

УДК 621.89

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА**А. В. МЕЛЕШКО***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Ю. А. БУЛАВКА)*

В статье представлен обзор современных методов определения и контроля степени окисления моторного масла, рассмотрены их отличительные особенности. Изучены физико-химические характеристики, анализ которых позволяет оценить степень изменения состава и качества используемого моторного масла в системе двигателя.

Сегодня работа современных механизмов не мыслима без смазочных материалов. Свойства смазочных материалов специально подбираются к определенным агрегатам, и контролируются в течение всего периода эксплуатации, чтобы предотвращать чрезмерный износ составных частей двигателя и других механизмов. Интервалы между обслуживаниями все более увеличиваются и во многих агрегатах замена смазочных материалов может быть вовсе неактуально. Вместе с тем, сегодняшние нормы для защиты окружающей среды, в частности, требования по снижению выброса выхлопных газов и генерируемых транспортом шумов обуславливают дополнительные требования к используемым видам сырья для производства смазочных материалов.

Моторные масла эксплуатируются в наиболее тяжелых и неблагоприятных условиях по сравнению с другими смазочными материалами, независимо от рабочего процесса. Основной функцией моторных масел является снижение трения и износа трущихся поверхностей деталей, предохранение от коррозионного разрушения, очистка поверхностей от накапливающихся продуктов загрязнения. Для предотвращения чрезмерного износа деталей и узлов двигателя, а также других систем необходимо предусматривать промежуточные анализы и проверку состояния масла, а также возможность его продления дальнейшей эксплуатации [1-11].

Методы испытания смазочных масел подразделяют на лабораторные, стендовые и эксплуатационные. В качестве лабораторных испытаний подразумевается анализ физико-химических показателей масла и использование специальных приборов и установок. При создании смазочного материала используют лабораторные методы, позволяющие в короткий срок оценить влияние состава композиции базового масла и пакета присадок на основные физико-химические характеристики и, на базе накопленного опыта, прогнозировать поведение смазочного материала в условиях эксплуатации.

Любому автомобилисту необходимо проводить периодические проверки состояния масла во время эксплуатации автомобиля, так как если пренебречь подобными проверками, можно допустить преждевременный износ деталей и большой расход топлива.

Для комплексного анализа моторного масла используют следующие показатели, которые характеризуют его текущее состояние:

- вязкость моторного масла при разных температурах;
- уровень антиокислительной устойчивости;
- склонность к образованию нагара;
- плотность;
- зольность;
- влияние на расход топливного ресурса.

По изменению данных показателей судят о состоянии смазочного материала [2]. Основные методы определения физико-химических показателей качества смазочных масел, используемые в настоящее время представлены в таблице 1.

Изменение такого показателя как плотность свидетельствует об изменении состава масла за время эксплуатации. Плотность зависит от фракционного состава моторного масла, а также от его химического строения.

Вязкость – важнейший показатель, определяющий пусковые и эксплуатационные характеристики машин и механизмов. В узлах трения смазочные масла должны обладать достаточно низкой вязкостью для того, чтобы обеспечить минимальные потери энергии на перемешивание и преодоление внутреннего трения, беспрепятственное прокачивание масла насосом по смазочной системе (особенно при низких температурах). В то же время, они должны иметь достаточно высокую вязкость для того, чтобы обеспечить режим трения со смазкой, гарантирующий процесс нормального изнашивания и отсутствие повреждаемости поверхностей трения, а также низкий уровень утечек через уплотнения (особенно при повышенных температурах). Вязкость зависит от состава масла, а также температуры, давления, скорости сдвига и времени работы масла в узле трения. С увеличением температуры вязкость масел уменьшается,

а с повышением давления – увеличивается. Поэтому в последние годы для оценки динамической вязкости масла все более широкое применение находят специфические показатели холодного пуска (Cold Cranking), прокачиваемости при низких температурах (Pumping) и динамической вязкости при высокой температуре и высокой скорости сдвига (HT/HS), определяемые на специальных установках [3].

Таблица 1. – Стандартные методы определения физико-химических свойств смазочных масел

Показатель качества	ГОСТ	ASTM
Вязкость	33-2016	D445
Индекс вязкости	25371-2018	D 2270
Зольность	1461-75, 28583-90	D 482, D 874, D 1026
Кислотное число	5985-79, 11362-96	D 974
Коксуемость	19932-99	D 189, D 524
Коррозионность на стальных и медных пластинках	2917-76	D 130
Массовая доля воды по Дину-Старку	2477-2014	D 95
Плотность	3900-85	D 941, D 1298, D 1481
Температура застывания	20287-91	D 97, D 2500
Щелочное число	11362-96, 30050-93	-

Зольность показатель отражающий наличие золообразующих компонентов и примесей в составе моторных масел. Основным источником образования золы являются металлосодержащие присадки, поэтому показатели «зольность» и «сульфатная зольность» чаще всего используются для оценки их присутствия в товарных маслах. Вместе с тем, под действием температуры в узлах трения может происходить образование золы (как правило, состоящей из сульфатов металлов), способной образовывать на деталях отложения, что может привести к существенному снижению износостойкости узлов трения и понижению других эксплуатационных характеристик машин и механизмов. Поэтому в некоторых типах смазочных масел регламентируются предельные значения этого показателя.

Важным показателем качества является число нейтрализации, показатель, который отражает способность реагентов масла нейтрализовать кислоты, образующиеся во время работы двигателя и сгорания топлива [4].

Базовые масла, получаемые из нефти или синтетическим путем, не обладают ни кислотными, ни щелочными свойствами, то есть на шкале pH они располагаются вблизи pH 7. Однако на величину pH оказывают влияние присадки и активные ингредиенты, добавляемые в масло. Некоторые вещества – в частности, присадки для защиты от износа и коррозии – могут иметь слабокислую реакцию и уже благодаря этому вызывают изменение pH свежего масла. В процессе эксплуатации содержание кислотных соединений в масле непрерывно растет. Одна из причин этого состоит в неизбежном автоокислении самой масляной основы. Кислород, накапливаясь в молекулах масла, способствует большему образованию кислот. Чем дольше используется масло, чем выше его рабочая температура и чем больше в нем содержится примесей, тем более выражено окисление масла, приводящее к образованию кислот. Но и продукты распада многих присадок также образуют соли металлов при желаемой реакции с металлическими поверхностями; эти соли служат промоторами окисления и приводят к дальнейшему понижению pH.

Степень окисления и накопления кислот в масле относительно исходного состояния и продолжительность сохранения рабочих характеристик можно определить различными методами.

Определение кислотной составляющей (общей кислотности) является один из важных критериев оценки степени отработанности масел [9-11]. Для разных сортов масла используют различные апробированные методы анализа. Порядок определения унифицирован: образец смазочного масла (навеску от 2 до 20 г) интенсивно взбалтывают с растворителем, содержащим небольшое количество воды. При этом кислоты, содержащиеся в масле, экстрагируются, переходя в водную фазу растворителя. Далее их оттитровывают. К образцу по каплям прибавляют раствор сильного основания – едкого калия (KOH) – до тех пор, пока масло не станет «нейтральным». Когда все кислоты нейтрализованы едким калием, добавление следующей капли щелочи приводит к резкому росту pH. Из объема KOH, пошедшего на достижение этой «точки перегиба», находят содержание кислот в образце, выраженное в единицах мг KOH/г масла.

Традиционный метод определения содержания кислот в масле состоит в нахождении числа нейтрализации. Кроме растворителя, содержащего воду, к образцу добавляют цветной индикатор. Это приводит к изменению цвета именно в точке перехода. Как правило, цветовой переход можно наблюдать лишь в светлых или прозрачных гидравлических жидкостях, трансмиссионных или турбинных маслах. Существенным недостатком данного метода является то, что окрашенные почти в черный цвет образцы масел из дизельных или газовых двигателей не позволяют наблюдать цветовой переход индикатора [5].

Для анализа темных нефтепродуктов применяют следующий модифицированный метод: к образцу масла в той же смеси растворителей (но без индикатора), помещенному в стакан, малыми порциями

из бюретки прибавляют раствор едкого калия до тех пор, пока электрод, постоянно регистрирующий величину рН, не подаст сигнал о достижении точки перехода. Результат выражают в виде кислотного числа. Методика применима ко всем маслам, а также ко многим консистентным смазкам [6].

Современный метод, объединяющий достоинства традиционных, заключается в следующем: для проведения термометрии к смеси образца и растворителя перед началом титрования прибавляют специальный индикатор. Однако вместо того, чтобы изменять цвет в точке нейтрализации, индикатор вступает в бурную реакцию с выделением тепла. Этот скачок температуры регистрируют особо чувствительным датчиком температуры. Результат подобен изменению цвета и скачку электродного потенциала. Датчик температуры срабатывает так же быстро, как происходит изменение цвета. Он не нуждается в столь трудоемких операциях проверки и технического обслуживания, как электроды. Скачок температуры происходит в равной степени для всех масел и не ограничивается, одними лишь светлыми и прозрачными маслами. Для выше рассмотренных методов определения кислотности используется одинаковая смесь растворителей и едкий калий в эквивалентных количествах. В основе всех методик лежит одна и та же химическая реакция нейтрализации. Результаты и их интерпретация, таким образом, сопоставимы. Различие между этими методиками состоит в способе обнаружения точки перегиба и, следовательно, конечной точки реакции.

Для оценки качества отработанных моторных масел определяют, главным образом, только остаточное содержание щелочной добавки – так называемое щелочное число (ТВН). С этой целью, также проводят титрование, однако в обратном направлении: к образцу масла, смешанному с растворителем прибавляют очень сильную кислоту. Кислота нейтрализуется щелочной добавкой до полного исчерпания последней. Наиболее распространенный методом определения щелочного числа является – потенциометрическое титрование. Наблюдение цветового перехода бесполезно при определении щелочного числа отработанного масла ввиду их темной окраски, в связи с чем, используют титрование с электродом, предназначенным для измерения рН. В основе методики лежит тот же принцип. Продолжительность титрования зависит от величины щелочного числа и может занимать до 30 минут [7].

К современным методам определения щелочного числа можно отнести – определение щелочного числа методом термометрии. К смеси образца и растворителя перед титрованием прибавляют изобутилвиниловый эфир в качестве индикатора. Он вступает в реакцию в нейтральной точке, или точке перегиба, с резким скачком температуры, который регистрируют при помощи датчика температуры. Результат аналогичен тому, который получают при потенциометрическом определении щелочного числа. Датчик температуры имеет время отклика порядка 2-5 минут и после короткого ополаскивания готов к дальнейшей работе.

Помимо рассмотренных методов щелочное число масел можно определить с помощью хемометрической модели. Создание хемометрической модели для определения щелочного числа возможно при условии, что проведено достаточное число обычных титрований с записью ИК-спектров. Для каждой модификации масла необходима отдельная модель. Это, в частности, связано с индивидуальными особенностями разложения тех или иных присадок к топливу под действием кислот, с тем, что в зависимости от сорта масла эти присадки могут быть разными, а также с тем, что низкозольные масла ведут себя иначе, чем дизельные масла с высоким содержанием присадок. При помощи такой модели в дальнейшем можно находить щелочное число для конкретного сорта масла по его ИК-спектру [8]. Однако данный метод характеризуется высокой затратностью и трудоемкостью работ.

Таким образом, выполненный обзор современных методов определения и контроля степени окисления моторного масла позволил выявить их отличительные особенности и возможность применения для конкретных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторных масел и надежность двигателей. М.: Издательство стандартов, 1981. - 232 с.
2. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях : монография / В. И. Верещагин, В. С. Янович, Б. И. Ковальский [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.
3. [Электронный ресурс]. – [Режим доступа]: Технический блог. 2. Физико-химические, эксплуатационные показатели масел и методы их оценки — DRIVE2 Дата обращения: 17.09.2022.
4. Влияние температуры карбонатации на качество высокощелочных сульфонов /А.В. Мелешко, П.Ф. Гришин, Д.А. Добровольский, А.В. Спиридонов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. - 2022. - № 10. – С.128-135
5. Нефтепродукты. Определение кислотного числа полумикрометодом титрования с цветным индикатором. Petroleum products. Determination of acid number by semi-micro color indicator titration:

- ГОСТ 32333-2013. – Введ. 01.01.2015. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. – 18 с.
6. Нефтепродукты. Определение кислотного числа потенциометрическим титрованием. Petroleum products. Determination of acid number by potentiometric titration: ГОСТ 32327-2013. – Введ. 01.01.2015. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. – 24 с.
 7. Нефтепродукты и смазочные материалы. Определение кислотного и щелочного чисел титрованием с цветным индикатором. Petroleum products and lubricants. Determination of acid and base numbers by color-indicator titration: ГОСТ 32328-2013. – Введ. 01.01.2015. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2015. – 16 с.
 8. I. B. Weismann, «Ein Öl kann vieles ab – aber so richtig sauer sollte es niemals werden!» / I. B. Weismann// ÖlChecker. – Sommer 2011. – P. 5-7.
 9. 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, А.В. Зубова // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки.– 2012 . – № 11. – С.104-108
 10. 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 докладов Международной научно-технической конференции. – Минск: БГТУ, 2011. С. 230-233
 11. Смазочные композиции на основе отходов производства полиэтилена, отработанных масел и побочных продуктов масляного производства/ Ю. А. Булавка, С. В. Покровская //Eurasia Green: материалы Междунар. конкурса науч.-исслед. проектов молодых ученых и студентов / [отв. за вып. М. В. Федоров, Э. В. Пешина, Г. Ю. Пахальчак]. – Екатеринбург: Изд-во Урал.гос. экон. ун-та, 2012. – с.7-9