

УДК 621.43.001.42

АНАЛИЗ МЕТОДИК КОНТРОЛЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Бурцев А. Ю.¹, Банин Р. В.², Старунов А. В.², Малькова Е. В.³,
Барышников С. А.², Нейфельд А. Я.⁴

¹к.т.н., доцент, филиал КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, г. Белово;

²к.т.н., доцент, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

³к.п.н., доцент, ЮУрГАУ, г. Челябинск;

⁴магистрант, ЮУрГАУ, г. Челябинск.

Аннотация: Одной из самых сложных задач является выявление оставшегося срока службы моторного масла. Но и не менее важной задачей является непрерывная коррекция срока службы масла, которая связана с новыми данными о изменении интенсивности изменения его технического состояния. В результате может проводится комплекс лабораторных измерений, в ходе которого устанавливаются следующие параметры моторного масла: температура вспышки; общее щелочное число (TBN), мгКОН/г; динамическая и кинематическая вязкость при 100°C, сСт; содержание воды методом Карла Фишера, топлива и антифриза, мг/кг; содержание продуктов износа, сажи, отложений, которые определяются на основе инфракрасной (ИК) спектроскопии; содержание различных химических элементов на основе применения атомно-эмиссионного спектрального анализа, мг/кг. Всесторонний анализ моторного масла позволит узнать его текущее состояние; точный момент его замены; интенсивность износа узлов и систем ДВС; ресурс ДВС. Кроме того, эти данные можно корректировать с учетом различных факторов, иногда весомо ускоряющих интенсивность износа.

Ключевые слова: контроль, двигатель, система смазки, моторное масло, непрозрачность, степень загрязненности, качество, анализ.

Abstract: One of the most challenging tasks is determining the remaining service life of engine oil. But an equally important task is the continuous adjustment of the oil service life, which is associated with new data on the changing rate of changes in its technical condition. As a result, a set of laboratory measurements can be carried out, during which the following engine oil parameters are established: flash point; total base number (TBN), mgKOH/g; dynamic and kinematic viscosity at 100°C, cSt; water content using the Karl Fischer method, fuel and antifreeze, mg/kg; content of wear products, soot, deposits, which are determined based on infrared (IR) spectroscopy; content of various chemical elements based on the use of atomic emission spectral analysis, mg/kg. A comprehensive analysis of engine oil will allow you to know its current condition; the exact moment of its replacement; the rate of wear of internal combustion engine components and systems; internal combustion engine service life. In addition, these data can be adjusted taking into account various factors, sometimes significantly accelerating the rate of wear.

Key words: *control, engine, lubrication system, motor oil, opacity, degree of contamination, quality, analysis.*

Актуальность вопроса. Тигельные (или чашечные) методы относятся к группе лабораторных исследований, направленных на изучение термоокислительной стабильности и склонности к образованию отложений в моторных маслах [1, 2]. В основе лежит нагрев небольшой порции масла в открытом или полузакрытом металлическом тигле (чаше) при заданных температуре и времени.

Принципиальная суть методик заключается в имитации экстремальных условий работы масла в зонах высоких температур (например, в поршневых кольцах) в упрощенной форме [3, 4, 5]. После испытания оценивают массу нерастворимых отложений (шлама), изменение вязкости, потерю массы образца или его внешний вид [6, 7].

Имеющиеся на сегодня разновидности методов [8, 9]: 1. Метод с коксованием. При его реализации масло испаряется и разлагается в специальной железной чаше при высокой температуре ($\sim 250^{\circ}\text{C}$ и выше) в течение фиксированного времени. Результат – остаток коксовых отложений в процентах от исходной массы [10, 11]. 2. Метод окисления в тонком слое. Тонкий слой масла выдерживается при температуре (часто $200\text{-}230^{\circ}\text{C}$) в присутствии воздуха в течение длительного периода (8-16 часов и более). Оценивают образование лаковых пленок, шлама, изменение физико-химических свойств [12, 13].

Преимуществами тигельных методик и приборов являются [14]: 1. Оперативность и экономичность. По сравнению с полноценными моторными испытаниями, эти тесты требуют минимальных затрат времени (доли от часа) и финансовых ресурсов [15, 16]. Не требуют сложного дорогостоящего оборудования. 2. Простота исполнения и воспроизводимость [17, 18]. Методики стандартизированы (ГОСТ, ASTM), процедура проведения относительно проста, что обеспечивает хорошую повторяемость результатов в условиях одной лаборатории. 3. Высокая дифференцирующая способность для базовых масел [19]. Эффективно позволяют сравнивать склонность различных базовых масел (особенно минеральных и некоторых синтетических) к образованию нагара и лаковых отложений при высокотемпературном воздействии [20]. 4. Инструмент для скрининга и контроля входящего сырья [21]. Незаменимы для быстрой предварительной оценки эффективности новых пакетов присадок или качества партий базовых масел перед запуском в производство или более глубоким тестированием [22]. 5. Прямая наглядность результата. Остаток кокса или визуальная картина отложений в чаше дают простое и понятное количественное или визуальное представление о термостабильности образца [23].

Недостатками тигельных методик и приборов являются: 1. Упрощенность модели. Методы не воспроизводят комплексное воздействие реального двигателя: нет влияния продуктов неполного сгорания топлива, механического взбалтывания, динамического изменения температур, контакта с раз-

личными материалами. Это статический, а не динамический тест. 2. Низкая корреляция с эксплуатационными свойствами современных масел. Для высококачественных синтетических масел с комплексными моюще-диспергирующими присадками результаты тигельных тестов часто плохо согласуются с данными моторных испытаний. Присадки могут давать высокий коксовый остаток, но при этом превосходно предотвращать отложения в реальном двигателе. 3. Неполная картина деградации масла. Методы фокусируются в основном на одном аспекте – образовании твердых отложений. Они слабо учитывают другие критически важные процессы: окисление масляной основы, истощение антиокислительных и антиизносных присадок, изменение щелочного числа (TBN). 4. Влияние летучих компонентов. При открытом исполнении испарение легких фракций масла может исказить итоговый результат по массе отложений, что не отражает реальную ситуацию в закрытой системе двигателя. 5. Устаревающая методологическая база. С ростом сложности формуляров и технологий производства смазочных материалов прогностическая ценность простых тигельных тестов снижается. Они становятся более полезными для рутинного производственного контроля, чем для комплексной оценки эксплуатационных характеристик.

Однако можно сформировать области рационального применения метода контроля температуры вспышки моторных масел: 1. В случае, когда требуется быстрый сравнительный инструмент на этапах НИОКР и входного контроля. 2. При введении оценочного технологического параметра при производстве и паспортизации некоторых категорий масел. 3. Использование в качестве вспомогательного метода в комплексе с более современными видами анализа, такими как дифференциальная сканирующая калориметрия (PDSC), FTIR-спектроскопия или реометрия [24, 25].

Цель работы: изучить методики контроля моторных масел.

Методы и материалы. Результаты обширного анализа позволили составить таблицу 1, которая отражает ключевое отличие между классическими лабораторными методами (включая тигельные тесты) и современными решениями для экспресс-анализа.

Таблица 1 – Результаты сравнения классических лабораторных методов с современными автоматизированными анализаторами

Критерий сравнения	Классические лабораторные методы (включая тигельные тесты)	Современные автоматизированные анализаторы (например, Microlab 40, BALTECH ОА)
Основная цель анализа	Определение физико-химических свойств и соответствия стандартам. Например, стабильность к окислению (тигельные тесты), вязкость, содержание воды.	Комплексная диагностика состояния масла и систем двигателя: износ, загрязнение, степень деградации.

Принцип работы / Измеряемые параметры	Проводятся отдельные тесты на специализированных установках. Примеры: коксуемость (тигель), вязкость (вискозиметр), кислотное число (титрование), содержание воды.	Интегрированные модули в одном приборе: ИК-спектрометр (окисление, нитрование, сажа, вода), эмиссионный спектрометр (металлы, продукты износа и присадки), вискозиметр, счетчик частиц.
Время анализа	От нескольких часов до нескольких дней.	Обычно менее 15-30 минут на полный комплексный анализ.
Условия проведения	Стационарная лаборатория, требуются квалифицированные химики-аналитики.	Экспресс-анализ на месте (в поле, в цехе). Оператором может быть обученный технический персонал.
Результат	Числовые значения отдельных параметров, требующие экспертной интерпретации.	Автоматизированный диагностический отчет на русском языке с рекомендациями по обслуживанию двигателя.
Главное преимущество	Высокая точность и соответствие стандартным методикам (ГОСТ, ASTM) Незаменимы для сертификации и фундаментальных исследований.	Скорость, комплексность и простота для принятия оперативных решений по техническому обслуживанию.
Главный недостаток	Длительность, высокая стоимость, необходимость в лаборатории и узких специалистах.	Как правило, менее точны для узкоспециализированных исследований по сравнению с лабораторными эталонами.

Как видно из анализа данных таблицы 1, оба приведенных подхода не исключают, а дополняют друг друга. Тигельные тесты и другие лабораторные методы актуальны для входного контроля моторных масел, разработки и сертификации новых масел, где важна абсолютная точность и соответствие нормативным документам. Автоматизированные анализаторы созданы для эксплуатационного контроля — мониторинга состояния моторного масла в работающем ДВС, прогнозирования остаточного ресурса и предотвращения аварийных отказов.

Для профессиональной оценки свойств моторных масел применяются анализаторы Microlab 40 и BALTECH OA-5000. Основные их характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение анализаторов моторных масел Microlab 40 и BALTECH OA-5000

Характеристика	Microlab 40 (Spectro Scientific)	BALTECH OA-5000
----------------	----------------------------------	-----------------

Тип прибора	Комплексная настольная лаборатория для точного анализа.	Компактный портативный экспресс-анализатор для быстрой оценки.
Принцип работы	Комбинация 4 методов: атомно-эмиссионная спектрометрия, ИК-спектроскопия, вискозиметрия, подсчет частиц. Полная автоматизация.	Измерение интегральных изменений электрохимических (диэлектрических) свойств масла по сравнению с чистым эталоном.
Измеряемые параметры	Износ: 20+ элементов (Fe, Al, Cu и др.). Состояние масла: окисление, нитрование, щелочное число (TBN), сажа, вода, гликоль. Вязкость: при 40°C и 100°C, индекс вязкости. Чистота: подсчет и размер частиц по ISO.	Интегральная оценка изменений, вызванных: окислением, водой, топливом, сажей, металлическими и неметаллическими загрязнениями, снижением моющих свойств.
Время анализа	Менее 15 минут.	Около 2 минут.
Результат и отчет	Автоматический детальный отчет на русском языке с цветовой маркировкой, конкретными значениями параметров и рекомендациями по обслуживанию.	Цветовая индикация (зеленый/красный) и числовой показатель от -999 до +999, сигнализирующий о пригодности масла.
Простота использования	Высокая автоматизация, не требует химика, но нужна начальная настройка.	Очень проста: не требует специальных знаний, результат интуитивно понятен.
Стандарты	Соответствует стандарту ASTM D7417. Внесен в Госреестр СИ РФ.	В информации из поиска соответствие стандартам не указано.
Ключевое преимущество	Высокая точность и комплексная диагностика как масла, так и состояния оборудования на профессиональном уровне.	Максимальная скорость, портативность и низкая стоимость анализа для быстрого решения «менять или не менять».
Главный недостаток	Высокая стоимость прибора, требует места для установки, используется обученным персоналом.	Не дает количественных данных по отдельным параметрам, предварительная калибровка по чистому маслу обязательна.

Как видно из таблицы 2, представленные приборы предназначены для разных задач, и их выбор зависит от конкретных целей. Выбор ставится на Microlab 40, если нужен полный лабораторный анализ на месте для прогноз-

ного технического обслуживания (PdM), точной диагностики износа, prolongation ресурса масла и оборудования, а также составления официальных отчетов. Он подходит для крупных автопарков. В других случаях выбирается BALTECH OA-5000, если нужен инструмент для линейного оперативного контроля. Его используют механики и сервисные инженеры для ежедневной проверки большого парка техники, чтобы быстро принять решение о необходимости более глубокой диагностики или замены масла. Для работы с Microlab 40 потребуются обучение оператора. Для BALTECH OA-5000 производитель также рекомендует пройти специальный 5-дневный курс для правильной интерпретации результатов. Для Microlab 40 необходимы расходные материалы (растворители, калибровочные жидкости). BALTECH OA-5000, по заявлению производителя, не требует дорогих расходных материалов.

Выводы: Проведенный анализ показал на высокую эффективность современных средств контроля моторных масел. В случае, когда автотракторный парк достигает больших размеров – рекомендуются универсальные многофункциональные средства контроля. При небольших парках – портативные приборы контроля масел. Полноценный контроль технического состояния масел возможен при сравнительной оценке нескольких выходных показателей состояния масла. Комбинация оценочных данных позволяет с высокой точностью оценить техническое состояние моторного масла. Материал будет полезен экспертам в области контроля моторных масел в эксплуатационных условиях.

Список источников

1. Патент № 2474805 С1 Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Способ диагностирования выпускного тракта поршневых двигателей внутреннего сгорания : № 2011139288/06 : заявл. 26.09.2011 : опубл. 10.02.2013 / С. С. Куков, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинская государственная агроинженерная академия". – EDN XNXMZХ.
2. Гриценко, А. В. Контроль расхода масла современных турбокомпрессоров автомобиля КАМАЗ / А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев, И. Х. Гималтдинов // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса : Научные труды Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Мудрова П.Г., Казань, 28–29 октября 2021 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 137-144. – EDN CTLGOB.
3. Гриценко, А. В. Результаты экспериментальных исследований пропускной способности электромагнитных форсунок бензиновых двигателей внутреннего сгорания / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2012. – № 5(56). – С. 40-42. – EDN RBJJSV.

4. Гриценко, А. В. Диагностирование датчиков массового расхода воздуха легковых автомобилей / А. В. Гриценко, О. Н. Ларин, К. В. Глемба // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 113-118. – EDN PLTZPV.
5. Соловьев, Р. Ю. Методы и средства тестового диагностирования системы питания двигателей внутреннего сгорания автомобилей. Технологические рекомендации : Технологические рекомендации / Р. Ю. Соловьев, А. В. Гриценко, С. С. Куков. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка Россельхозакадемии, 2013. – 40 с. – EDN VBZBHT.
6. Тестовые методы диагностирования систем двигателей внутреннего сгорания автомобилей : Монография / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, К. В. Глемба [и др.] ; Южно-Уральский государственный аграрный университет, Институт Агроинженерии. – Челябинск : Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2016. – 210 с. – ISBN 978-5-88156-729-3. – EDN VYANWJ.
7. Гриценко, А. В. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2011. – Т. 59. – С. 30-32. – EDN OZPFMD.
8. Plaksin, A. Modernization of the turbocharger lubrication system of an internal combustion engine / A. Plaksin, K. Glemba, A. Gritsenko // International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2015), Chelyabinsk, 22–23 октября 2015 года. – Chelyabinsk, 2015. – P. 857-862. – DOI 10.1016/j.proeng.2015.12.122. – EDN WUTXDR.
9. Гриценко, А. В. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания (экспериментальная и производственная реализация на примере ДВС автомобилей) : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Гриценко Александр Владимирович. – Челябинск, 2014. – 40 с. – EDN ZPGZRB.
10. Gritsenko, A. V. Studuing Lubrication System of Turbocompressor Rotor with Integrated Electronic Control / A. V. Gritsenko, A. M. Plaksin, V. D. Shepelev // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, Saint-Petersburg, 16–19 мая 2017 года. – Saint-Petersburg, 2017. – P. 611-616. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.525. – EDN ZRFHXR.
11. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем топливоподачи и смазки двигателей внутреннего сгорания / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, К. И. Лукомский, В. В. Волюнкин // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 7(125). – С. 53-58. – EDN QZDVGF.
12. Плаксин, А. М. Результаты экспериментальных исследований времени выбега ротора турбокомпрессора ТКР-11 / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2014. – Т. 70. – С. 130-135. – EDN TCSNVV.

13. Гриценко, А. В. Диагностирование автомобильных генераторов по осциллограммам напряжения / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 2. – С. 13-15. – EDN UWUPXT.
14. Результаты исследования выходных характеристик электрических насосов автомобилей при имитации сопротивления в нагнетательном топливопроводе / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин, К. В. Глемба [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-5. – С. 991-995. – EDN SYEFIZ.
15. Разработка метода и средства диагностирования электробензонасосов системы топливоподачи ДВС / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, О. Н. Ларин [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2015. – № 1. – С. 40-44. – EDN TMPZVN.
16. Гриценко, А. В. Техничко-экономическая эффективность от внедрения модернизированной системы смазки турбокомпрессора / А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев // АПК России. – 2015. – Т. 72, № 2. – С. 39-45. – EDN TYHYQT.
17. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров дизелей тракторов / А. Ю. Бурцев, А. М. Плаксин, А. В. Гриценко // Достижения науки - агропромышленному производству: МАТЕРИАЛЫ LIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Челябинск, 29–31 января 2015 года / Под редакцией П.Г. Свечникова. Том II. – Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2015. – С. 27-33. – EDN TVGLST.
18. Гриценко, А. В. Комплексное диагностирование электрического бензонасоса системы топливоподачи / А. В. Гриценко, Д. Б. Власов, А. М. Плаксин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 5-4(25-4). – С. 239-243. – EDN XAYBJH..
19. Исследование помпажа путем совершенствования конструкции стенда для испытания сельскохозяйственных турбокомпрессоров / Т. И. Исинтаев, Б. К. Калиев, А. М. Плаксин [и др.] // АПК России. – 2020. – Т. 27, № 4. – С. 642-648. – EDN VKNNEJ.
20. Гриценко, А. В. Контроль выбега ротора современных турбокомпрессоров автомобиля КАМАЗ / А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев, И. Х. Гималтдинов // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса : Научные труды Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Мудрова П.Г., Казань, 28–29 октября 2021 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 128-136. – EDN KGQMKK.
21. Диагностирование электрических насосов по силе тока питания при сопротивлении в топливосистеме / К. В. Глемба, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, Д. Б. Власов // Евразийское Научное Объединение. – 2015. – Т. 1, № 11(11). – С. 16-18. – EDN VBYJXB.
22. The Role of Reverse Logistics in the Transition to a Circular Economy: Case Study of Automotive Spare Parts Logistics / I. Makarova, K. Shubenkova, P. Buyvol [et al.] // FME Transactions. – 2021. – Vol. 49, No. 1. – P. 173-185. – DOI 10.5937/FME2101173M. – EDN PXKYDE.

-
23. Forecasting the Passage Time of the Queue of Highly Automated Vehicles Based on Neural Networks in the Services of Cooperative Intelligent Transport Systems / V. Shepelev, S. Aliukov, S. Zhankaziev [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 282. – DOI 10.3390/math10020282. – EDN RGEZLG.
24. Gritsenko, A. V. Diagnostics of the fuel supply system of auto ICEs by the test method / A. V. Gritsenko, V. D. Shepelev, I. V. Makarova // Journal of King Saud University. Engineering Sciences. – 2021. – DOI 10.1016/j.jksues.2021.03.008. – EDN RXLLVJ.
25. Взаимосвязь показателей, определяющих уровень технико-технологической оснащенности процессов в растениеводстве / А. М. Плаксин, И. Ганиев, А. В. Гриценко, К. В. Глемба // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 12(99). – С. 194-199. – EDN THAMWJ.