

УДК 621.432/004.932

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2025-167-1-29-36>

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,

доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.М. Капцевич,

зав. каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.В. Остриков,

магистрант каф. технологии металлов БГАТУ

В статье рассмотрены основные цветовые пространства RGB, HSB и CIE Lab, позволяющие более информативно характеризовать цветное изображение. Расширены возможности колориметрических методов оценки цвета моторного масла за счет использования плагина «Color Inspector 3D» программного комплекса ImageJ. Определены цветовые координаты моторных масел в основных цветовых пространствах и проведено их сравнение с соответствующими значениями цветовых координат балльной шкалы ASTM D 1500.

Ключевые слова: моторное масло, метод оценки цвета, цветовое пространство, цветовые координаты, ImageJ, «Color Inspector 3D».

The article considers the basic RGB, HSB and CIE Lab color spaces, which allow characterizing color image more informatively. The possibilities of colorimetric methods of motor oil color evaluation are extended by using the plug-in “Color Inspector 3D” of the ImageJ software package. The color coordinates of motor oils in the main color spaces are determined and compared with the corresponding values of the color coordinates of the ASTM D 1500 point scale.

Key words: motor oil, color evaluation method, color space, color coordinates, ImageJ, «Color Inspector 3D».

Введение

Цвет является одной из основных характеристик моторных масел, по изменению которого можно судить как об изменении состояния самого масла, так и о процессах, протекающих в системах ДВС при его эксплуатации [1]. Изменение цвета масла обусловлено его термическим разложением, попаданием топлива, воды, продуктов износа и сажи. Так, при обводнении масла при неисправности системы охлаждения его цвет становится мутным, при попадании сажи из-за нарушения системы топливоподачи оно может резко чернеть, а при окислении в результате старения – цвет приобретает красновато-коричневые оттенки [2].

Одним из методов контроля за изменением цвета моторного масла является оценка цвета по ASTM D 1500 [3, 4]. Для осуществления этого метода используются различные приборы – колориметры: ЦНТ (РФ), Цвет-ПХП (РФ), Koehler Instrument

K13290 (США), Huazheng Electric HZSD-29 (КНР) и другие (рис. 1).

Принцип действия колориметров основан на визуальном сравнении цвета моторного масла, помещенного в кюветы, с цветом 16 стандартных стеклянных светофильтров с заданными значениями координат цветности, соответствующими шкале ASTM D 1500, с баллами от 0 до 8 через 0,5 единиц [5]. Такие приборы, имеющие высокую стоимость, позволяют проводить оценку цвета моторного масла только в лабораторных условиях.

Для проведения исследований в полевых условиях АПК ранее было рекомендовано [6] проводить сравнение цвета пробы моторного масла непосредственно с изображением цветовых элементов шкалы ASTM D 1500. Однако такая органолептическая оценка является субъективной и трудоемкой. Поэтому авторами было предложено [7] проводить анализ цифровых изображений моторных масел, полученных с помощью камеры фотоаппарата или смартфона, с



а **б** **в** **г**

Рисунок 1. Колориметры: а – ЦНТ; б – Цвет-ПХП; в – Koehler Instrument K13290; г – Huazheng Electric HZSD-29

использованием компьютерных технологий, в частности программного комплекса *ImageJ*.

В предыдущей работе (часть I) [7] предложена методика анализа цвета моторного масла, основанная на анализе изображений в оттенках серого. Такие изображения состоят из черных и белых пикселей, каждый из которых имеет 256 комбинаций оттенков серого. Для цветных изображений пиксели содержат информацию для трех основных цветовых каналов: красного, зеленого и синего, причем интенсивность каждого канала варьируется от 0 до 255. Поэтому сочетание этих трех основных каналов может создать 16777216 цветовых комбинаций для каждого пикселя. В отличие от изображения в оттенках серого анализ цветного изображения дает возможность в широком диапазоне цветов контролировать такие характеристики, как тон, насыщенность, яркость, что позволяет более информативно различать объекты даже при едва заметных различиях в цвете.

Представление цвета как сложного физического явления, характеризуемого длиной волны отраженного света, ее амплитудой и частотой, не нашло применения на практике. Поэтому для описания цвета при решении практических задач рассматриваются системы – цветовые пространства, описываемые в виде цветовых моделей с различными цветовыми координатами (тон, насыщенность, яркость и др.) [8].

При проведении колориметрического анализа программа *ImageJ* позволяет представить цифровые цветные изображения, используя различные цветовые пространства.

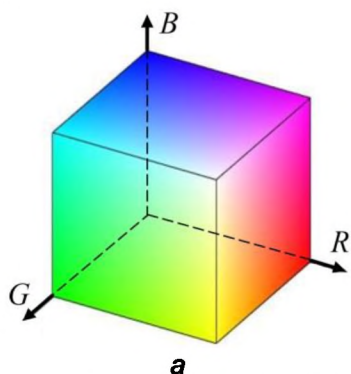
Целью второй части данной работы является развитие колориметрического метода количественной оценки цвета моторного масла, основанного на его сравнении с цветом шкалы *ASTM D 1500* в различных цветовых пространствах.

Основная часть

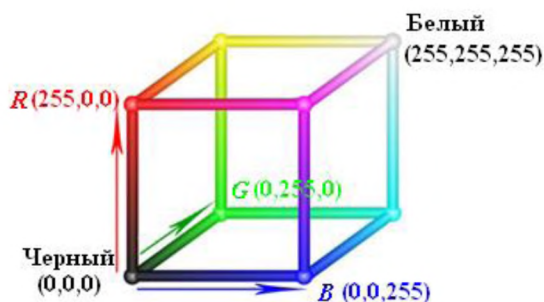
Для представления шкалы *ASTM D 1500* предлагается использовать цветовые пространства *RGB*, *HSB* и *CIE Lab* [9, 10], которые описываются в виде трехмерных моделей с определенными цветовыми координатами в различных диапазонах их значений.

Цветовое пространство *RGB* (рис. 2) описывается аддитивной моделью представления цвета объекта с помощью сочетания трех основных цветов: *R (Red)* – красный; *G (Green)* – зеленый; *B (Blue)* – синий (рис. 2а). Модель *RGB* можно представить в виде куба, в котором любой цвет задается точкой с цветовыми координатами основных цветов (*R*, *G* и *B*) соответствующей интенсивности, изменяющейся от 0 до 255 (рис. 2б). В этом случае код цвета записывается в виде перечисления цветовых координат основных цветов (*R*, *G*, *B*), разделенных запятой. Например, для зеленого – 000, 255, 000.

Цветовое пространство *HSB* (рис. 3) описывается перцепционной (интуитивной) моделью представления цвета с помощью комбинации трех базовых параметров: цветового тона *H (Hue)*, насыщенности *S (Saturation)* и яркости *B (Brightness)* (рис. 3а). Эту модель можно представить в виде цилиндра, в кото-



а



б

Рисунок 2. Цветовое пространство RGB: а – визуальное представление модели; б – цветовые координаты

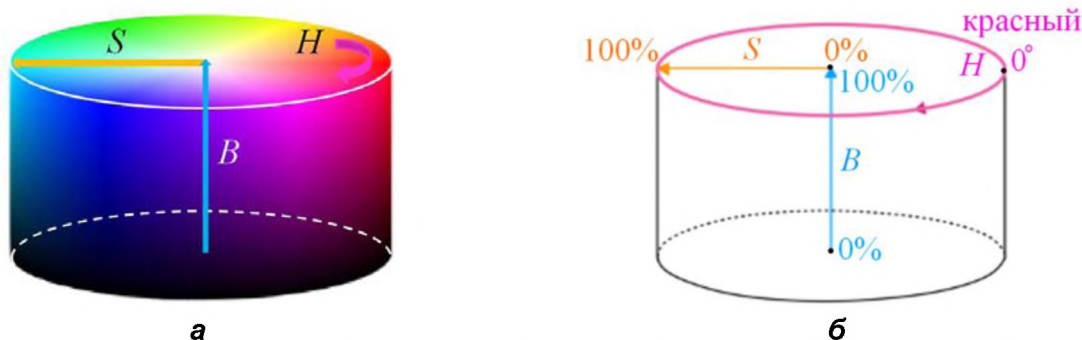


Рисунок 3. Цветовое пространство HSB: а – визуальное представление модели; б – цветовые координаты

ром любой цвет задается точкой с координатами базовых параметров: цветовой тон H – значением угла на периферии основания цилиндра от 0° (красный) через все цвета видимого спектра до 360° (красный); насыщенность S – радиальной координатой от 0 % (центр основания цилиндра) до 100 % (на периферии); яркость B – координатой по высоте цилиндра от 0 % (нижнее основание) до 100 % (верхнее основание) (рис. 3б). Код цвета цветовой модели HSB записывается в виде перечисления цветовых координат (H, S, B), разделенных запятой. Например, для зеленого цвета – $120^\circ, 100\%, 100\%$.

Цветовое пространство CIE Lab (рис. 4) описывается аппаратно-независимой моделью представления цвета с помощью комбинации трех базовых параметров: светлоты L (lightness) и двух хроматических составляющих в цветовых гаммах: a – от зеленого цвета до красного и b – от синего до желтого (рис. 4а). В цветовой модели CIE Lab любой цвет задается точкой с координатами базовых параметров (L, a и b): L – координата по высоте от 0 (черный цвет) до 100 (белый цвет); хроматическая составляющая a – от -128 (зеленый цвет) до $+127$ (красный цвет); хроматическая составляющая b – от -128 (синий цвет) до $+127$ (желтый цвет) (рис. 4б). Код цвета цветовой модели CIE Lab записывается в виде перечисления цветовых координат (L, a, b), разделенных запятой. Например, для зеленого цвета – $100, -128, 0$.

Одним из достоинств ImageJ является наличие программных модулей – плагинов, позволяющих значительно расширить функциональные возможности ком-

плекса. В настоящее время в базовый дистрибутив ImageJ включены более 1000 плагинов, состав которых можно обновлять с сайта ImageJ, а также дополнять разработанными непосредственно пользователем.

Для количественного анализа цвета нашли применение плагины – «Color Profiler», «RGB Profiler», «Color Inspector 3D», «JJP Color», «3D Surface Plot», «Volume Viewer» и другие, представляющие собой инструменты для калибровки, визуализации, преобразования цветовых данных, определения цветовых координат и т.д.

Для анализа цвета моторного масла в пространствах RGB, HSB и CIE Lab особый интерес представляет плагин «Color Inspector 3D» [11-13]. Этот плагин позволяет визуализировать цифровое изображение в 14 различных трехмерных цветовых пространствах (Color Space) (RGB, YCbCr, YIQ, YCgCo, HSB, HSV, HSL, HMMD, xyY, XYZ, Lab, Luv, KLT/PCA), менять угол наклона моделей пространств, определять цветовые координаты для каждой из них, представлять модели в различных видах отображения и др.

Применяемый плагин активируется в строке меню программы ImageJ путем выбора команд Plugins → Color Inspector 3D в виде отдельного окна (рис. 5). Далее открываем изображение шкалы ASTM D 1500 (File → Open → выбранный файл) и получаем ее 3D-изображение в цветовой модели RGB (рис. 6).

Для получения изображения шкалы в других моделях выбираем последовательность команд Color Space → выбранный вид цветового пространства (рис. 7). Например, HSB (рис. 7а), CIE Lab (рис. 7б).

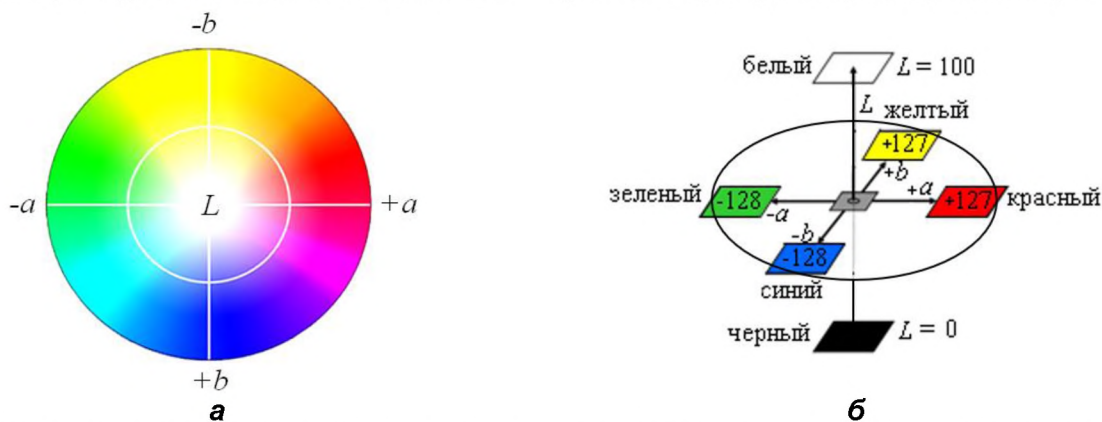


Рисунок 4. Цветовое пространство CIE Lab: а – визуальное представление модели; б – цветовые координаты

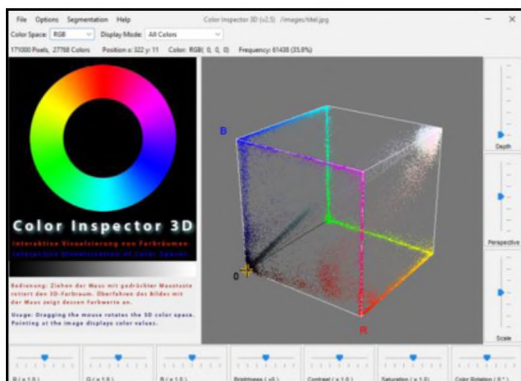


Рисунок 5. Интерфейс плагина Color Inspector 3D

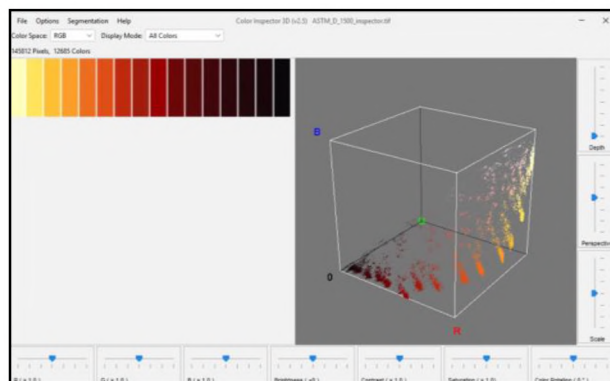
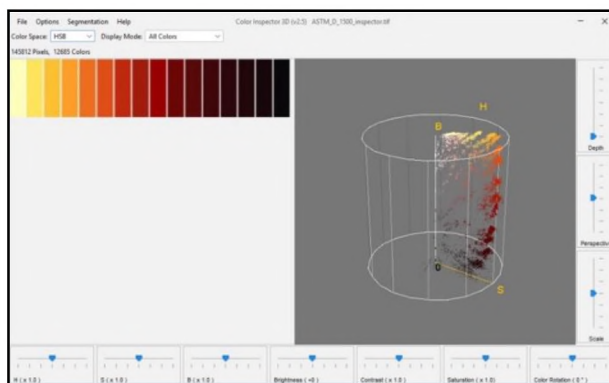
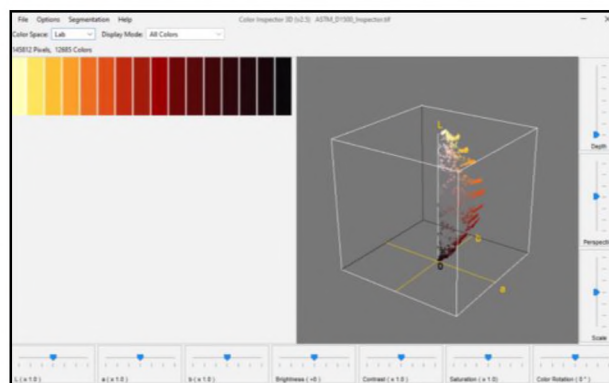


Рисунок 6. Шкала ASTM D 1500 в плагине Color Inspector 3D (модель RGB)



а



б

Рисунок 7. Шкала ASTM D 1500 в плагине Color Inspector 3D: а – модель HSB; б – модель CIE Lab

Плагин *Color Inspector 3D* позволяет выбирать пять видов отображения 3D-изображений (*Display Mode*):

- «*All Colors*» – отображаются все цвета независимо от их частоты в виде отдельных точек;
- «*Frequency Weighted*» – отображаются цвета в виде отдельных точек, количество которых в зависимости от частоты можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Weight*»;
- «*Histogram*» – отображаются близкие по цвету, объединенные в сферические ячейки с размером, пропорциональным частоте цветов, при этом количество ячеек можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Number of Color Cells*»;
- «*Median Cut*» – отображается уменьшенное с помощью метода медианного сечения [14] количество цветов, объединенных в сферические ячейки с размером, пропорциональным частоте цветов, при этом количество цветов можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Colors*»;
- «*Wu Quant*» – отображается уменьшенное с помощью алгоритма *Xiaolin Wu* [15] количество цветов, объединенных в сферические ячейки с размером, пропорциональным частоте цветов, при этом количество цветов можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Number of Colors*». Этот вид отображения используется при определении цветовых координат.

В качестве примера на рисунке 8 представлены 3D-изображения шкалы *ASTM D 1500* в цветовой мо-

дели *CIE Lab* при рассмотренных выше видах отображения.

Для определения цветовых координат для каждой заданной цветовой модели необходимо выбрать вид отображения «*Wu Quant*», вид цветового пространства (например, *HSB*) и навести курсор мыши на исследуемый элемент изображения шкалы *ASTM D 1500* (рис. 9). В приведенном примере в строке состояния отобразятся значения цветовых координат для модели *HSB* и соответствующие им значения для модели *RGB*.

Полученные значения цветовых координат для рассматриваемых моделей *RGB*, *HSB* и *CIE Lab* балльной шкалы *ASTM D 1500* представлены на рисунках 10-12.

Для обоснования работоспособности метода количественной оценки цвета моторного масла в различных цветовых пространствах определим цветовые координаты пяти моторных масел, оценка которых приведена в баллах шкалы *ASTM D 1500* (рис. 13) [5]. После чего проведем сравнение полученных значений цветовых координат с соответствующими значениями цветовых координат балльной шкалы *ASTM D 1500*.

На рисунке 14 представлены 3D-изображения анализируемых моторных масел в рассматриваемых цветовых моделях с отображением «*Wu Quant*».

Цветовые координаты моторных масел в каждой рассматриваемой цветовой модели устанавливались аналогично определению координат балльной шкалы *ASTM D 1500* (рис. 9).

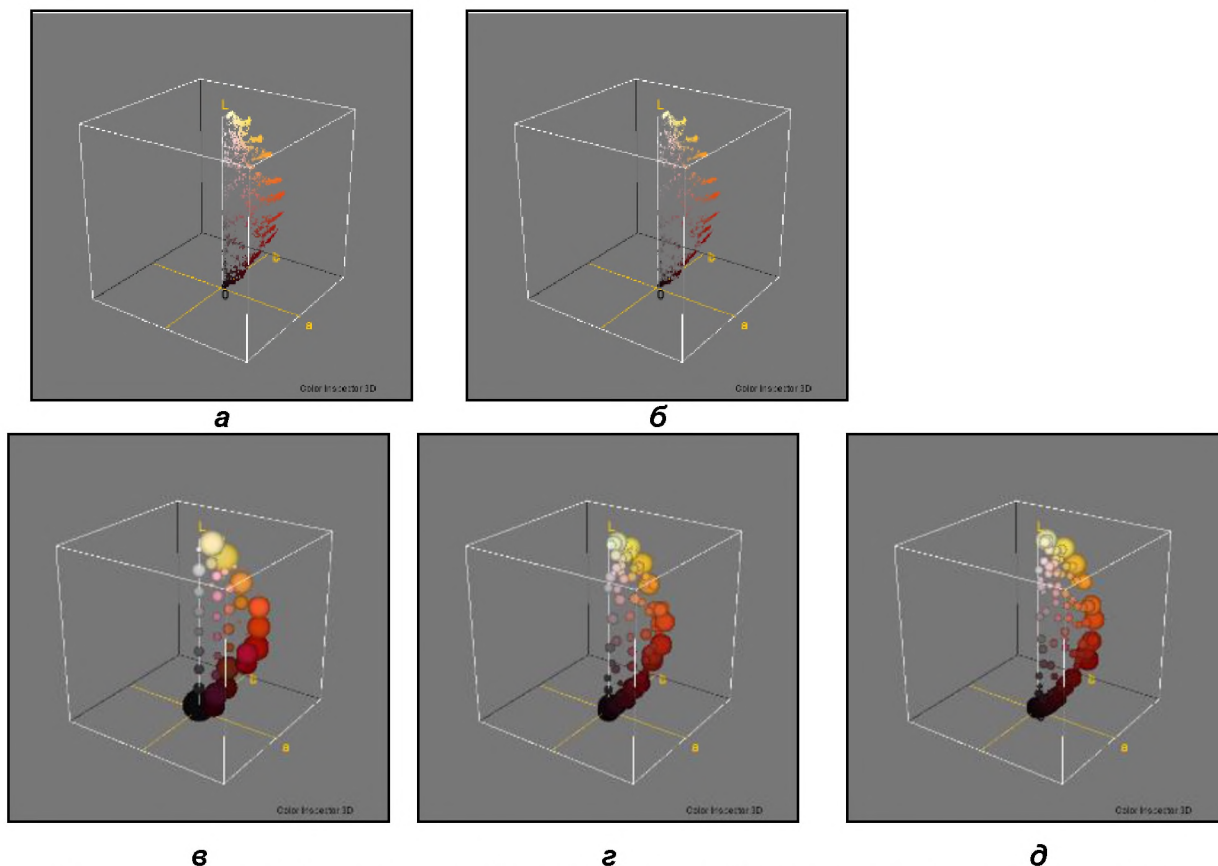


Рисунок 8. 3D-изображения шкалы ASTM D 1500 в модели CIE Lab при различных видах отображения: а – «All Colors»; б – «Frequency Weighted»; в – «Histogram»; г – «Median Cut»; д – «Wu Quant»

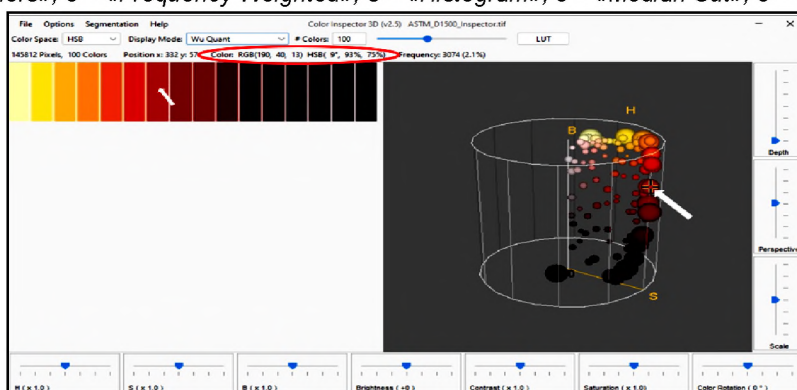


Рисунок 9. Определение значений цветowych координат шкалы ASTM D 1500 в цветовой модели HSB

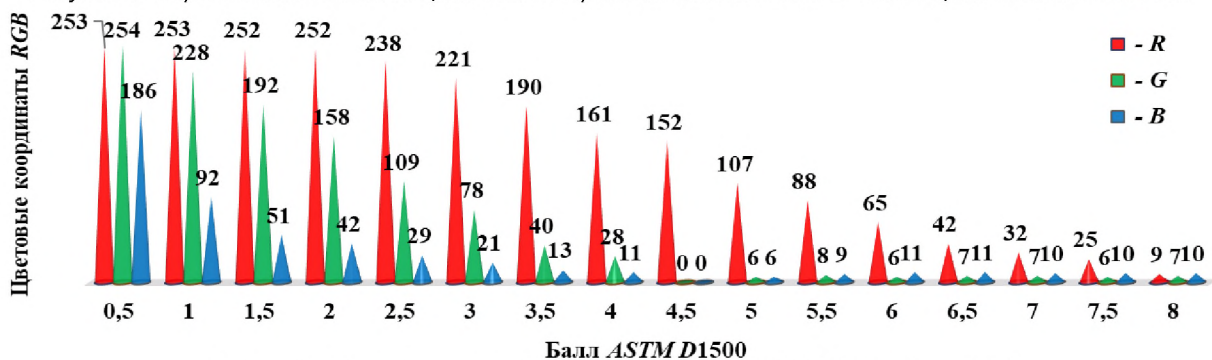


Рисунок 10. Цветовые координаты шкалы ASTM D 1500 в модели RGB

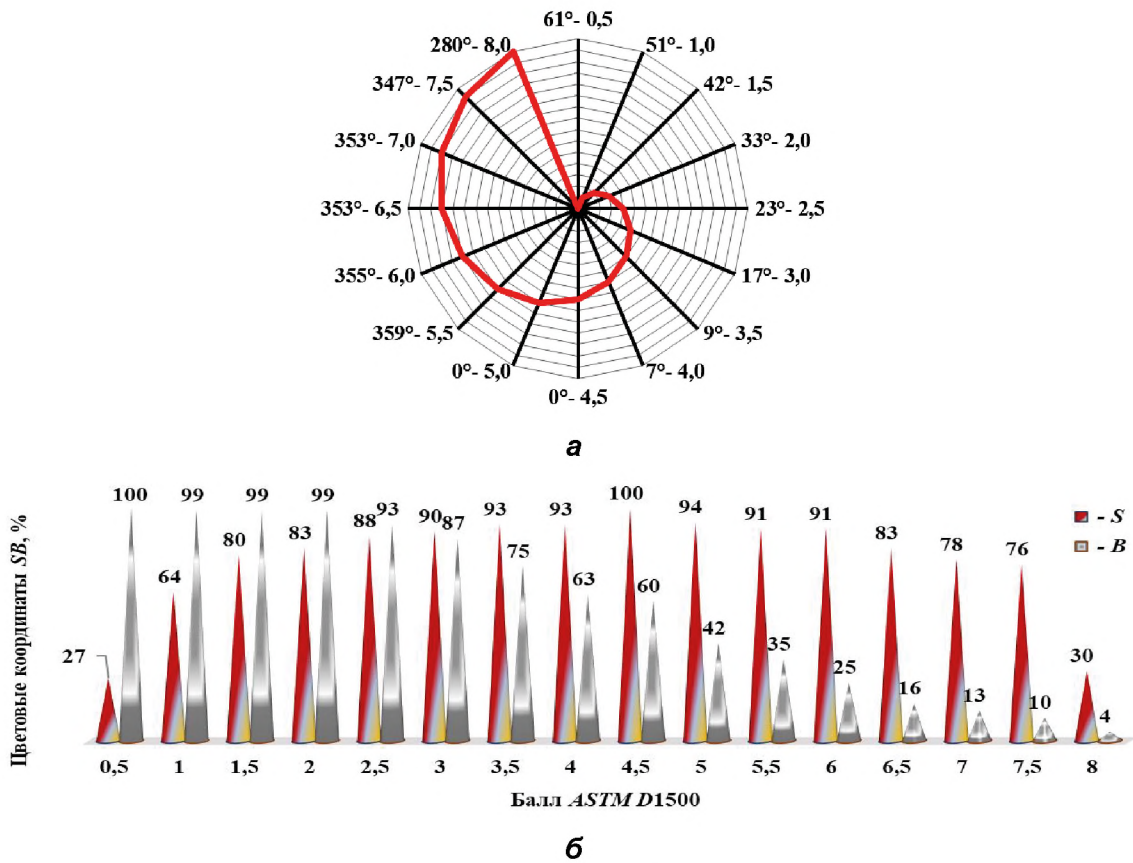


Рисунок 11. Цветовые координаты шкалы ASTM D 1500 в модели HSB: а – H; б – S и B

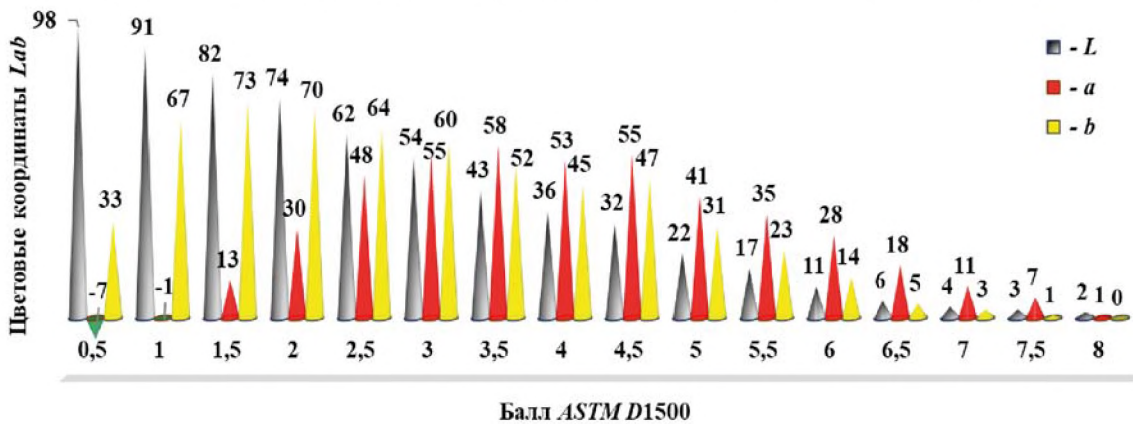


Рисунок 12. Цветовые координаты шкалы ASTM D 1500 в модели CIE Lab



Рисунок 13. Цветовое изображение моторных масел: а – внешний вид с балльной оценкой по шкале ASTM D 1500; б – выделенные фрагменты цифровых изображений

На рисунках 15-17 приведено сравнение цвет-
вых координат моторных масел в рассматриваемых
цветовых моделях RGB, HSB и CIE Lab с соответ-
ствующими координатами шкалы ASTM D 1500.

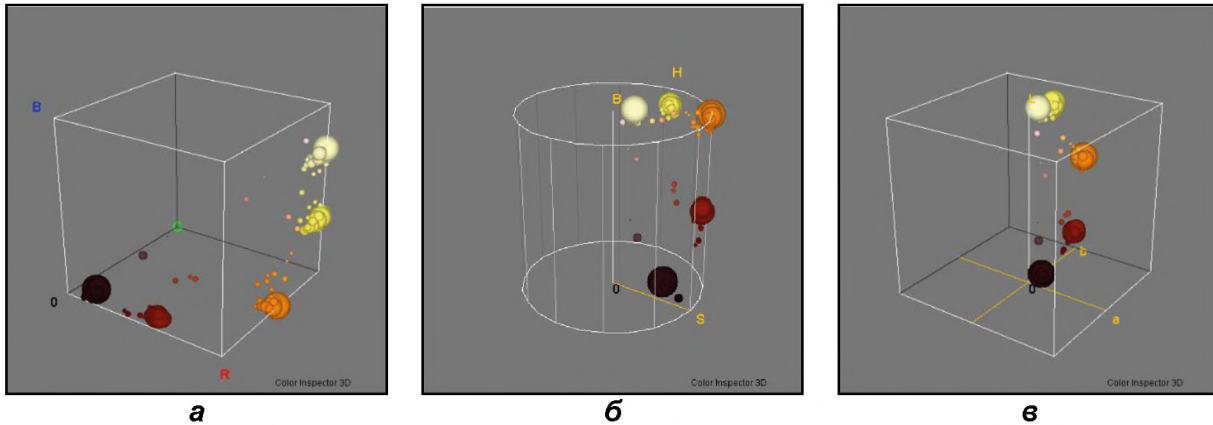


Рисунок 14. 3D-изображения моторных масел в различных моделях: а – RGB; б – HSB; в – CIE Lab

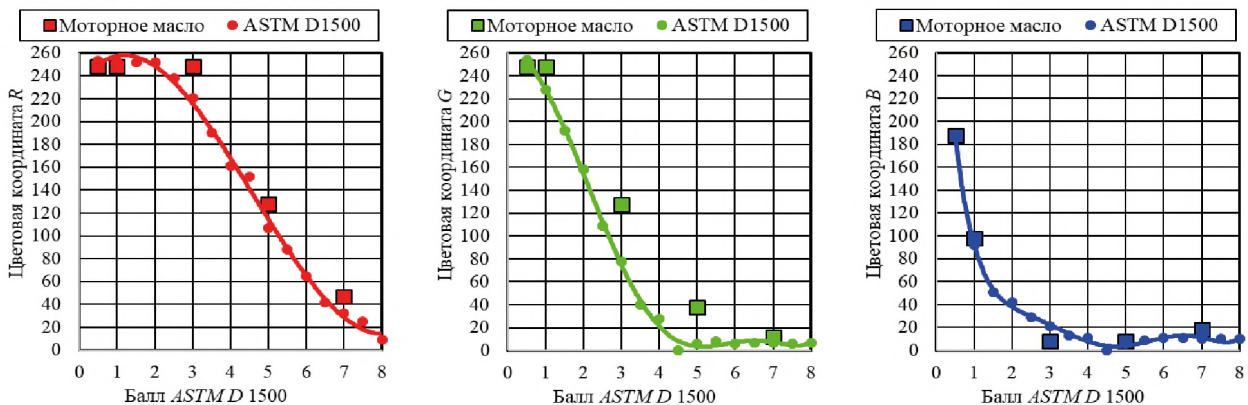


Рисунок 15. Сравнение цветовых координат моторных масел в модели RGB с координатами шкалы ASTM D 1500: а – координата R; б – координата G; в – координата B

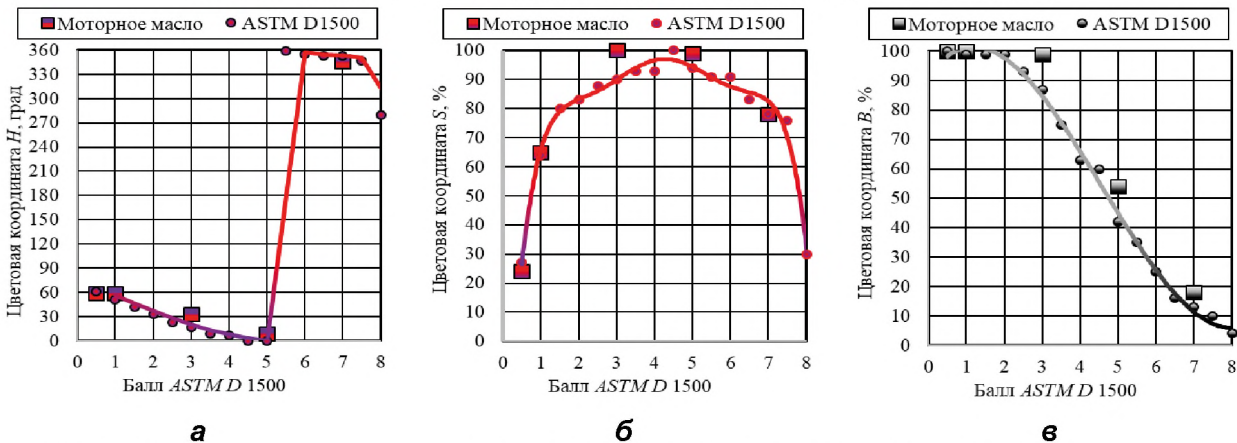


Рисунок 16. Сравнение цветовых координат моторных масел в модели HSB с координатами шкалы ASTM D 1500: а – координата H; б – координата S; в – координата B

Анализ полученных данных показывает совпадение цветовых координат r и b моторных масел в модели RGB с координатами шкалы ASTM D 1500 и значительное отклонение координаты G для масел с баллами 3,0 и 5,0 (рис. 15). В модели HSB (рис. 16) отмечается соответствие по цветовому тону H для всех масел, а для масла с баллом 3 – отклонение по насыщенности S и яркости B . В модели CIE Lab для масел с баллами 3 и 5 отклонение наблюдается по всем трем

координатам (рис. 17). Причина такого отклонения может быть связана, либо с неточной оценкой баллов при визуальном сравнении со шкалой, либо с неправильной калибровкой светофильтров при использовании колориметра.

Заключение

Рассмотрены основные цветовые пространства, описываемые цветовыми моделями RGB, HSB и CIE

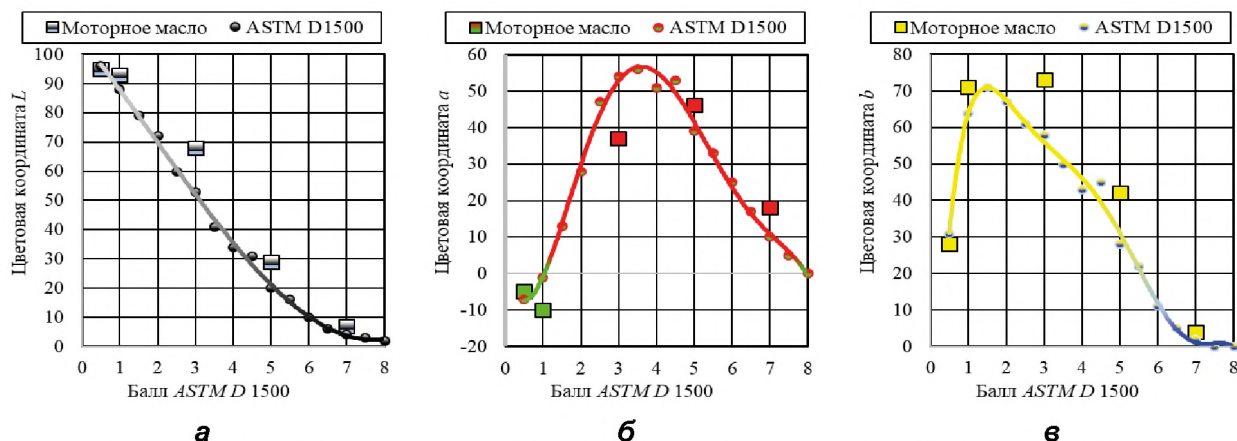


Рисунок 17. Сравнение цветовых координат моторных масел в модели CIE Lab с координатами шкалы ASTM D 1500: а – L; б – A; в – B

Lab, которые в отличие от изображения в оттенках серого, позволяют более информативно характеризовать цветное изображение за счет определения таких характеристик цвета, как тон, насыщенность, яркость и др.

Расширены возможности колориметрических методов оценки цвета моторного масла за счет использования плагина «3D Color Inspector» программного комплекса ImageJ для представления шкалы ASTM D 1500 в цветовых пространствах RGB, HSB и CIE Lab и установления соответствующих им цветовых координат.

Для обоснования работоспособности метода количественной оценки цвета в различных цветовых пространствах определены цветовые координаты моторных масел и проведено их сравнение с соответствующими значениями цветовых координат балльной шкалы ASTM D 1500.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Венцель, С.В. Применение смазочных материалов в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
2. Ivanova-Vasileva, A. Determination of the parameter color of fresh engine oils by color indices and predictive models / A. Ivanova-Vasileva [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2023. – № 387. – 04001.
3. Standard Test Method for Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale): ASTM D1500-12 (2017). – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. – 5 p.
4. Нефтепродукты. Метод определения цвета по шкале ASTM: СТБ 1796-2007 (ASTM D 1500-04a, IDT). – Введ. 01.05.2008. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 9 с.
5. Georgieva, T. Determination of the viscosity class of motor oils using color characteristics and statistical analysis / T. Georgieva, A. Ivanova-Vasileva, P. Daskalov // 32nd DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. – 2021. – Vol. 32. – № 1. – P. 0327-0332.

6. 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; под общ. ред. В.М. Капцевича. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.

7. 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.

8. Tebbe, F. Colour Spaces / F. Tebbe, C. Fath. – JOVIS Verlag, 2008. – 44 p.

9. Malacara, D. Color vision and colorimetry: theory and applications / D. Malacara. – 2nd ed. – Bellingham, Washington: SPIE, 2011. – 188 p.

10. Shamo, P. Comparative Overview of Color Models for Content-Based Image Retrieval / P. Shamo, D. Sansyzbayev, N. Abiley // International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 14 August 2022. – Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022. – P. 1-6.

11. Barthel, K.U. 3D-Data Representation with ImageJ / K.U. Barthel // ImageJ Conference, 2006. – Luxembourg: Luxembourg Institute of Science and Technology, 2006. – 215458973.

12. Muljosumarto, C.A Case Study Color as a Visual Language: Focused on TV Commercial / C.A. Muljosumarto // NIRMANA. – 2017. – Vol. 17, № 1 (Januari). – P. 1-9.

13. 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.

14. Kruger, A. Median-cut color quantization / A. Kruger // Dr. Dobbs's Journal. – 1994. – Sept. – P. 46-54.

15. Wu, X. An efficient antialiasing technique / X. Wu // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. – 1991. – Vol. 25. – Issue 4. – P.143-152.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.02.2025