

С.А. Соловьев, доктор технических наук, профессор

А.В. Дунаев, кандидат технических наук

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка», г. Москва, Россия

МАСЛА КАК СРЕДСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Из 10-летнего опыта химмотологического и спектрального анализа 17 марок моторных масел в 162 ДВС приведены рекомендации по контролю масел и диагностированию по их рабочим свойствам автотракторных двигателей.

Рабочие показатели масел являются комплексными диагностическими признаками технического состояния агрегатов машин и оборудования, а также источником информации для выявления причин повышенной интенсивности их изнашивания. Показатели масел позволяют точнее устанавливать периодичность сервиса, повышать надежность машин, снижать затраты труда и средств на их эксплуатацию [1]. Поэтому смазочное действие – один из способов управления надежностью и работоспособностью машин и оборудования [2–4]. Следовательно, все отрасли нуждаются в качественных топливо-смазочных материалах и в их рациональном применении. В связи с этим важным является совершенствование эксплуатационных методов контроля масел и обоснование нормативов их состояния, а при обслуживании машин АПК контролю масел должно уделяться гораздо большее внимание, чем принято.

К моторным маслам предъявляют множество, порой противоречивых, требований, при том, что их свойства определяются составом, концентрацией присадок и внешними загрязнениями [2]. При неоптимальном составе присадок, загрязнении, обводнении и коррозионности, потере вязкости масло как третий конструктивный элемент может на 50 % обуславливать необходимость ремонта машин. Однако комплекс методов и нормативов контроля работающих масел для автотракторной техники до сих пор четко не определен и приемы контроля масел подбираются отраслями самостоятельно.

В дополнение к лабораторному контролю масел по стандартам в эксплуатации машин АПК нужно проводить эффективный экспресс-контроль масел по «капельной пробе» согласно бумажной хроматографии ГОСТ 28365 [1]. Это обусловлено тем, что основные качества масел характеризуются размером частиц загрязнений с разным их

проникновением в поры фильтровальной бумаги, и чем ниже диспергирующе-стабилизирующие свойства масел (ДСС), тем больше размеры частиц, меньше их проникновение в бумагу и меньше размер масляного пятна «капельной пробы». Так как сокращение диаметра d_2 масляного пятна к диаметру d_1 его ядра линейно характеризует ДСС, то значение ДСС, исправляя неверную классику и АИСТ СТО 25.10, можно оценивать следующим образом:

$$\text{ДСС} = K(d_2/d_1),$$

где K – эмпирический коэффициент.

Реальные «капельные пробы» среднещелочных масел приведены на рисунке 1.

На рисунке 2 отображены компоненты масляного пятна для их оценки.

Загрязненность масла можно характеризовать оптической плотностью «капельной пробы», например, индикатором загрязненности жидкостей ИЗЖ. Для общей оценки работоспособности масла в таблице 1 приведены показатели «капельной пробы».

Щелочное число (ЩЧ) – самый главный показатель качества моторного масла, обуславливающий моюще-диспергирующие, антифрикционные, нейтрализующие свойства (веществ самого масла и проникающих в нее извне). Однако контроль ЩЧ по всем российским и зарубежным стандартам сложен. Наиболее приемлем контроль по методике ГосНИИ-25 МО, аналогичной методу ГОСТ 29255-91, адаптированной нами для эксплуатационных условий [1]. Однако для этого требуются реактивы: метиловый синий, метиловый красный и 0,1N спиртовой раствор соляной кислоты.

Влияние ЩЧ масел на их антиизносные свойства, а также связь интенсивности изнашивания ДВС с ЩЧ и pH масла показаны на рисунке 3. Из рисунка видно, что ускорение изнашивания ДВС (содержание Fe) идет после снижения ЩЧ до значения кислотного числа (КЧ).

Предельный случай смены масла – момент снижения ЩЧ к уровню КЧ, но здесь нет гарантии нормального функционирования масла до его смены. Поэтому нами определены современные нормативы ЩЧ (табл. 2).

Все же целесообразно назначать срок смены масла не столько по снижению ЩЧ, сколько по комплексу показателей его состояния (ЩЧ, ДСС, обводненность, загрязненность, коррозионность, антифрикционность) и состояния ДВС (концентрация в масле металлов, особенно свинца, угар масла, расход картерных газов, закоксованность ЦПГ, напряженность работы ДВС).

Адаптированные нами для эксплуатационных служб приемы контроля рабочих свойств масел изложены в источнике [1], а практикой их

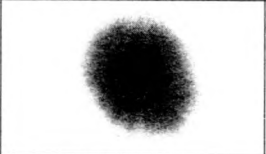

| | | |
|--|---|---|
|  |  |  |
| 1. Свежее | 2. Классическая «капельная проба» | 3. Работавшее, нормальное |
|  |  |  |
| 4. Много работавшее, обводнённое | 5. Исчерпание ресурса | 6. Масло – брак |

Рисунок 1 – Динамика на фильтровальной бумаге размера, формы и цвета пятна среднещелочного моторного масла по мере его работы:

1 – свежее масло с равномерным пятном и «водяными знаками», пятно испаряется через 5 дней; 2 – классическая «капельная проба» с наружным кольцом чистого масла, с внутренним кольцом незначительно загрязненного масла, со светлым ядром и «водяными знаками», образующимися в реакции щелочных компонентов масла со структурами бумаги; 3, 4 – отсутствие внешнего кольца чистого масла, уменьшение пятна из-за постепенного укрупнения мехпримесей из-за уменьшения ДСС; 5 – неровная форма ядра и всего пятна из-за обводнения масла; пятна 4 и 5 – предельное состояние масла; 6 – «свертывание капельной пробы», капля масла не растекается из-за значительного обводнения, масло – брак и может представлять золотистую расслаивающуюся жидкость, ведущую ДВС к аварии, со шламом в донной части; желтый, коричневый или темно-коричневый цвет пятна свидетельствует об окисленности масла из-за аварийного перегрева ДВС; степень четкости «водяных знаков» примерно соответствует степени щелочности масла и запаса им рабочих свойств; по четкости «водяных знаков» можно различать средне- и высокощелочные масла; по мере работы масла его пятно от светлого переходит к светло-серому, серому, темно-му, черному, густо-черному и непрерывно уменьшается в диаметре; при обводнении масла с периферии пятна выпекают струйки воды, но они быстро испаряются. Вместе с бумагой фильтровальной лабораторной ГОСТ 12026 дополнительно можно использовать ее аналоги, белую и черную ситцевую ткань

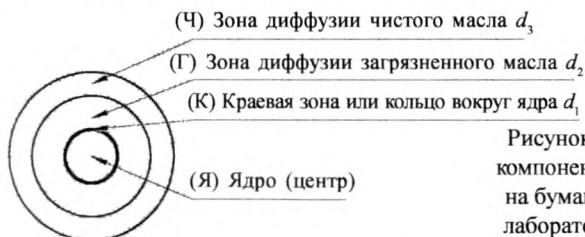
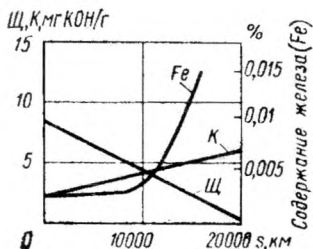


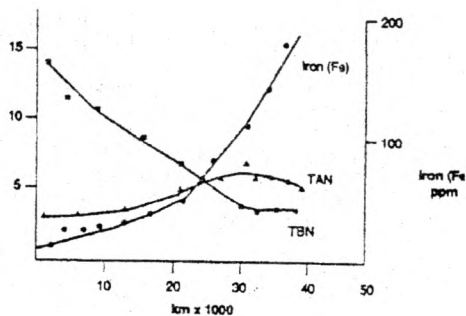
Рисунок 2 – Структурные компоненты масляного пятна на бумаге фильтровальной лабораторной ГОСТ 12026

Таблица 1 – Балльная оценка качества масел по «капельной пробе»

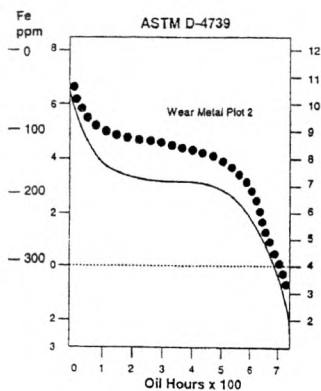
| Части пятен | Характеристика частей масляного пятна по номерам пятен для балльной оценки масла по «капельной пробе» | | | | | |
|-------------|---|-----------------------|---------------------|----------------------|--|---|
| | № 1; 1 балл | № 2; 2 балла | № 3; 3 балла | № 4; 4 балла | № 5; 5 баллов | № 6; 6 баллов |
| Я | Светлое | Темно-серое | Черное | Густо-черное | Густо-черное, со шламом и с крупинками мехпримесей | Капля не расплывается, растекается вода |
| К | Отсутствует | Темно-серое | Темно-черное | Ядро и кольцо слитны | Ядро не просматривается | — |
| Г | Отсутствует | Серое или темно-серое | Черное | | | |
| Ч | Пятно светлое и исчезает через 2–3 дня | Светлое | Светлое, исчезающее | Отсутствует | Отсутствует | — |



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Динамика ЩЧ моторных масел:
 а) по НАМИ снижение ЩЧ (Щ), повышение КЧ (К) и скорости изнашивания ДВС (Fe) [1];
 б) и в) – по Лубризол [1] при высокощелочном (TBN = 14) масле; на рис. в) слева содержание железа и ЩЧ, справа pH спиртовой вытяжки масла: видна обратная корреляция Fe по ЩЧ

Таблица 2 – Нормативные значения ЩЧ для моторных масел, рассчитанные нами интерполированием данных Арабяна С.Г. (НАТИ, 1984 г.)

| Показатели | Показатель «А» напряженности работы моторного масла по С.Г. Арабяну (НАТИ) | | | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| Браковочные значения ЩЧ, мгКОН/г | 0,4 | 1,1 | 2,5 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 |
| Допускаемые на меж-контрольный период значения ЩЧ, мгКОН/г | 0,6 | 1,5 | 3,0 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 |

применения подтверждена негативная динамика вязкости всесезонных масел.

Всесезонные масла специфичны, дороже и, как свидетельствует наш 10-летний опыт, для рядовой практики оправданы не всегда. Так, ежедневным месячным контролем подтверждено, что всесезонное масло через 50 ч теряет вязкость, например, у нас с 14,22 до 11,06 сСт, за 300 ч на 29 %, а по испытаниям журнала «За Рулем» 10-ти марок всесезонных масел – на 20–50 %. Практически свежие масла мы нередко сливали из дизелей из-за пониженной вязкости [1].

По мере работы сезонного масла его вязкость может расти из-за окисления базы, загрязнений и шламообразования, а неисправность топливной аппаратуры разжижает масло. Обводнение масла провоцирует сгущение нерастворимых примесей и шламообразование. Поэтому по мере работы вязкость масла может варьировать в обе стороны, а разжиженное топливом, но чрезмерно загрязненное масло может иметь нормальную вязкость, однако быть непригодным.

Повышение срока службы масел, хотя и важно, но не самоцель. В триаде: «мотор» – [условия эксплуатации + ТО] – «масло», последнее играет не первую, хотя и не последнюю роль. Все в триаде подчинено мотору и при его неисправностях или ухудшении условий работы смена масла нередко вынужденная до исчерпания ресурса масла. А при исправном моторе оно должно работать до полного исчерпания ресурса. Поэтому менять масла целесообразно только при приближении браковочных значений: при ЩЧ – менее 3–3,5 мгКОН/г, воды – более 0,3 %, температуры вспышки – ≤ 160 –170 °С, а вязкости – ниже паспортного значения. Масла же с запасом ЩЧ после очистки от мехпримесей и воды можно использовать повторно, но в узлах и агрегатах, менее требовательных к качеству масел.

Необходим также экспресс-контроль антиизносных свойств смазочных масел для входного контроля свежих, а работавших – для определение их остаточного ресурса. Здесь нами предложено приспособление, с помощью которого можно сравнивать потерю массы (или высоты) кольца, истертого в испытуемом масле и этого же кольца в тех же условиях, но в масле с хорошими антиизносными свойствами. Для контроля интенсивности изнашивания может использоваться прибор для определения железа в масле ФЧМ-П от «ТехДиагностСервис» ЦНИИ морского флота, а также предложенный нами феррограф ОВД-28324-ГОСНИТИ [3].

В части значения угара масел для определения срока ремонта ДВС нами этот срок предлагается определять моментом достижения равенства потерь от пониженной производительности машины, перерасхода топлива и масла за межремонтный период к стоимости ремонта. И чем

ощутимее потери, тем при меньшем значении угара масла целесообразно ставить мотор на ремонт.

Срок службы масел следует определять по комплексу фактических химмотологических (моторных) показателей и по состоянию ДВС. Но при браковочном значении любого показателя масла или двигателя масло подлежит безусловной смене. Нормативные значения параметров масел мобильной техники приведены в таблице 3.

Мало применяется спектральный анализ масел, который, выявляя динамику изнашивания агрегатов машин и оборудования, является эффективным средством раннего предупреждения возможных неисправностей ДВС и других агрегатов [3, 4].

Нами проведено более 13 тыс. спектральных анализов 17 марок масел для дизелей ЯМЗ-240, Д-130, 8ДМ-21А, Камминз (КТА-19/38/50), САТ 785В, KomatsuHD 785В, тепловозов ТЭМ, ТГМ и ЧС-2, 50 бензиновых ДВС отечественного и импортного грузового и легкового транспорта, ДСМ России, Кореи, Японии, Франции, по которым разработана детальная технологическая карта анализа [1].

На основании этих анализов подтверждено, что основными причинами повышенного изнашивания ДВС являются загрязненность, обводненность, разжижение топливом, снижение ЩЧ (и ДСС), а у некоторых долго работавших масел – коррозионность к свинцу подшипников КШМ (рис. 4). Поэтому концентрации металлов в маслах могут не соответствовать реальной износостойкости и потенциальному ресурсу сопряжений ДВС.

Недостатками анализа масел на установках МФС от СКБ «Спектр» при ОАО «ЛЮМО» является пропуск частиц износа крупнее 20 мкм. Поэтому нужен контроль металлов в масле несколькими методами. Важно контролировать и форму, и размеры частиц износа, обусловленных разными процессами изнашивания.

Таким образом, на основании работ предшественников [2-4] и проведенных нами анализов (за 10 лет – 13 тыс.) аналитико-статистическим методом определены спектральные нормы для масел мобильной техники АПК (табл. 4).

Из анализов необходимо определить показатели, которые достигли или превысили предельные значения, а также выявить: обусловлено ли повышенное содержание металлов кремнием, водой, пониженной вязкостью, температурой вспышки и коррозионностью масла. При превышении норм воды, кремния, пониженных температуры вспышки, ЩЧ, ДСС рекомендуется смена масла с выявлением и устранением неисправностей агрегата. Если в масле нет заметного количества воды и топлива, ЩЧ более 4 мгКОН/г и масло бракуется только по загрязнению,

Таблица 3 – Нормативы параметров моторных масел мобильной техники АПК

| Параметры масел | Дизельные | | | Трансмиссионные | | | Гидравлические | | |
|---|--------------|--------|----------|-----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| | Ном | Доп | Пред | Ном | Доп | Пред | Ном | Доп | Пред |
| Температура вспышки, °С | >205 | >185 | >170 | По пас-порту | 90 % | 80 % | По пас-порту | 90 % | 85 % |
| Содержание воды, % | Следы | <0,15 | <0,3 | Следы | <0,3 | <0,5 | Следы | <0,15 | <0,3 |
| Моюще-диспергирующие свойства, балл | 0 | <3 | <6 | 1-2 | 3-4 | <6 | 1-2 | 3-4 | <6 |
| Вязкость при 100 °С, % от паспортных значений | По пас-порту | 80-120 | 75-135 | По пас-порту | 90-130 | 80-150 | По пас-порту | 90-110 | 80-125 |
| Вязкость при 50 °С, % от паспортных значений | - | - | - | По пас-порту | 90-130 | 80-150 | По пас-порту | 90-110 | 80-125 |
| Вязкость при 40 °С, % от паспортных значений | - | - | - | - | - | - | По пас-порту | 90-110 | 80-125 |
| Щелочное число, мг/г | >8 | >5 | 3 | - | - | - | - | - | - |
| Оптическая плотность, % | <0,15 | <1,5 | <2,5-3,0 | 1-3 | 1-2 | 0,5 | <0,12 | <0,18 | <0,25 |

Примечание. Ном – номинальные значения для свежих масел; Доп – значения, при которых масло допускается в эксплуатацию на очередной межконтрольный период; Пред – браковочные значения при которых масло подлежит замене.

Таблица 4 – Нормативы спектральных параметров масел автотракторной техники

| Параметры масел | Нормативные значения параметров масел | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------------|-------|-------|-----|-----|------|-----------------|-----|-----|-------|-------|----|----------------|-----|------|----|
| | Моторные | | | | | | Трансмиссионные | | | | | | Гидравлические | | | |
| | Ном | Доп | Пред | ПШ | Ном | Доп | Пред | ПШ | Ном | Доп | Пред | ПШ | Ном | Доп | Пред | ПШ |
| Содержание металлов*: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe (200) | 3-5 | 50 | 65 | 100 | 3-5 | 150 | 200 | 500 | 1-2 | 10-15 | 15-20 | | | | | |
| Cr (30) | 0,3 | 3,5 | 5,5 | 25 | 0,5 | 5-10 | 25 | 10 | 0,5 | 1 | 5 | | | | | |
| Al (200) | 2 | 15 | 25 | 30 | 3 | 5 | 15 | 100 | 2 | 5 | 15 | | | | | |
| Si (200) | 3-5 | 20 | 25 | 20 | 3 | 35 | 50 | 40 | 1-2 | 5 | 10 | | | | | |
| Pb (200) | 0,5 | 5 | 15 | 40 | - | - | - | 300 | 0,5 | 1 | 2 | | | | | |
| Cu (200) | - | 10-15 | 20-25 | 50 | - | 30 | 50 | 300 | - | 3-5 | 15 | | | | | |
| Sn (30) | - | 1,5 | 2,0 | 25 | - | 1 | 2 | 20 | - | 1 | 2 | | | | | |
| Ni (30) | - | 1,5 | 1,8 | 10 | - | 15 | 25 | 20 | - | 1,2 | 2 | | | | | |
| Mo** (30) | - | 1,5* | 2,0* | - | - | 5 | 15 | - | - | 1 | 1,5 | | | | | |

* Пределы измерения установкой МФС-7М.

** Для масел без присадок с молибденом, регулярный (через 25-50 ч) анализ позволяет предупреждать наступление повышенного изнашивания агрегатов, повышать предельные концентрации и тем самым полнее использовать эксплуатационный ресурс машин и оборудования.

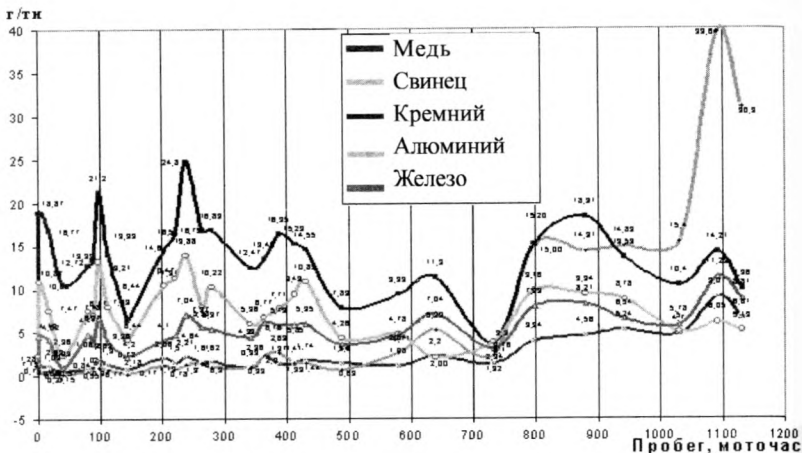


Рисунок 4 – Зависимость концентрации металлов от содержания кремния в масле API CG-4 SAE 15W-40 по наработке дизеля КТА-38С: видно, что концентрация Pb не зависит от концентрации Si и обусловлена только коррозионностью масла и концентрация Cu мала

то рекомендуется отстой масла для другого анализа, а при его нормах – повторное использование в агрегатах, менее требовательных к маслам. Если масло бракуется по повышенному содержанию свинца, рекомендуется смена марки масла.

Учет особенностей работы установок типа МФС-7М, дополнительные нестандартные, но эффективные приемы защиты ДВС от загрязнения, обводнения и другие меры приведены в источнике [1].

Список использованных источников

1. Дунаев, А.В. Исследование диагностических параметров, разработка методов и средств их контроля для совершенствования диагностирования и технического обслуживания МТП АПК / А.В. Дунаев. – М.: ГОСНИТИ, 2015. – 360 с.
2. Григорьев, М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1983. – 246 с.
3. РД 37.001.019-84 Методика диагностирования технического состояния автомобильных двигателей по показателям рабочего масла. – М.: НАМИ, 1984. – 23 с.
4. Чанкин, В.В. Спектральный анализ масел транспортных дизелей / В.В. Чанкин. – М.: Транспорт, 1967. – 232 с.

Поступила 17.03.2015