,01

Показатель преломления приближенно позволяет судить о преобладании отдельных групп углеводородов в пробе. Согласно результатам анализа изменения показателя преломления различных проб моторного масла от пробега автомобиля, происходит линейное увеличение значения показателя преломления при росте пробега автомобиля, что обусловлено возрастанием содержания сажи, продуктов окисления термического и термохимического разложения углеводородов и присадок в пробах масла. Результаты определения светопропускания моторных масел показали, что с увеличением километража пробега ДВС значительно снижается прозрачность моторных масел. При пробеге более 6000 км работавшие в ДВС моторные масла не пропускают свет из-за

накопления продуктов износа, окисления, испарения, термического и термоокислительного разложения углеводородов и присадок, загрязнения масла продуктами сгорания топлива, в т.ч. углеродистыми частицами (сажей), пылью, продуктами износа.

Таким образом, оптические методы является достаточно эффективными для диагностики предельного состояния масла индивидуальными потребителями и могут служить дополнительными индикаторами замены отработанного моторного масла, однако данные методы требует специального дорогостоящего поверенного лабораторного оборудования и специально обученный персонал.

Для оценки качества исследуемых образцов моторного масла реологическими методами выполнено определение плотности и кинематической вязкости, а также расчет индекса вязкости. Плотность проб масла определяли в лаборатории по ГОСТ 3900-85 при помощи набора ареометров при 20 °С. Кинематическую вязкость проб масла определяли по ГОСТ 33-2016 при температурах 40 и 100 °С при помощи калиброванного стеклянного вискозиметра Пинкевича. В соответствии с ГОСТ 25371-97 выполнен расчет индекса вязкости моторных масел по двум значениям кинематической вязкости, определенным при температурах 40 и 100 °С, расчет выполнен по методу В для нефтепродуктов с индексом вязкости от 100 и выше. На рисунке 2 приведены зависимости изменения реологических свойств различных проб моторного масла от пробега автомобиля.



а – плотность при 20 °С; б – кинематическая вязкость при 40 и 100 °С; в – индекс вязкости

Рисунок 2. – Зависимости изменения реологических свойств различных проб моторного масла от пробега автомобиля

Результаты анализа изменения плотности различных проб моторного масла от пробега автомобиля показали, что происходит линейное увеличение этого показателя при росте пробега автомобиля, что обусловлено возрастанием количества воды, продуктов уплотнения, износа, окисления и разложения масла и присадок, механических примесей, сажи, а также изменением углеводородного состава масла.

По результатам анализа изменения кинематической вязкости и индекса вязкости различных проб моторного масла от пробега автомобиля видно, что происходит линейное снижение данных показателей при росте пробега автомобиля, что обусловлено обводнением масла в результате конденсации воды и газов, прорывающихся в картер, и разжижения масла топливом и продуктами его сгорания. Следует отметить, что надежная смазка трущихся деталей ДВС в широком интервале температур напрямую зависит от степени изменения вязкости с повышением температуры. В связи с этим для поддержания высокого уровня работоспособности ДВС значение индекса вязкости моторного масла должно оставаться на постоянном уровне в процессе работы. Значительное отклонение индекса вязкости работающего масла от свежего показывает достижение его предельного состояния и необходимость его замены. Снижение индекса вязкости более чем на 50% по сравнению со свежим маслом обнаруживает полное несоответствие масла химмотологическим требованиям. Такое масло не способно обеспечить минимальные потери энергии на перемешивание и преодоление внутреннего трения, беспрепятственное прокачивание масла насосом по смазочной системе. Разжиженное и обводненное масло не даст достаточную вязкость, чтобы поддержать режим трения со смазкой, гарантирующий реализацию нормального изнашивания и отсутствия повреждения поверхностей трения, а также низкий уровень утечек через уплотнения при повышенных температурах.

В целом реологические методы являются достаточно эффективными для диагностики предельного состояния масла. При этом используются недорогие, доступные измерительные приборы: ареометры, вискозиметры, однако требуется поддержание постоянных температур для проведения испытания, специальных навыков работы с математическими выкладками для определения расчетных параметров, что может затруднить постоянное использование данных методов индивидуальным потребителем.

Для оценки качества исследуемых образцов моторного масла физико-химическим методом выполнено определение кислотного числа в лаборатории по ГОСТ 5985-79 путем титрования кислых соединений испытуемого продукта 0,05 н спиртовым раствором гидроксида калия в присутствии цветного индикатора. Результаты определения кислотного числа представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Кислотное число моторного масла в дизельном двигателе внутреннего сгорания

Показатель	Свежее масло	Работавшее в ДВС масло с пробегом, км			
		2000	4000	6000	8000
Кислотное число, мг КОН/г	0,0239	0,0397	0,0417	0,0534	–*

Примечание: * образец непрозрачен, нет возможности зафиксировать момент изменения цвета отработанного моторного масла.

Результаты анализа показали, что происходит линейное увеличение кислотного числа при росте пробега автомобиля, что обусловлено интенсификацией процессов окисления и разложения масла, срабатыванием присадок, в т.ч. моюще-диспергирующих, основная функция которых – нейтрализация кислых соединений, которые образуются в результате сгорания топлива и окисления масла.

Чем меньше абсолютное значение кислотного и выше щелочное число масла, тем лучше рабочие характеристики масла в ДВС и больше ресурс его возможной эксплуатации. Интенсивные процессы окисления и термохимического разложения масла при работе двигателя, обводнение масла в результате конденсации воды и газов, прорывающихся в картер, разжижение масла топливом и продуктами его сгорания из-за неисправностей топливного насоса высокого давления, форсунок, нарушения герметичности системы подвода топлива или длительной работы на режиме холостого хода приводят к «срабатыванию» моющих присадок и их преждевременному старению. Моюще-диспергирующие присадки по своей щелочности (основности) классифицируются на нейтральные, среднещелочные, высокощелочные и сверхщелочные. У нейтральных сульфонатов кальция щелочное число не превышает 30 мг КОН/г, у среднещелочных изменяется в диапазоне от 70 до 150 мг КОН/г, у высокощелочных – от 150 до 300 мг КОН/г, у сверхщелочных – от 300 до 500 мг КОН/г [1]. Чем выше щелочное число сульфонатных присадок и, в частности, сульфоната кальция, тем больший запас основности будет у моющей присадки, и данный параметр может эффективно применяться как диагностический индикатор степени старения моторного масла при его эксплуатации в ДВС. Таким образом, физико-химические методы, в частности, анализ кислотного и щелочного чисел, являются достаточно эффективными для диагностики предельного состояния масла, однако классическое титрование в присутствии цветного индикатора может быть неэффективно из-за непрозрачности образцов при достижении определенного значения пробега, что не позволяет зафиксировать момент изменения цвета отработанного моторного масла. Но данный недостаток может быть устранен применением более затратного метода – потенциметрического титрования.

Контроль состояния работавшего в двигателе моторного масла выполнили методом бумажной хроматографии по капельной пробе, разработанным в 1948 г. специалистами фирмы Шелл [17; 18]. Подготовка капельной пробы осуществляется следующим образом: после прогрева ДВС автомобиля до рабочей температуры 90 °С достается шуп, и разогретое масло наносится на фильтр (пористую белую бумагу), размещенную горизонтально на непьющим материале. После нанесения образца на фильтр проба высушивается при комнатной температуре в течение суток или при температуре 100 °С не менее 1 ч в сушильном шкафу. Образец пробы моторного масла с пробегом 4000 км приведен на рисунке 3.



Рисунок 3. – Капельная проба моторного масла в дизельном ДВС с пробегом 4000 км

Далее необходимо на капельной пробе визуально сопоставить распределение основных зон (ядро, краевая зона (кольцо вокруг ядра), зоны диффузии загрязненного и чистого масел) по площади растекания капли от центра к краю. В ходе экспресс-диагностики по четырем характерным зонам капельной пробы рассчитываются коэффициенты моюще-диспергирующих свойств, коэффициент механических примесей, выполняется визуальная диагностика состояния моторного масла, включающая в себя поэтапную оценку внешнего вида и размера зон и цвета капли с шаблонами [17; 18]

Коэффициент моюще-диспергирующих свойств моторного масла определяют двумя способами.

Способ 1. Коэффициент моюще-диспергирующих свойств (ДС) является численной характеристикой диспергирующей способности масла и выражен в условных единицах. Нормальным диапазоном является диапазон

от 0,5 до 1,1. В случае если этот показатель снизился до 0,6, моторное масло находится на пределе рабочего состояния. Если этот показатель составляет величину меньше либо равную 0,3, моторное масло отработано и требует замены⁶:

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

где d – диаметр окружности кольца, мм; D – диаметр окружности зоны диффузии, мм.

Способ 2 (по методике Н.М. Хмелевой и Н.С. Пасечникова)⁶. Граничным значением коэффициента моюще-диспергирующих свойств ($K_{МД}$), является значение 1,65. Если расчетное значение ниже этой величины, то высока вероятность образования в двигателе лаковых отложений:

$$K_{МД} = \frac{D}{d}. \quad (1)$$

К примеру, для пробы масла, приведенной на рисунке 3, значение коэффициента моюще-диспергирующих свойств $K_{МД} = 2,04$, что выше 1,65, т.е. вероятность образования в двигателе лаковых отложений минимальна. Значение коэффициента моюще-диспергирующих свойств $ДС = 0,76$ входит в допустимый диапазон 0,5...1,1, т.е. моюще-диспергирующие свойства моторного масла хорошие.

Коэффициент механических примесей в моторном масле (по методике Н.М. Хмелевой и Н.С. Пасечникова)⁶ определяется по формуле

$$K_{МПР} = \frac{d_1}{d}, \quad (1)$$

где d_1 – диаметр окружности центра капли, мм

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. Если моторное масло израсходовало свой ресурс эксплуатации, то значение коэффициента механических примесей будет ниже 0,44. К примеру, для пробы масла, приведенной на рисунке 3, значение коэффициента механических примесей $K_{МПР} = 0,76$, что выше 0,44, т.е. вероятность образования задиров на стенках цилиндров минимальна.

После расчетов коэффициентов по формулам (1)–(3) рекомендуется выполнять визуальную диагностику состояния пробы моторного масла, включающую в себя поэтапную оценку внешнего вида и размера зон и цвета капли с шаблонами⁶, приведенными на рисунке 4.

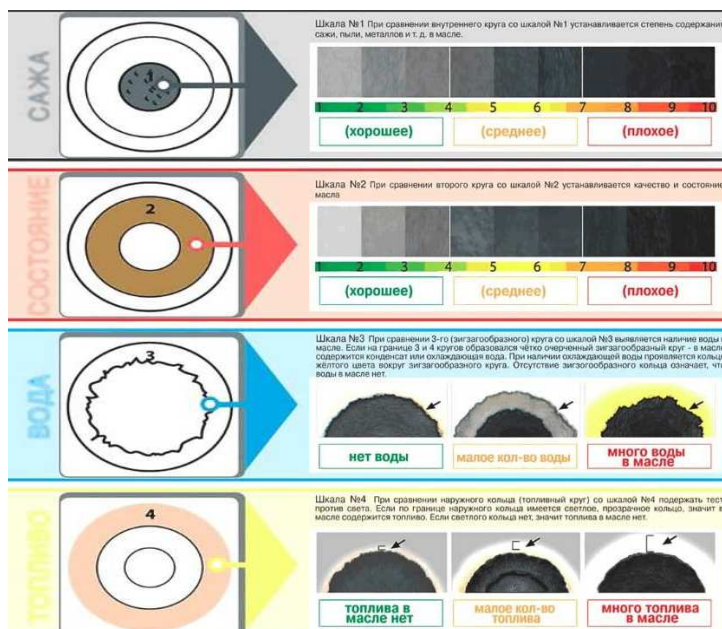


Рисунок 4. – Шаблон для классификации зон растекания по цвету для дизельного двигателя

⁶ Мелешко А.В., Булавка Ю.А. Экспресс-методы определения срока замены отработанного моторного масла [Электронный ресурс] // Электрон. сб. тр. молодых специалистов Полоц. гос. ун-та им. Евфросинии Полоцкой. – 2022. – Вып. 45 (115). Промышленность. – С. 133–136. URL: https://journals.psu.by/specialists_industry/article/view/2634/2386

Для пробы масла, приведенной на рисунке 3, по содержанию сажи по шкале 1 рисунка 4, состояние «хорошее», состояние второго круга по шкале 2 рисунка 4 – «среднее», по шкале 3 рисунка 4 – вода отсутствует, по шкале 4 рисунка 4 – дизельного топлива в масле нет. Таким образом, согласно результатам бумажной хроматографии рассмотренный образец масла с пробегом 4000 км не требует замены.

На рисунке 5 приведены результаты капельной пробы моторного масла работавшего в дизельном ДВС с различным пробегом.

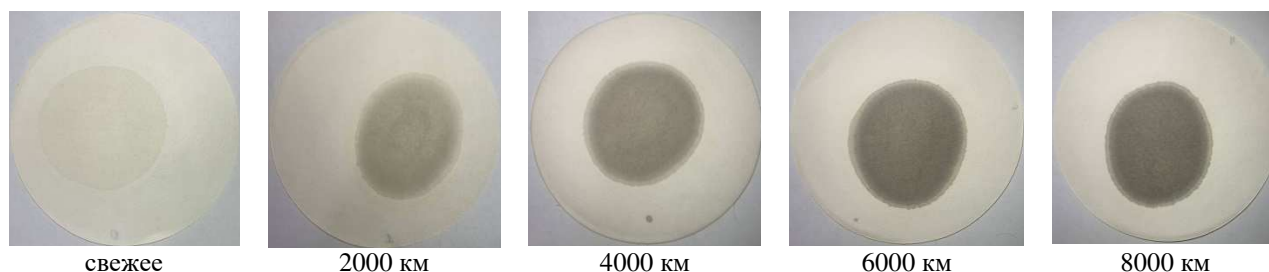


Рисунок 5. – Результаты экспресс-тестов по капельной пробе различных проб масла

По визуальной диагностике капельной пробы масла для ДВС видно:

- свежее: характерных зон не имеет; ядро и другие зоны не сформировались; масло чистое, механических примесей, воды и топлива нет; моюще-диспергирующие свойства масла высокие;
- с пробегом 2000 км: воды и топлива в нем нет; масло относится к категории «хорошее»; возможно его дальнейшее использование;
- с пробегом 6000 км: вода в масле присутствует, однако топлива в нем нет; масло относится к категории «среднеплохое» и находится на пограничном стоянии, что говорит о необходимости его скорой замены;
- с пробегом 8000 км: вода в масле присутствует, однако топлива в нем нет; масло относится к категории «плохое» и требуется его замена.

Экспресс-метод оценки качества моторного масла бумажной хроматографии по капельной пробе является и эффективным, и информативным и может использоваться индивидуальными потребителями, однако сложность и длительность расчетов коэффициентов, субъективизм при визуальной оценке в сравнении с эталонными шаблонами обуславливают необходимость разработки унифицированного программного продукта для повышения достоверности экспресс диагностики состояния моторного масла.

Нами предложен проект программного продукта в виде мобильного приложения с использованием нейронной сети, который позволит хранить эталонные шаблоны для сравнительной оценки, выполнять визуальное сканирование всех зон растекания и автоматизированный расчет коэффициентов. Мобильное приложение выдаст характеристику текущего состояния моторного масла и рекомендации о необходимости его замены.

Заключение. Изучены и апробированы процедуры проведения экспресс-диагностики состояния моторного масла в системе смазки двигателя различными методами: физическим (метод бумажной хроматографии по капельной пробе), реологическими (по плотности, вязкости и индексу вязкости), оптическими (по показателю преломления и коэффициенту светопропускания), физико-химическим (по кислотному числу). Определено, что наиболее оптимальным по технико-экономическим показателям для индивидуальных потребителей методом диагностики предельного состояния моторного масла является экспресс-анализ масла с помощью бумажной хроматографии по капельной пробе. Для более широкого внедрения данного метода в повседневную жизнь автомобилистов требуется разработка программного продукта в виде мобильного приложения, использование которого позволит своевременно заменять отработанное масло и тем самым защитить ДВС автомобиля от излишнего износа и преждевременных поломок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние температуры карбонатации на качество высокощелочных сульфонов / А.В. Мелешко, П.Ф. Гришин, Д.А. Добровольский и др. // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2022. – № 10. – С. 128–135.
2. Применение регенерированного отработанного моторного масла и органического отгона шлама в производстве мыльных и углеводородных пластичных смазок / С.В. Покровская, Ю.А. Булавка, А.И. Богданович и др. // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2012. – № 11. – С. 104–108.
3. Суфиянов Р.Ш. Периодичность замены моторных масел // Colloquium-Journal. – 2019. – № 6-2 (30). – С. 62–63.
4. Синявский, Н.Я., Иванов, А.М., Кострикова Н.А. Анализ частиц продуктов износа в отработанных судовых моторных маслах // Мор. интеллект. технологии. – 2021. – № 4-4 (54). – С. 44–48.
5. Cleaning of semi-synthetic used motor oils / M.Zh. Almagambetova, G.M. Adyrova, N.B. Adilova et al. // Символ науки. Сер. Хим. науки. – 2017. – № 04-3. – С. 8–10.
6. Покровская С.В. Булавка Ю.А. Технология переработки нефти и газа. Процессы производства смазочных материалов. – Новополоцк: ПГУ, 2011. – 115 с.

7. Ramazanova Y.B. Lubricating compositions for supercharged and unsupercharged high-performance diesel engines // *Chemical problems*. – 2019. – № 2 (17). – P. 282–290.
8. Rawashdeh M.O., Fayyad S.M., Awwad A.S. Testing Engine Oil Specifications and Properties and its Effects on the Engines Maintenance and Performance // *Wseas Transactions on Fluid Mechanics*. – June, 2020. – P. 140–148.
9. Zadorozhnaya E., Levanov I., Oskina O. Study of HTHS Viscosity of Modern Motor Oils // *Procedia Engineering*. – 2016. – (150). – P. 602–606. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.051
10. Kowalski B.I., Abasin D.D., Petrov O.N. Method of Control the Effect of Temperature for the Oxidation Process of Partially Synthetic Motor Oils // *Procedia Engineering*. – 2016. – (150). – P. 480–485. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.021
11. Tribological evaluation of passenger car engine oil: Effect of friction modifiers / M.K. Dubey, R. Chaudhary, R. Emmandi et al. // *Results in Engineering*. – 2022. – Vol. 16. – P. 1–19. DOI: 10.1016/j.rineng.2022.100727
12. Nurul Waheeda binti Abdu Rahman, Mohd Aizudin bin Abd Aziz The effects of additives on anti-wear properties of lubricating grease formulated from waste engine oil // *Egyptian Journal of Petroleum*. – 2022. – Vol. 31, Iss. 3. – P. 71–76. DOI: 10.1016/j.ejpe.2022.07.002
13. Утаев С.А., Йигиталиев И. Исследование срабатывания и непрерывного ввода присадок к маслам газодвигателей // *Соврем. материалы, техника и технологии*. – 2018. – № 3 (18). – С. 55–60.
14. Чикунова А.С., Вершинин В.И. Определение щелочного числа моторного масла методом потенциометрического титрования // *Завод. лаборатория. Диагностика материалов*. – 2020. – Т. 86. – № 11. – С. 5–12.
15. Analyses of used engine oils via atomic spectroscopy – Influence of sample pre-treatment and machine learning for engine type classification and lifetime assessment / R. Grimmig, S. Lindner, Ph. Gillemot et al. // *Talanta*. – 2021. – Vol. 232. – P. 1–15. DOI: 10.1016/j.talanta.2021.122431
16. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях / В.И. Верещагин, В.С. Янович, Б.И. Ковальский и др. – Красноярск: СФУ, 2017. – 208 с.
17. Дунаев А.В. Экспресс-контроль масла для снижения износов и предотвращения аварий моторов // *Горн. информ. – аналит. бюл. Сер. Хим. технологии*. – 2009. – Т. 16, № 12. – С. 420–428.
18. Мяло О.В., Мяло В.В., Демчук Е.В. Использование метода капельной пробы для теоретического исследования изменения параметров моторного масла // *Вестн. Ом. ГАУ. Процессы и машины агроинженерных систем*. – 2021. – № 3. – С. 137–145.

REFERENCES

1. Meleshko, A.V., Grishin, P.F., Dobrovolskii, D.A. & Spiridonov, A.V. (2022). Vliyanie temperatury karbonatatsii na kachestvo vysokoshchelochnykh sul'fonatov [Influence of carbonation temperature on the quality of high-alkaline sulfonates]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Science]*, (10), 128–135. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Pokrovskaya, S.V., Bulavka, Yu.A., Bogdanovich, A.I. & Zubova, A.V. (2012). Primenenie regenerirovannogo otrabotannogo motornogo masla i organicheskogo otgona shlama v proizvodstve myl'nykh i uglevodorodnykh plastichnykh smazok [The use of regenerated used motor oil and organic sludge removal in the production of soap and hydrocarbon greases]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B, Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of the Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Science]*, (11), 104–108. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Sufiyarov, R.Sh. (2019). Periodichnost' zameny motornykh masel [The frequency of replacement of motor oils]. *Colloquium-Journal [Colloquium-Journal]*, 6-2 (30), 62–63. (In Russ., abstr. in Engl.)
4. Sinyavskii, N.Ya., Ivanov, A.M. & Kostrikova, N.A. (2021). Analiz chastits produktov iznosa v otrabotannykh sudovykh motornykh maslakh [Analysis of particles of wear products in waste marine motor oils]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii [Marine Intelligent Technologies]*, 4-4 (54), 44–48. (In Russ., abstr. in Engl.)
5. Almagambetova, M.Zh., Adyrova, G.M., Adilova, N.B. & Chernov, A.A. (2017). Cleaning of semi-synthetic used motor oils. *Simvol nauki. Seriya Khimicheskie nauki [Science symbol. Series Chemical Sciences]*, (04-3), 8–10. (In Russ., abstr. in Engl.)
6. Pokrovskaya, S.V. & Bulavka, Yu.A. (2011). *Tekhnologiya pererabotki nefi i gaza. Protsessy proizvodstva smazochnykh materialov*. Novopolotsk: PGU. (In Russ.)
7. Ramazanova, Y.B. (2019). Lubricating compositions for supercharged and unsupercharged high-performance diesel engines. *Chemical problems*, 2 (17), 282–290.
8. Rawashdeh, M.O., Fayyad, S.M. & Awwad, A.S. (2020). Testing Engine Oil Specifications and Properties and its Effects on the Engines Maintenance and Performance. *Wseas Transactions on Fluid Mechanics*, (June), 140–148. DOI:10.37394/232013.2020.15.14
9. Zadorozhnaya, E., Levanov, I. & Oskina, O. (2016). Study of HTHS Viscosity of Modern Motor Oils. *Procedia Engineering*, (150), 602–606. DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.051
10. Kowalski, B.I., Abasin, D.D. & Petrov, O.N. (2016). Method of Control the Effect of Temperature for the Oxidation Process of Partially Synthetic Motor Oils. *Procedia Engineering*, (150), 480–485. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.021
11. Dubey, M.K., Chaudhary, R., Emmandi, R., Seth, S., Mahapatra, R., Harinarain, A.K. & Ramakumar, S.S.V. (2022). Tribological evaluation of passenger car engine oil: Effect of friction modifiers. *Results in Engineering*, (16), 1–19. DOI: 10.1016/j.rineng.2022.100727
12. Nurul Waheeda binti Abdu Rahman & Mohd Aizudin bin Abd Aziz. (2022). The effects of additives on anti-wear properties of lubricating grease formulated from waste engine oil. *Egyptian Journal of Petroleum*, 31 (3), 71–76. DOI: 10.1016/j.ejpe.2022.07.002
13. Utaev, S.A. & Iigitaliev, I. (2018). Issledovanie srabatyvaniya i nepreryvnogo vvoda prisadok k maslam gazodvigateli [Investigation of actuation and continuous input of additives to gas engine oils]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii [Modern materials, equipment and technologies]*, 3 (18), 55–60. (In Russ., abstr. in Engl.)

14. Chikunova, A.S. & Vershinin, V.I. (2020). Opredelenie shchelochного chisla motornого masla metodom potentsiometricheskogo titrovaniya [Determination of base number of motor oil by potentiometric titration]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Factory laboratory. material diagnostics]*, 86 (11), 5–12. (In Russ., abstr. in Engl.)
15. Grimmig, R., Lindner, S., Gillemot, Ph., Winkler, M. & Witzleben, S. (2021). Analyses of used engine oils via atomic spectroscopy – Influence of sample pre-treatment and machine learning for engine type classification and lifetime assessment // *Talanta*. – 2021. – Vol. 232. – P. 1–15. DOI: 10.1016/j.talanta.2021.122431
16. Vereshchagin, V.I., Yanovich, V.S., Koval'skii, B.I., Bezborodov, Yu.N. & Ganzha, V.A. (2017). Metody kontrolya i rezul'taty issledovaniya sostoyaniya transmissionnykh i motornykh masel pri ikh okislenii i tribotekhnicheskikh ispytaniyakh. Krasnoyarsk: SFU. (In Russ.)
17. Dunaev, A.V. (2009). Ekspress-kontrol' masla dlya snizheniya iznosov i predotvrashcheniya avarii motorov [Express control of oil to reduce wear and prevent accidents of motors]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. Seriya Khimicheskie tekhnologii [Mining information and analytical bulletin. Series Chemical Technologies]*, 16 (12), 420–428. (In Russ., abstr. in Engl.)
18. Myalo, O.V., Myalo, V.V. & Demchuk, E.V. (2021). Ispol'zovanie metoda kapel'noi proby dlya teoreticheskogo issledovaniya izmeneniya parametrov motornого masla [Using the drop test method for the theoretical study of changes in the parameters of motor oil]. *Vestnik Omskogo GAU. Protsessy i mashiny agroinzhenernykh sistem [Bulletin of the Omsk State Agrarian University. Processes and machines of agro-engineering systems]*, (3), 137–145. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 16.12.2022

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF RAPID-TESTS TO DETERMINE THE TIME TO REPLACE USED ENGINE OIL

Y. BULAUKA, A. MIALESHKA
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

The article presents the results of the analysis of the effectiveness of express tests for monitoring the current state of engine oil during the period of its operation in an internal combustion engine and determining the limit state of used engine oil. The results of diagnostics by physicochemical, rheological and optical methods of changing the state of fresh motor oil from the lubrication system of a diesel internal combustion engine at regular mileage intervals are presented. A software product project is proposed in the form of a mobile application for diagnosing the state of engine oil in the lubrication system of an internal combustion engine based on paper chromatography using a drop test, which will allow individual motorists to determine the need to replace used engine oil and, as a result, increase the period services of tribocouplings of a motor vehicle and will increase their overhaul period.

Keywords: *used engine oil, internal combustion engine, lubrication system, express test.*