

8. Мокрова, С.М. Сравнительное исследование методов представления результатов текстурного анализа поликристаллических материалов / С.М. Мокрова, В.Н. Милич // Интеллектуальные системы в производстве. – 2023. – Том 21. – № 1. – С. 23–32.

9. Haddad, Y.M. Food texture analysis in quality evaluation and product development / Y.M. Haddad // Journal of Food Science Research. – 2025. – № 10 (2). P. 1-2.

Summary. This paper analyzes the potential of image texture analysis based on a gray-level co-occurrence matrix, implemented in the ImageJ software environment. It is shown that GLCM parameters are informative for describing the texture of oil slick chromatograms and have a clear physical interpretation related to the distribution of contaminants and oil degradation products. Using the GLCM Texture plugin allows for formalizing texture analysis and moving from a qualitative visual assessment to quantitative characteristics. Key parameters (ASM, contrast, correlation, IDM, entropy) that can potentially be used as diagnostic indicators are identified.

УДК 621.432/004.932

Корнеева В.К., кандидат технических наук, доцент;
Капцевич В.М., доктор технических наук, профессор;
Пернач Е.Е.; Королец И.С.; Селицкий Е.И., студенты
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХРОМАТОГРАММ МОТОРНОГО МАСЛА ЛУКОЙЛ АВАНГАРД 10W-40 В RGB-ПРОСТРАНСТВЕ

Аннотация. Представлены результаты исследования возможностей экспресс-диагностики моторного масла Лукойл Авангард 10W-40 с применением колориметрического анализа. Для измерения RGB-характеристик в кольцевых зонах хроматограмм моторного масла с различной наработкой использован плагин *Color Inspector 3D* программы *ImageJ*. Установлены корреляционные зависимости между цветовыми параметрами и степенью деградации масла. Определены пороговые значения RGB-компонентов для оценки технического состояния масла.

Abstract. The results of a study examining the rapid diagnostic capabilities of Lukoil Avangard 10W-40 motor oil using colorimetric analysis are presented. The Color Inspector 3D plugin of ImageJ was used to measure RGB characteristics in the annular zones of chromatograms of motor oils with different mileage levels. Correlations between color parameters and the degree of oil degradation were established. Threshold values for RGB components for assessing the technical condition of the oil were determined.

Ключевые слова. Хроматограмма моторного масла, колориметрия, RGB-анализ, экспресс-диагностика, *ImageJ*, *Color Inspector 3D*, деградация масла.

Keywords. Motor oil chromatogram, colorimetry, RGB analysis, express diagnostics, ImageJ, Color Inspector 3D, oil degradation.

Экспресс-диагностика состояния моторных масел является важной задачей технического обслуживания ДВС автотракторной техники. Традиционные лабораторные методы анализа требуют значительного времени и специализированного оборудования, что делает их непригодными для оперативной оценки состояния масла непосредственно в полевых условиях [1]. Одним из простых и информативных экспресс-методов является метод капельной пробы (*Blotter Spot*) [2], основанный на капиллярной хроматографии моторного масла на фильтровальной бумаге, который позволяет получать визуальную картину (хроматограмму) распределения продуктов дегградации в масляном пятне.

Среди современных методов экспресс-анализа особое место занимает колориметрический анализ [3], основанный на измерении цветовых характеристик объектов исследования. Такой подход при анализе хроматограмм позволяет количественно оценить степень дегградации масла без использования дорогостоящего оборудования. Визуальная оценка масляного пятна давно применяется для определения состояния масла, однако субъективность восприятия цвета ограничивает точность диагностики. Применение инструментальных методов измерения цвета позволяет объективизировать результаты анализа и обеспечить воспроизводимость данных.

Целью настоящей работы является установление количественных критериев оценки состояния моторного масла на основе *RGB*-измерений в различных зонах масляного пятна с использованием программного обеспечения для колориметрического анализа изображений.

При нанесении капли моторного масла на фильтровальную бумагу происходит ее капиллярное растекание. При этом крупные частицы износа деталей ДВС, агрегированной сажи и продукты термического разложения масла в результате механизма поверхностного фильтрования формируют зону ядра. Более мелкие частицы коллоидной сажи, вода и топливо продвигаются дальше по капиллярам бумаги в режиме глубинного фильтрования, образуя диффузионную зону. Мелкие молекулы и полярные соединения формируют периферийную зону чистого масла и топлива.

В процессе эксплуатации моторное масло подвергается комплексу деструктивных процессов. Термическое окисление приводит к образованию кислородсодержащих соединений – спиртов, кетонов, альдегидов и карбоновых кислот. Эти соединения имеют более высокую полярность по сравнению с исходными углеводородами и характеризуются интенсивной коричневой окраской. Накопление сажи в масле является индикатором неполного сгорания топлива и проявляется в почернении масляного пятна. Попадание охлаждающей жидкости в масло приводит к образованию эмульсий и изменению структуры масляного пятна. Присутствие антифриза вызывает появление характерных желто-оранжевых включений.

В качестве объекта исследований выбирались цифровые изображения хроматограмм моторных масел Лукойл Авангард 10W-40 с наработкой 33,

88, 185 и 250 ч, отобранных из картера ДВС Д-260.4S2 трактора Беларусь 2022.3 при проведении весенних полевых работ.

Колориметрический анализ в RGB -пространстве выполнялся в программном комплексе *ImageJ* [4] с использованием плагина *Color Inspector 3D* [5–7]. Данный плагин позволяет проводить измерения в различных цветовых пространствах (RGB , HSV , Lab и др.) В настоящей работе для обеспечения максимальной воспроизводимости и простоты интерпретации результатов использовалось цветовое пространство RGB , основанное на аддитивном смешении трех основных цветов – красного (*Red*), зеленого (*Green*) и синего (*Blue*). Каждый пиксель изображения характеризуется тремя значениями интенсивности в диапазоне от 0 до 255.

Для каждой хроматограммы моторного масла с различной наработкой проводились измерения в цветовых координатах RGB для ядра, диффузионной зоны и всего масляного пятна. Для обеспечения статистической достоверности средних значений измерения проводились при помощи инструмента выделения области интереса, охватывающего не менее 500 пикселей. Кроме получения численных значений цветовых координат R , G и B плагин позволяет визуализировать выделенную область в RGB -пространстве (рисунк).

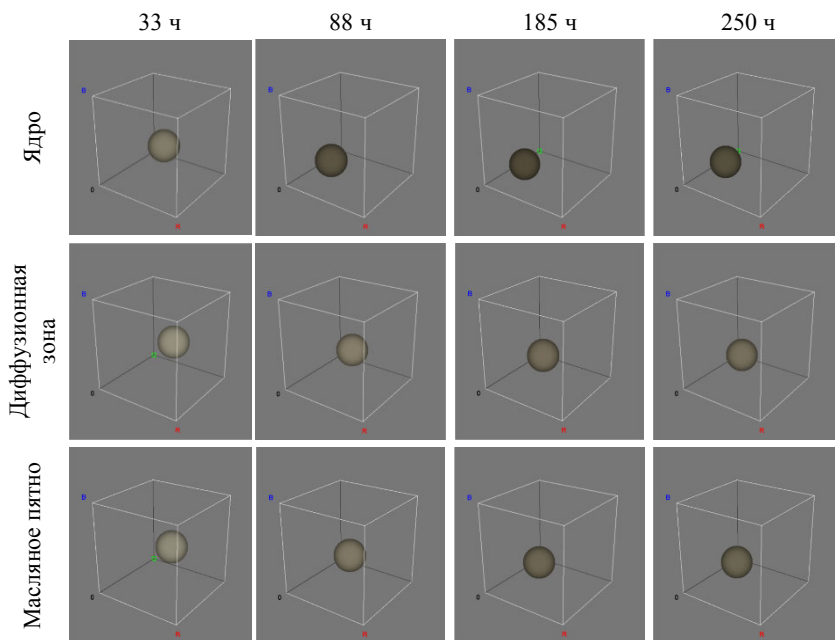


Рисунок – Визуализация зон хроматограмм моторного масла с различной наработкой в RGB -пространстве

По полученным данным измерений рассчитывали яркость I по формуле [8]:

$$I = 0,299R + 0,587G + 0,114B ,$$

а также разность между цветовыми координатами R и $B - \Delta_{R,B}$ и разность между цветовыми координатами R и $G - \Delta_{R,G}$. Кроме того дополнительно оценивали количественное изменение цветовых координат ε (%) с увеличением наработки с 33 ч до 185 ч.

Результаты измерений и расчетов исследуемых параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и расчетов исследуемых параметров в RGB -пространстве

Зона	Параметр	Наработка, ч				ε , %
		33 ч	88 ч	185 ч	250 ч	
Ядро	R	130	92	82	86	–37%
	G	126	85	75	81	–41%
	B	107	68	58	63	–46%
	I	125	85	75	80	–40%
	$\Delta_{R,B}$	23	24	24	23	–
	$\Delta_{R,G}$	4	7	7	5	–
Диффузионная зона	R	149	135	118	118	–21%
	G	145	127	110	111	–24%
	B	126	107	91	91	–28%
	I	144	127	110	111	–24%
	$\Delta_{R,B}$	23	28	27	27	–
	$\Delta_{R,G}$	4	8	8	7	–
Масляное пятно	R	145	129	109	108	–25%
	G	141	121	102	103	–28%
	B	123	102	83	83	–33%
	I	140	121	102	102	–27%
	$\Delta_{R,B}$	22	27	26	25	–
	$\Delta_{R,G}$	4	8	7	5	–

Ядро масляного пятна представляет собой центральную зону, где концентрируются тяжелые продукты деградации. Анализ результатов, представленных в таблице 1, для ядра, представляющего собой зону, в которой концентрируются тяжелые продукты деградации, показывает заметное снижение яркости при увеличении наработки. Так, яркость уменьшается с 125 при 33 ч до 75 при 185 ч, что составляет снижение на 40 %. Разность $\Delta_{R,B}$ стабильно сохраняется на уровне 23–24, что указывает на преобладание желто-коричневых оттенков во всех исследованных образцах.

В диффузионной зоне, характеризующейся мелкими по размеру продуктами деградации, наблюдается аналогичная тенденция к снижению яркости, однако интенсивность изменений меньше. Снижение яркости составляет

24 % (с 144 до 110) при переходе от 33 к 185 ч наработки. При этом разность $\Delta_{R,B}$ увеличивается с 23 до 27–28, что свидетельствует о более интенсивном накоплении продуктов окисления в периферийной зоне.

Интегральные показатели масляного пятна демонстрируют снижение яркости на 27 % при увеличении наработки от 33 до 185 ч. Стабилизация параметров наблюдается в интервале 185–250 ч, что может свидетельствовать о достижении квазиравновесного состояния системы.

Данные таблицы 1 показывают, что наиболее информативной зоной для диагностики является ядро масляного пятна, где изменения выражены наиболее интенсивно. Яркость ядра снижается на 40 %, тогда как масляное пятно демонстрирует снижение на 27 %.

Анализ полученных данных позволяет выделить три стадии деградации исследуемого масла. Первая стадия (33–88 ч) характеризуется интенсивным снижением яркости во всех зонах пятна. Переход от 33 к 88 ч сопровождается снижением яркости ядра на 32 %, что указывает на активное накопление продуктов деградации. Вторая стадия (88–185 ч) отличается менее интенсивными изменениями. Переход от 88 к 185 ч вызывает снижение яркости ядра еще на 12 %. Темпы деградации замедляются, что может быть связано с достижением квазиравновесного состояния между процессами образования и удаления продуктов деградации. Третья стадия (185–250 ч) демонстрирует стабилизацию параметров. Изменения яркости минимальны, разности $\Delta_{R,B}$ и $\Delta_{R,G}$ возвращаются к значениям, близким к начальным. Данный эффект может быть обусловлен выходом на режим «насыщения» или особенностями применяемого масла с противозадирными присадками.

На основании полученных данных разработаны предварительные диагностические критерии оценки состояния масла Лукойл Авангард 10W–40 по колориметрическим параметрам (таблица 2).

Таблица 2 – Диагностические критерии по яркости ядра

Состояние	I ядра	$\Delta_{R,G}$ (ядро)	$\Delta_{R,B}$ (ядро)	$\Delta_{R,G}$ (дифф. зона)	$\Delta_{R,B}$ (дифф. зона)	Интерпретация
Отличное	>110	<3	<20	<3	<20	Низкое содержание продуктов деградации
Хорошее	85–110	3–5	20–25	3–5	20–25	Допустимое содержание продуктов
Удовлетворительное	72–85	5–7	25–28	5–8	25–30	Требуется контроль
Неудовлетворительное	<72	>7	>28	>8	>30	Рекомендуется замена

Таким образом, колориметрический анализ хроматограмм масляного пятна с использованием плагина *Color Inspector 3D* программного комплекса *ImageJ* позволяет количественно оценить степень деградации мо-

торного масла Лукойл Авангард 10W-40. Установлена корреляционная зависимость между наработкой моторного масла и снижением яркости в различных зонах масляного пятна. Показано, что наиболее информативной зоной является ядро, где снижение яркости достигает 40 %. Определены пороговые значения *RGB*-параметров для диагностики состояния масла: яркость ядра менее 72 ед. указывает на необходимость замены масла. Показано, что разность $\Delta_{R,B}$ является стабильным индикатором, позволяющим оценить накопление продуктов окисления независимо от абсолютных значений яркости.

Список использованной литературы

1. Капцевич, В.М. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.
2. 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.
3. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 2. Цветовые модели и возможности их применения при колориметрических методах / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, В.В. Остриков // Агропанорама. – 2025. – № 1. – с. 29-36.
4. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
5. Barthel, K.U. 3D-Data Representation with ImageJ / K.U. Barthel // ImageJ Conference, 2006. – Luxembourg: Luxembourg Institute of Science and Technology, 2006. – 215458973.
6. Muljosumarto, C. A Case Study Color as a Visual Language: Focused on TV Commercial / C. Muljosumarto // NIRMANA. – 2017. – Vol. 17. – № 1, Januari. – P. 1-9.
7. Medina, J.J. A rapid and cost-effective pipeline for digitization of museum specimens with 3D photogrammetry / J.J. Medina [et al.] // PLoS ONE. – 2020. – № 15(8). – P. 1-14.
8. Рекомендация МСЭ-R BT.601-6. [Электронный ресурс] – URL : https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.601-6-200701-S!!PDF-R.pdf (Дата обращения: 11.05.2026).

Summary. Colorimetric analysis of oil slick chromatograms using the Color Inspector 3D plugin in ImageJ software allows for quantitative assessment of the degradation rate of Lukoil Avangard 10W-40 motor oil. A correlation was established between the oil's wear rate and the decrease in brightness in different areas of the oil slick. The most informative zone is the core, where the brightness decrease reaches 40 %.