

Научная статья

УДК 621.432/004.932

## НОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ХРОМАТОГРАММ МОТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАГИНА *INTERACTIVE 3D SURFACE PLOT*

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

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск,  
Республика Беларусь

**Аннотация.** Предложена новая методика анализа хроматограмм моторного масла, заключающаяся в использовании плагина *Interactive 3D Surface Plot* программного комплекса *ImageJ* для визуализации цифровых изображений в 3D-пространстве и определении размеров кольцевых зон масляного пятна, интенсивности их окрашивания и сравнения со шкалами Хорстмейера.

**Ключевые слова:** моторное масло, хроматограмма, кольцевые зоны, размеры, интенсивность окрашивания, *Interactive 3D Surface Plot*.

Original article

## A NEW METHOD FOR ANALYZING MOTOR OIL CHROMATOGRAMS USING THE INTERACTIVE 3D SURFACE PLOT PLUGIN

*V.K. Korneeva, V.M. Kaptsevich, A.I. Tsybalyuk, A.V. Makarevich*

Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** A new method for analyzing motor oil chromatograms is proposed, which consists in using the Interactive 3D Surface Plot plugin of the ImageJ software package for visualizing digital images in 3D space and determining the sizes of annular zones of an oil stain, the intensity of their coloring and comparison with the Horstmeyer scales.

**Key words:** motor oil, chromatogram, annular zones, sizes, coloring intensity, Interactive 3D Surface Plot.

### **Введение.**

Хроматограмма моторного масла, полученная простым и доступным экспресс-методом «капельной пробы», является источником информации о состоянии масла и возможности его дальнейшего использования. 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

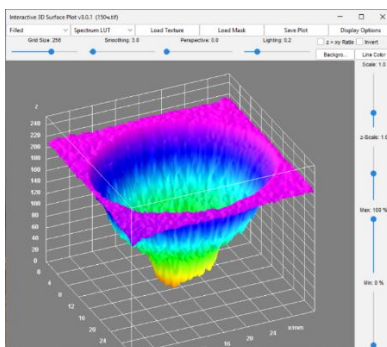
топливом. Традиционно оценка этих показателей осуществляется органолептическим методом [1]. Так, размеры кольцевых зон на хроматограмме определяются посредством ручного измерения, а интенсивности их окрашивания – путем сравнения цвета с балльной шкалой, предложенной Г. Хорстмейером [2] (далее шкала Хорстмейера). Однако, такая органолептическая оценка является субъективной и может оказаться ошибочной.

Современный этап развития компьютерных 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* [3], 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.

Цель настоящей работы: предложить новый метод анализа цифрового изображения хроматограммы моторного масла, основанный на использовании плагина *Interactive 3D Surface Plot* программного комплекса *ImageJ*.

#### **Методика исследований.**

Предлагаемый метод, основанный на использовании плагина *Interactive 3D Surface Plot* программного комплекса *ImageJ*, заключается в визуализации двумерного изображения хроматограммы моторного масла в виде трехмерного пространства и количественной оценке размеров кольцевых зон и интенсивности их окраски. Этот плагин позволяет визуализировать изображение в координатах  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ : реальное изображение и размеры отображаются на координатной плоскости  $XY$ , а интенсивность окрашивания в оттенках серого (от 255 – белый цвет, до 0 – черный цвет) – по оси  $Z$ . Плагин *Interactive 3D Surface Plot* (рисунок 1) предоставляет множество параметров для настройки визуализации изображения: формат отображения (*Filled* – сплошная заливка, *Mesh* – сетка, *Dots* – точки и др.); выбор цветовой палитры (*Grayscale* – оттенки серого, *Spectrum LUT* – радужная, *Fire LUT* – огненная, *Thermal LUT* – термографическая и др.); уровни сглаживания (*Smoothing*) и освещения (*Lighting*); представление значения  $Z$  как отношение координат  $x/y$  ( $z = xy$  Ratio); инверсия значения  $Z$  (*Invert*); выбор цвета фона (*Background Color*) и линий (*Line Color*); масштабирование (*scale*, *Z-scale*, *Max*, *Min*) и др.



### Рисунок 1. Интерфейс плагина *Interactive 3D Surface Plot*

Определение размеров кольцевых зон на хроматограмме с использованием плагина *Interactive 3D Surface Plot* осуществляется непосредственным считыванием значений на изображениях в плоскости  $XY$ , а интенсивность окрашивания ядра и диффузионной зоны – путем сравнения со шкалами Хорстмейера по оси  $Z$ .

Изображения шкал Хорстмейера представлены на рисунке 2.

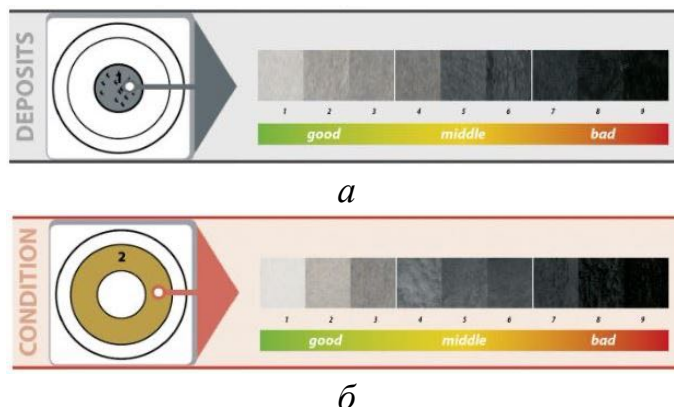


Рисунок 2. Изображения шкал Хорстмейера:  
*a* – зона ядра; *б* – диффузионная зона

В качестве объекта исследований выбрано моторное масло марки Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой: 0, 30, 100 и 150 ч. Цифровые изображения хроматограмм масел, полученных методом «капельной пробы», представлены на рисунке 3.

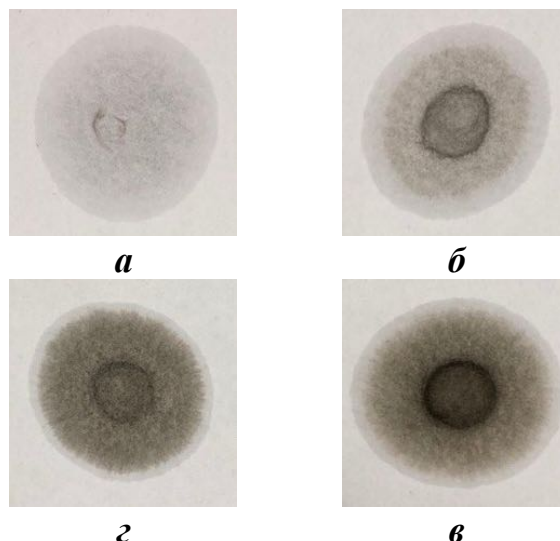


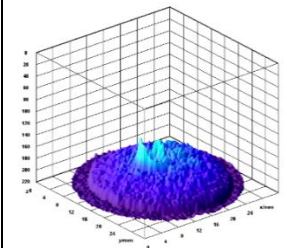
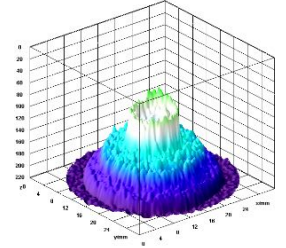
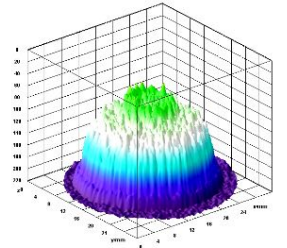
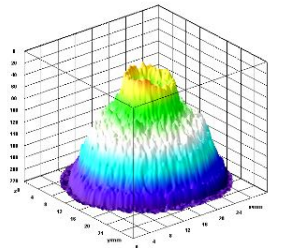
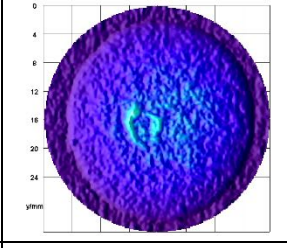
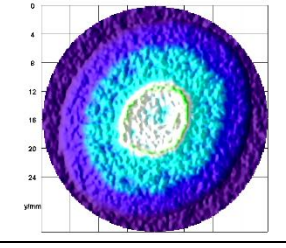
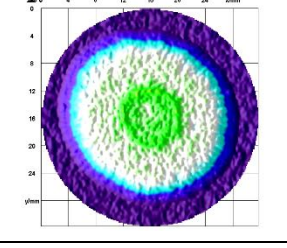
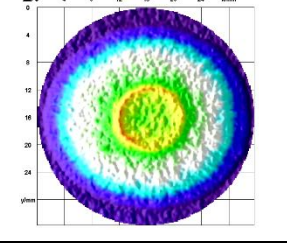
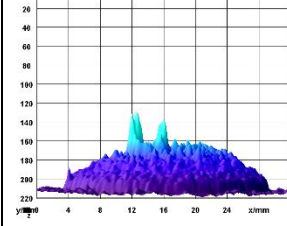
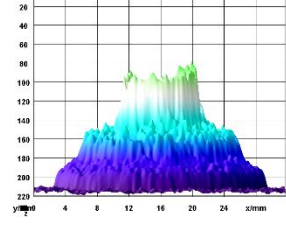
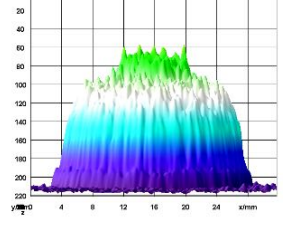
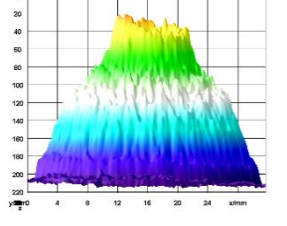
Рисунок 3. Цифровые изображения хроматограмм моторных масел с различной наработкой: *a* – 0 ч; *б* – 30 ч; *в* – 100 ч; *г* – 150 ч

#### Результаты исследований.

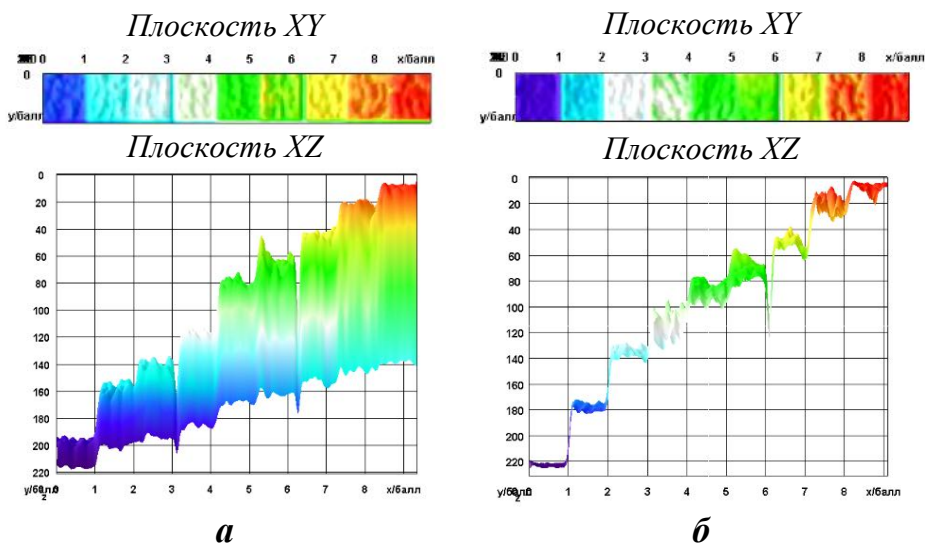
Цифровые изображения хроматограмм моторных масел с различной наработкой, полученные с использованием плагина *Interactive 3D Surface Plot* в

различных координатах представлены в таблице, а шкал Хорстмейера – на рисунке 4.

**Таблица – Цифровые изображения хроматограмм моторных масел с различной наработкой, полученные с использованием плагина *Interactive 3D Surface Plot***

Вид	Нарботка, ч			
	0	30	100	150
3D				
Плоскость XY				
Плоскость XZ				

Анализ полученных результатов (таблица) позволяет оценить размеры кольцевых зон на хроматограммах моторного масла: диаметр ядра с его кольцевой зоной находятся в диапазоне 4–10 мм, диаметр диффузионной зоны – 20–26 мм, а диаметр всего пятна – 25–28 мм, причем четкая зависимость изменения размеров зон от наработки моторного масла отсутствует.



**Рисунок 4. Цифровые изображения шкал Хорстмейера,**

### полученные с использованием плагина *Interactive 3D Surface Plot*:

*a* – ядра; *b* – диффузионной зоны

Анализ изменения интенсивности окрашивания кольцевых зон (таблица) показывает ее существенное падение с увеличением наработки моторного масла: для ядра – 130 ед. (0 ч), 90 ед. (30 ч), 60 ед. (100 ч), 20 ед. (150 ч); для диффузионной зоны – 200 ед. (0 ч), 160 ед. (30 ч), 130 ед. (100 ч), 100 ед. (150 ч). Сопоставление результатов с балльными шкалами Хорстмейера (рисунок 4) позволяет прийти к заключению, что масло с наработкой 30 ч по окраске ядра и диффузионной зоны имеют баллы 3 и 2, соответственно, что свидетельствует о том, что масло находится в работоспособном состоянии, масло с наработкой 100 ч – баллы 6 и 3, соответственно, и оно по оценке ядра находится в предаварийном состоянии, масло с наработкой 150 ч – баллы 8 и 5, соответственно, что свидетельствует о его критическом состоянии по оценке ядра и предаварийном по оценке зоны диффузии.

#### **Заключение.**

Предложенный метод анализа хроматограмм моторного масла с использованием плагина *Interactive 3D Surface Plot* программного комплекса *ImageJ* позволяет значительно повысить точность и объективность оценки состояния масла по сравнению с традиционными органолептическими методами. Визуализация хроматограмм в трехмерном пространстве позволяет количественно определить размеры кольцевых зон и интенсивность их окрашивания. Практическая значимость данного метода заключается в возможности улучшить процесс контроля качества моторного масла в условиях предприятий агропромышленного комплекса, в которых регулярная оценка состояния масла может предотвратить выход из строя сельскохозяйственной техники.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. 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.
3. Ferreira T. ImageJ user guide / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.

### REFERENCES

1. Rapid methods for monitoring the properties of motor oil of automotive and tractor internal combustion engines in the conditions of agro-industrial complex organizations / V.M. Kaptsevich et al. – Minsk: BGATU, 2023. – 120 p.
2. Method and device for analyzing oils and technical working fluids and for qualified assessment of the working conditions of elements: patent. RU 2 649 095: IPC G 01 N 21/29 / G. Horstmeyer. – Claimed. 11.09.14; published. 29.03.2018.

3. Ferreira T. ImageJ user guide / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.