

Научная статья
УДК 621.432/004.932

В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, А.И. Цымбалюк, А.В. Макаревич

Белорусский государственный аграрный технический университет, Беларусь

ОЦЕНКА ЗОН МАСЛЯНОГО ПЯТНА НА ХРОМАТОГРАММАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАГИНА *RADIAL PROFILE* ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА *IMAGEJ*

Аннотация. Предложен метод оценки зон масляного пятна на хроматограммах моторного масла с использованием плагина *Radial Profile* программного комплекса *ImageJ*. Традиционные органолептические методы оценки размеров и интенсивности окраски зон заменяются объективным количественным анализом: плагин строит профиль нормализованных интегрированных интенсивностей по радиусу, определяя границы зон и их калиброванные размеры. Приведены примеры анализа моторного масла Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой, демонстрирующие изменения интенсивности и возможность перевода в балльные шкалы. Преимущества методики: минимизация субъективных ошибок, сравнимость профилей разных образцов, интеграция с другими методами и автоматизация.

Ключевые слова: моторное масло, хроматограмма, кольцевые зоны, *ImageJ*, *Radial Profile*, количественная оценка, интенсивность окраски, размеры зон.

V.K. Korneeva, V.M. Kapteevich, A.I. Tsymbalyuk, A.V. Makarevich

Belarusian State Agrarian Technical University, Belarus

EVALUATION OF OIL SPOT ZONES ON CHROMATOGRAMS USING THE RADIAL PROFILE PLUGIN OF THE IMAGEJ SOFTWARE PACKAGE

Annotation. A method for assessing oil slick zones in motor oil chromatograms is proposed using the Radial Profile plugin of the ImageJ software package. Traditional organoleptic methods for assessing zone size and color intensity are replaced by objective quantitative analysis: the plugin constructs a profile of normalized integrated intensities along the radius, determining zone boundaries and their calibrated sizes. Examples of analysis of Lukoil Avangard 10W40 motor oil with varying mileage are provided, demonstrating intensity changes and the possibility of converting them to point scales. Advantages of the method include minimizing subjective errors,

comparability of profiles across different samples, integration with other methods, and automation.

Keywords: motor oil, chromatogram, ring zones, ImageJ, Radial Profile, quantitative assessment, color intensity, zone sizes.

Капельная проба является одним из наиболее доступных и информативных методов экспресс-диагностики состояния моторного масла [1–3]. Ее уникальное преимущество заключается в том, что, в отличие от стандартных лабораторных методов анализа (спектрометрия, хроматография, ИК-спектроскопия), она не требует сложного оборудования и может быть выполнена в любых условиях эксплуатации техники. При этом визуальная структура сформированного пятна на фильтровальной бумаге несет важную информацию о физических и химических процессах, протекающих в смазочном материале.

Характерные зоны масляного пятна (хроматограммы) – ядро, его кольцевая зона, диффузионная зона и зона чистого масла и топлива – представляют собой результат фильтрационного разделения продуктов деструкции масла в пористой среде бумаги [4]. Их морфология и относительные размеры зависят от степени деградации масла, наличия механических примесей, сажи, шлама, продуктов термоокислительной деструкции. Таким образом, метод позволяет получить интегральный «отпечаток состояния» масла, отражающий как физический износ смазочного материала, так и эффективность его работы в двигателе.

Анализ хроматограммы заключается, во-первых, в определении размеров кольцевых зон (ядра и его краевой зоны, диффузионной зоны, зоны воды, зоны чистого масла и топлива), и, во-вторых, в оценке интенсивности их окрашивания, что позволяет судить о диспергирующей способности моторного масла, степени его окисления, а также загрязненности механическими примесями, водой и топливом. Традиционно оценка этих показателей (размеров и интенсивности окрашивания кольцевых зон) осуществляется посредством ручного измерения и анализа цвета органолептическим методом [4].

Современный этап развития цифровых технологий и автоматизации экспериментов характеризуется большими возможностями для обработки экспериментальных данных, предусматривающей использование различных программных инструментов. Одним из таких инструментов является находящийся в открытом доступе программный комплекс *ImageJ* [5], первоначально созданный для анализа цифровых изображений в биологии и медицине, а в настоящее время применяемый для решения технических задач, в том числе, с использованием различных плагинов.

В работе [6] предложен новый методический подход колориметрического метода определения интенсивности окраски кольцевых зон хроматограммы, основанный на использовании программного комплекса *ImageJ*. Подход заключается в калибровке балльных шкал ядра и диффузионной зоны, предложенных Г. Хорстмейером [3], и непосредственной количественной оценке экспериментальных результатов по цифровым изображениям хроматограмм моторного масла. Однако, данный подход, во-первых, не предусматривает определение размеров кольцевых зон на хроматограмме и, во-вторых, требует ручного выделения областей ядра и диффузионной зоны и оценки интенсивности их окрашивания.

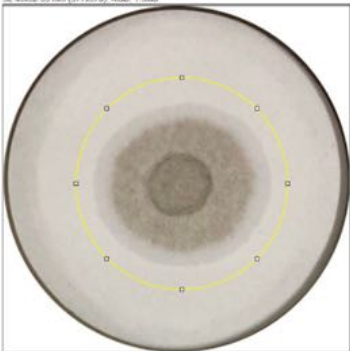
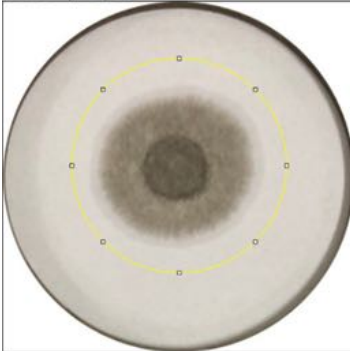
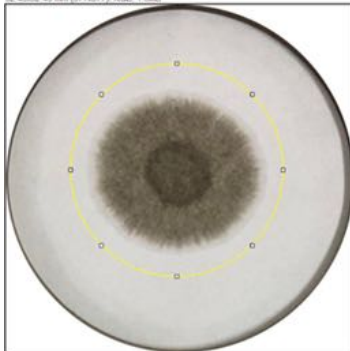
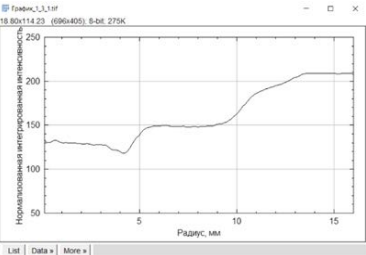
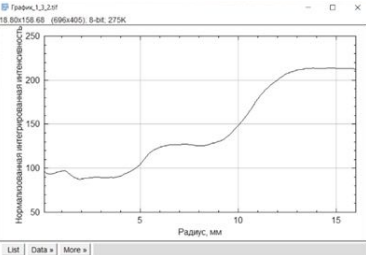
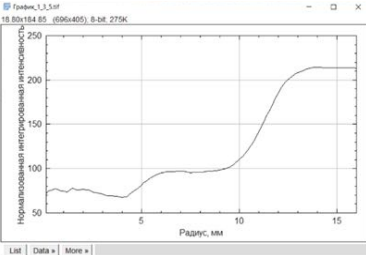
Для устранения вышеприведенных недостатков при анализе хроматограмм моторного масла предложено использовать плагин *Radial Profile* программного комплекса *ImageJ*, позволяющий построить профиль нормализованных интегрированных интенсивностей вокруг концентрических окружностей в зависимости от расстояния от точки на изображении. Интенсивность на любом заданном расстоянии от точки представляет собой сумму значений пикселей по окружности. Центр этой окружности находится в точке, а расстояние от нее – в радиусе. Интегрированная интенсивность делится на количество пикселей в окружности, которая также является частью изображения, что дает нормализованные сопоставимые значения.

При анализе хроматограммы масляного пятна плагин *Radial Profile* позволяет получить объективный профиль изменения интенсивности окраски кольцевых зон, а также определить их размеры.

Для доказательства возможности использования этого плагина при анализе хроматограмм выбраны моторные масла марки Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 33, 88 и 250 ч. В таблице представлены цифровые изображения хроматограмм рассматриваемых масел и их графические зависимости нормализованной интегрированной интенсивности, полученные при помощи плагина *Radial Profile*.

Анализ цифровых изображений и полученных графических зависимостей показывает заметные изменения в интенсивности окраски кольцевых зон, что позволяет определить их границы и оценить размеры. Пример установления границ зон и оценка их размеров для моторного масла с наработкой 33 ч представлен на рисунке 1.

**Изменение нормализованной интегрированной интенсивности
окрашивания зон масляных пятен моторного масла с различной
наработкой τ**

τ , ч	33	88	250
Хроматограммы			
Интегрированная интенсивность			

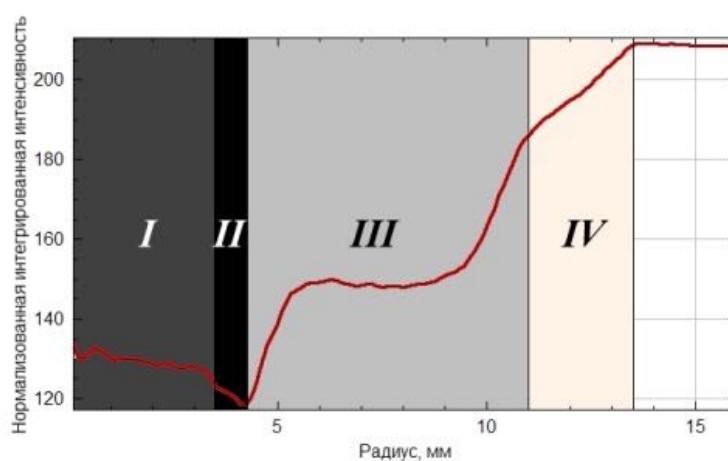


Рисунок 1. Оценка размеров кольцевых зон масляного пятна: *I* – ядро (радиус 3,5 мм); *II* – кольцевая зона ядра (радиус 4 мм); *III* – диффузионная зона (радиус 11 мм); *IV* – зона чистого масла и топлива (радиус 13,5 мм)

Плагин позволяет также сравнивать изменение интенсивностей окраски масляных пятен при различной наработке моторных масел путем представления их на одной координатной плоскости (рисунок 2).

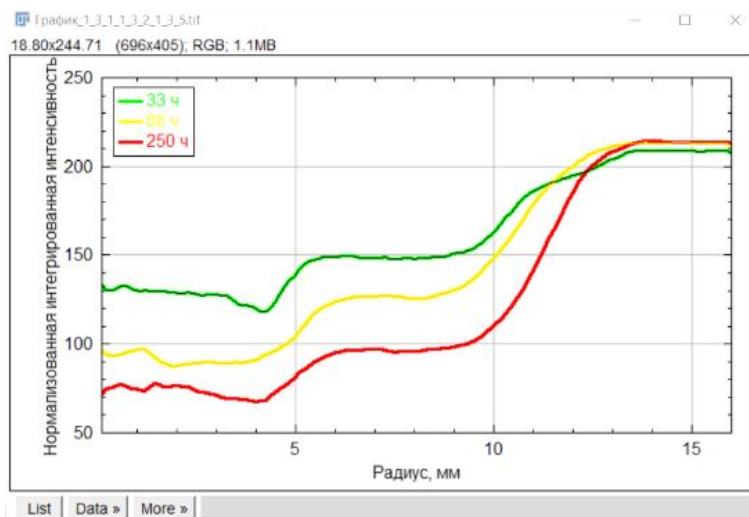


Рисунок 2. Графики изменения интенсивностей окраски масляных пятен при различной наработке моторных масел

Важным преимуществом плагина, помимо построения графических зависимостей, является возможность получения численных значений изменения интенсивности окраски в радиальном направлении от 0 (центр пятна) через каждые 0,12 мм (1 пиксель). Это позволяет осуществлять перевод значений интенсивности окраски ядра и диффузионной зоны в баллы шкал Г. Хорстмейера, используя графические и функциональные зависимости, полученные нами в работе [6]. На рисунке 3 представлена балльная оценка ядра и диффузионной зоны для моторных масел с различной наработкой.

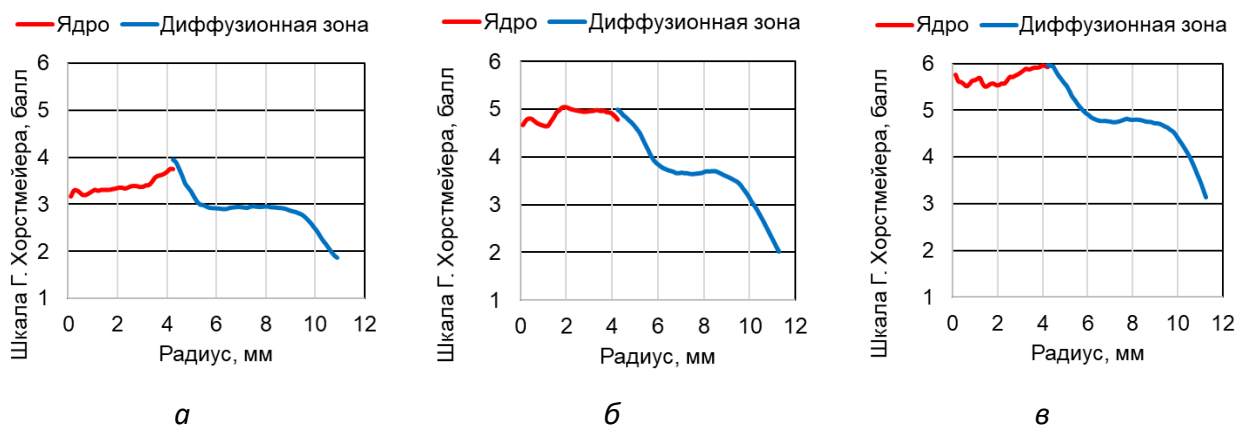


Рисунок 3. Балльная оценка интенсивности окраски зон масляного пятна моторных масел с различной наработкой: а – 33 ч; б – 88 ч; в – 250 ч

В заключении следует сказать, что использование плагина *Radial Profile* в программе *ImageJ* для анализа масляных пятен предоставляет ряд значительных преимуществ, способствующих повышению точности и эффективности мониторинга состояния моторных масел. Во-первых, плагин обеспечивает переход от субъективной визуальной оценки к объективному

количественному анализу, позволяя получать численные значения распределения интенсивности по радиусу пятна, такие как нормализованная интегрированная плотность и калиброванные размеры зон (в мм или других единицах). Это минимизирует ошибки, связанные с человеческим фактором, и повышает воспроизводимость результатов. Во-вторых, нормализация данных делает возможным сравнение профилей от разных образцов масла, независимо от условий съемки или освещения, что особенно полезно для мониторинга старения в динамике (например, при удлинённых интервалах замены масла). В-третьих, как часть бесплатного открытого программного комплекса *ImageJ*, плагин доступен, интегрируется с другими методами анализа и может быть автоматизирован через макросы, способствуя оптимизации процессов в лабораториях и непосредственно в условиях организаций АПК. Таким образом, внедрение этого инструмента не только позволит повысить надежность диагностики, но и будет способствовать экономии ресурсов за счет предотвращения преждевременных поломок сельскохозяйственной техники.

Список использованной литературы.

1. Standard Test Method for Measuring the Merit of Dispersancy of In-Service Engine Oils with Blotter Spot Method: ASTM D7899-19. – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. – 7 p.
2. Остриков, В.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие / В.В. Остриков, С.А. Нагорнов, О.А. Клейменов, В.Д. Прохоренков, И.М. Курочкин, А.О. Хренников, Д.В. Доровских. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с.
3. Способ и устройство для анализа масел и технических рабочих жидкостей и для квалифицированной оценки рабочих состояний элементов: пат. RU 2 649 095: МПК G 01 N 21/29 / Г. Хорстмейер. – Заявл. 11.09.14; опубл. 29.03.2018.
4. Капцевич, В.М. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В.М. Капцевич, С.К. Карпович, В.К. Корнеева, И.В. Закревский. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.
5. Ferreira, T. ImageJ user guide /Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
6. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 1. Колориметрические методы / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич // Агропанорама. – 2024. – № 6. – С. 29-36.