

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

А. В. МЕЛЕШКО

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Ю. А. БУЛАВКА, КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ

В работе представлены результаты анализа эффективности 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: система смазки; моторное масло; экспресс-тест.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время невозможно представить жизнь современного человека без автомобиля, почти каждый третий человек является владельцем транспортного средства, однако не каждый задумывается, какие процессы протекают в двигателе внутреннего сгорания. Для обеспечения плавности работы такой системы используют специальные смазывающие материалы – моторные масла [1, с. 133-134; 2, с. 100; 3, с. 141-142].

Моторное масло является важной составляющей надежной, продолжительной и бесперебойной работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС), которое 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 и вовлечением пакетов присадок различного функционального назначения [2, с. 100-107].

Производители моторных масел рекомендуют производить замену отработанного моторного масла по истечению 1 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), так как 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 также 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, и износу сопряженных деталей [1, с.133-134; 4, с. 19; 5, с. 62; 6, с. 44-45; 7, с. 8-9].

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. Последствием несвоевременной замены масла является перегрев мотора, увеличение нагрузки и сокращение его ресурса, перерасход топлива, повреждение элементов турбокомпрессора, коррозия деталей двигателя, проворот шатунных вкладышей, забивание масляных каналов продуктами сгорания и износа, в целом преждевременный износ важных системных ДВС [8, с. 104-106].

Актуальной задачей является исследование методик промежуточного анализа и диагностики состояния моторного масла с целью определения возможности продления его эксплуатации, что и определило цель настоящего исследования.

## 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

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 (свежего и отработанного 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 методом (по кислотному числу), физическим методом (метод бумажной хроматографии по капельной пробе).

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

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. Результаты определения коэффициента светопропускания представлены в таблице 1. На рисунке 1 приведена зависимость изменения показателя преломления различных проб моторного масла от пробега автомобиля.

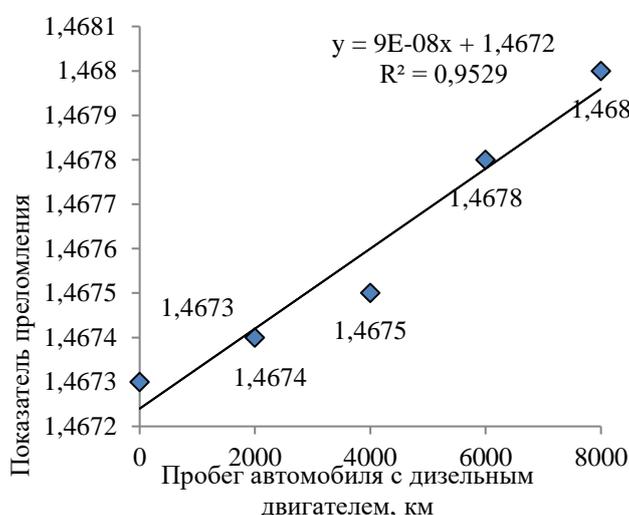


Рис. 1. Зависимость изменения показателя преломления проб моторного масла от пробега автомобиля

Таблица 1. Коэффициента светопропускания моторного масла в дизельном ДВС

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. Результаты анализа изменения показателя преломления различных проб моторного масла от пробега автомобиля показали, что происходит линейное увеличение значения показателя преломления при росте пробега автомобиля. Результаты определения светопропускания моторных масел показали, что с увеличением километража пробега ДВС значительно снижается прозрачность моторных масел, работавшие в ДВС моторные масла не пропускают свет из-за накопления продуктов износа, окисления.

В целом, оптические методы является достаточно эффективными для диагностики предельного состояния масла индивидуальными потребителями, однако данные методы требует специального 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, расчет выполнен по методу В. На рисунке 2 приведены зависимости изменения реологических свойств различных проб моторного масла от пробега автомобиля.

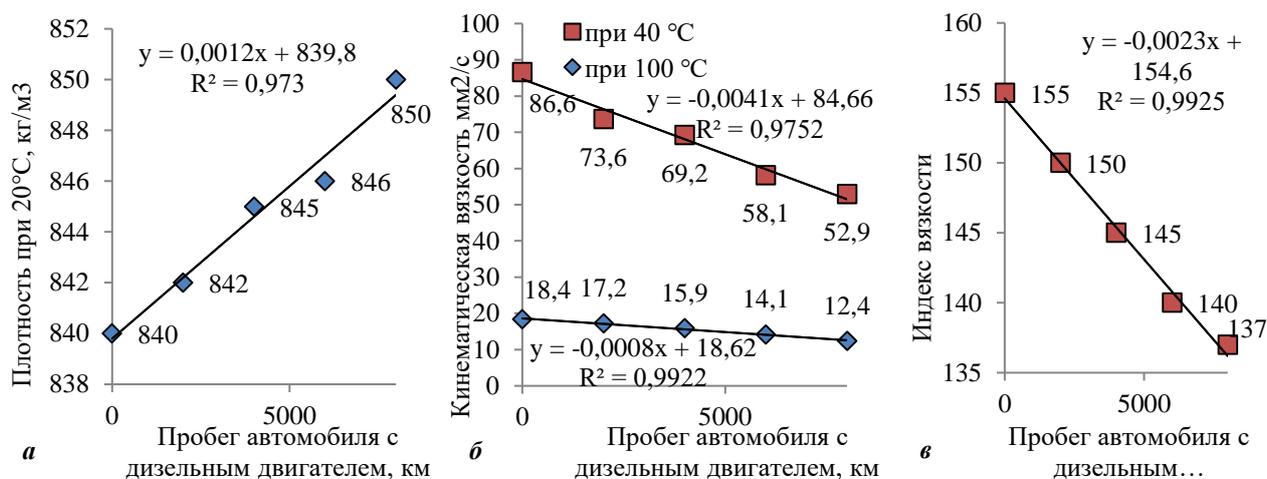


Рис. 2. Зависимости изменения реологических свойств различных проб моторного масла от пробега автомобиля: а – плотности при 20 °С; б – кинематической вязкости при 40 и 100 °С; в – индекса вязкости

Результаты анализа изменения плотности различных проб моторного масла от пробега автомобиля показали, что происходит линейное увеличение этого показателя при росте пробега автомобиля. Результаты анализа изменения кинематической вязкости и индекса вязкости различных проб моторного масла от пробега автомобиля показали, что происходит линейное снижение данных показателей при росте пробега автомобиля. Реологические методы является достаточно эффективными для диагностики предельного состояния масла, используется не дорогие, доступные измерительные приборы: ареометры, вискозиметры, однако требуется поддержания постоянных температур для проведения испытания, специальных навыков для использования математических выкладок 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 гидроокиси калия в присутствии цветного индикатора. Результаты определения кислотного числа представлены в таблице 2.

Таблица 2. Кислотное число моторного масла в дизельном ДВС

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. В целом, физико-химические методы, в частности, анализ кислотного числа, является достаточно эффективными для диагностики предельного состояния масла, однако классическое титрование в присутствии цветного индикатора может быть не эффективно из-за непрозрачности образцов при достижении определенного значения пробега.

Контроль состояния, работавшего в двигателе моторного масла, выполнили методом бумажной хроматографии по капельной пробе, разработанным в 1948 г. специалистами фирмы Шелл [9, с. 420-425; 10, с. 137-140]. Подготовка капельной пробы осуществляется следующим образом: после прогрева ДВС до рабочей температуры 90°C достается щуп и разогретое масло наносится на фильтр (пористую белую бумагу), размещенную горизонтально на невпитывающем материале. После нанесения образца на фильтр проба высушивается при комнатной температуре в течение суток или при температуре 100°C не менее часа в сушильном шкафу. Образец пробы моторного масла с пробегом 4000 км приведен на рисунке 3.

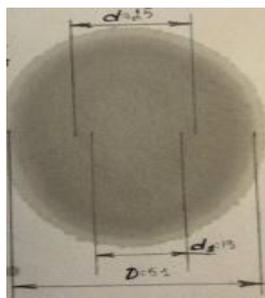


Рис. 3. Капельная проба моторного масла в дизельном ДВС с пробегом 4000 км

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 пробы моторного масла, включающая в себя поэтапную оценку внешнего вида и размера зон и цвета, капли с шаблонами.

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.

После расчетов коэффициентов рекомендуется выполнять визуальную диагностику состояния пробы моторного масла, включающую в себя поэтапную оценку внешнего вида и размера зон и цвета, капли с шаблонами, приведенными на рисунке 4 [1, с.135].

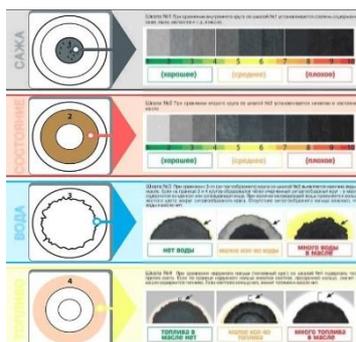


Рис. 4. Шаблон для классификации зон растекания по цвету для дизельного двигателя

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. Видно, что капельная проба свежего моторного масла, характерных зон не имеют, ядро и другие зоны не сформировались, масло чистое, механических примесей, воды и топлива нет, моюще-диспергирующие свойства масла высокие.



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

В целом, экспресс-метод оценки качества моторного масла бумажной хроматографии по капельной пробе является эффективным и информативным, может использоваться индивидуальными потребителями, однако сложность и длительность расчетов, коэффициентов, субъективизм при визу-

альной оценке в сравнении с эталонными шаблонами обуславливает необходимость разработки унифицированного программного продукта для повышения достоверности экспресс диагностики состояния моторного масла.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены и апробированы процедуры проведения экспресс диагностики состояния моторного масла в системе смазки двигателя различными методами: физическими, реологическими, оптическими, физико-химическим методом. 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 разработан программный продукт в виде мобильного приложения, использование которого позволит своевременно заменять отработанное масло и тем самым защитить двигатель внутреннего сгорания от повышенного износа.

#### Библиографические ссылки

1. Мелешко А. В., Булавка Ю. А. Экспресс-методы определения срока замены отработанного моторного масла // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой. Новополоцк : ПГУ, 2022. Вып. 45 (115) : Промышленность. С. 133–136.
2. Булавка Ю. А., Мелешко А. В. Анализ эффективности экспресс-тестов для определения срока замены отработанного моторного масла // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2023. № 1. С. 100–107.
3. Мелешко А. В., Булавка Ю. А. Обзор методов определения степени окисления моторного масла // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой. Новополоцк : ПГУ, 2022. Вып. 45 (115) : Промышленность. С. 141–144.
4. Попов Д. А. [и др.] Периодичность замены моторного масла с учетом условий эксплуатации автомобилей в современных условиях // Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий : материалы Всероссийской науч.-техн. конф., Воронеж, 18 октября 2021 г. Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. С. 19–22.
5. Суфиянов Р. Ш. Периодичность замены моторных масел // Colloquium-Journal. 2019. № 6-2(30). С. 62–63.
6. Синявский Н. Я., Иванов А. М., Кострикова Н. А. Анализ частиц продуктов износа в отработанных судовых моторных маслах // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 4-4(54). С. 44–48.
7. Almagambetova M. Zh. [et al.] Cleaning of semi-synthetic used motor oils // Символ науки. Химические науки. 2017. № 04-3. С. 8–10.
8. Покровская С. В. [и др.] Применение регенерированного отработанного моторного масла и органического отгона шлама в производстве мыльных и углеводородных пластичных смазок // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. 2012. № 11. С. 104–108.
9. Дунаев А. В. Экспресс-контроль масла для снижения износов и предотвращения аварий моторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. S16. С. 420–428.
10. Мяло О. В., Мяло В. В., Демчук Е. В. Использование метода капельной пробы для теоретического исследования изменения параметров моторного масла // Вестник Омского ГАУ. Процессы и машины агроинженерных систем. 2021. № 3. С. 137–145.