

тором BELARUS-3522. Испытания проводились с участием специалистов МЗШ в течение 12 рабочих смен, общая наработка плуга с установленным образцом грядилем за время испытаний составила 192 га. В ходе испытаний отказов в работе, повреждений (деформаций, трещин) грядиля не было выявлено, значения показателей вспашки соответствовали нормам ТНПА.

Таким образом, выполненные работы показали перспективность изготовления грядиля с использованием аддитивной технологии листового ламинирования – SL-технологии. В результате топологической оптимизации конструкции грядиля, состоящей из листовых выкроек, его масса уменьшилась на 17% по сравнению с исходной. Благодаря использованию SL-технологии количество операций технологического процесса изготовления грядиля сократилось почти в 2 раза (с 11 до 6), производительность увеличилась в 1,6 раза (трудоемкость уменьшилась с 6,25 час до 3,81 час), а себестоимость изготовления уменьшилась в 1,4 раза.

Грядиль, изготовленный с помощью SL-технологии, обладает требуемой работоспособностью, по рабочим характеристикам соответствует аналогичным грядилям, установленным на плуге при проведении испытаний и изготовленным по традиционной технологии, и может использоваться согласно своему функциональному назначению в составе оборотного плуга.

УДК 621.432/004.932

АНАЛИЗ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ПЛАГИНОВ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА IMAGEJ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦВЕТА МОТОРНОГО МАСЛА

С.А. Ласоцкий, студент ФТС; **А.И. Цымбалюк**, студент ФТС
Научные руководители: В.М. Капцевич., д-р техн. наук, профессор;
В.К. Корнеева, канд. техн. наук, доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,*

г. Минск, Республика Беларусь

Цвет моторного масла является одним из важных показателей его качества и состояния в процессе эксплуатации. Потемнение

масла связано с накоплением продуктов окисления, загрязнений и частиц износа, что позволяет использовать цвет как диагностический критерий. Для объективной оценки цвета применяются методы колориметрии, основанные на численных параметрах цветового пространства.

Программный комплекс *ImageJ* (разработанный *National Institutes of Health*, США) [1] широко используется для анализа изображений в науке и технике. В его функционал входят плагины для колориметрического анализа, позволяющие преобразовывать изображения и рассчитывать количественные характеристики цвета.

ImageJ позволяет работать с изображениями в различных цветовых моделях (*RGB*, *HSB*, *Lab*, *CMYK*) [2, 3]. В стандартном пакете *ImageJ* реализованы базовые функции:

- перевод изображения в отдельные каналы (красный, зелёный, синий);
- измерение средней интенсивности по *ROI* (области интереса);
- построение гистограмм распределения яркости и цвета.

Однако для задач оценки цвета моторного масла требуется более детализированный колориметрический анализ, который обеспечивается применением различных плагинов [4–6].

Наиболее применимыми для колориметрических исследований являются следующие плагины: *Color Inspector 3D*, *Color Histogram*, *RGB Measure*, *Colour Deconvolution*, *Color Space Converter*.

Плагин *Color Inspector 3D* позволяет визуализировать распределение пикселей изображения в трёхмерном цветовом пространстве, где каждая точка соответствует цвету пикселя в различных пространствах, например, *RGB* или *HSB*. Плагин позволяет просматривать распределения цвета в объёмном виде, выбирать интересующие области спектра изображения, сопоставлять сопоставление разных образцов (например, свежего и отработанного масла) по пространственному расположению цветовых координат.

К преимуществу плагина можно отнести наглядность визуализации изображения, а к недостатку – получение в большей степени качественной оценки, а не количественной.

Плагин *Color Histogram* предназначен для построения гистограмм распределения цветовых координат *R*, *G*, *B*, что удобно для анализа изменения цветового тона и насыщенности цвета масла в процессе эксплуатации. Плагин позволяет оценить равномерность

окраски, выявить преобладающие оттенки, определить смещения максимумов распределения при изменении цвета масла.

Плагин *RGB Measure* позволяет определить усредненные значения цветовых координат R , G , B для выделенной области. Плагин является одним из наиболее удобных для количественного анализа, т.к. дает цифровые данные для дальнейшей обработки.

Плагин *Colour Deconvolution* выполняет разделение сложного изображения на каналы, соответствующие заданным цветовым компонентам. Плагин позволяет выделять отдельные цветовые составляющие и сопоставлять данные с эталонными цветовыми шкалами. Полезен для случаев, когда требуется выделить конкретные оттенки (например, для сравнения с эталонными шкалами). Например, он может быть полезен для точного выделения оттенков масла при сравнении с эталонной шкалой *ASTM D1500* [7].

Плагин *Color Space Converter* позволяет переводить изображения в координатах *RGB* в цветовые пространства *Lab*, *HSL*, и *HSB* и выполнять математические преобразования их цветовых координат. Цветовое пространство *Lab* (L – яркость, a и b – оттенки зелено-красного и синего-желтого), и пространства *HSB/HSL* (H – оттенок, S – насыщенность, B/L – яркость/светлота), наиболее соответствуют восприятию цвета человеком. Поэтому использование данного плагина целесообразно при визуальном сравнении, например, цвета анализируемого масла с эталонной шкалой *ASTM D1500*.

Анализ рассмотренных плагинов позволяет заключить, что при сравнении свежего, работающего и отработанного моторного масла можно применять плагин *RGB Measure* для получения усредненных цветовых координат. Для построения зависимости изменения оттенка масла от наработки двигателя полезен плагин *Color Histogram*. Для сопоставления с эталонной шкалой *ASTM D1500* оптимально использовать плагины, работающие с пространствами *Lab*, *HSL* и *HSB*, так как они лучше отражает восприятие цвета человеком.

На основании вышеизложенного следует отметить, что колориметрические плагины *ImageJ* представляют собой удобный инструмент для количественной и качественной оценки цвета моторных масел. Их применение позволяет:

- объективно фиксировать изменение цвета при эксплуатации;
- сопоставлять результаты с эталонными шкалами;
- использовать цвет как диагностический признак технического состояния двигателя.

Таким образом, использование *ImageJ* и специализированных плагинов является перспективным направлением для внедрения методов компьютерного анализа изображений в техническую диагностику.

Литература

1. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
2. Tebbe, F. Colour Spaces / F. Tebbe, C. Fath. – JOVIS Verlag, 2008. – 44 p.
3. Malacara, D. Color vision and colorimetry: theory and applications / D. Malacara. – 2nd ed. – Bellingham, Washington: SPIE, 2011. – 188 p.
4. Schroeder, A.B. The ImageJ ecosystem: open-source software for image visualization, processing, and analysis / A.B. Schroeder et al. // Protein Science. – 2021. № 30. – P. 234-249.
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. Standard Test Method for Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale): ASTM D1500-12 (2017). – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. – 5 p.

УДК 621.432/004.932

АНАЛИЗ ПЛАГИНОВ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА *IMAGEJ* ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА В МОТОРНОМ МАСЛЕ

А.В. Макаревич, студент ФТС; **А.И. Цымбалюк**, студент ФТС
Научные руководители: В.М. Капцевич., д-р техн. наук, профессор;
В.К. Корнеева, канд. техн. наук, доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,*

г. Минск, Республика Беларусь

Контроль технического состояния двигателей внутреннего сгорания является важной задачей эксплуатации техники. Одним из эффективных методов диагностики является анализ моторного масла, в котором накапливаются продукты износа деталей трения. Морфологические характеристики частиц износа (размер, форма, цвет, распределение) отражают механизмы изнашивания и позволяют оценить степень деградации масла и состояние двигателя [1].