УДК 621.43.019:621.89

В. К. Корнеева, В. М. Капцевич, В. Д. Жаворонков
(Белорусский государственный аграрный
технический университет, г. Минск, Беларусь,
lerakor1974@mail.ru)

ОЦЕНКА ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ДВС ПО ФИЛЬТРОГРАММЕ МОТОРНОГО МАСЛА В EXTENDED PARTICLE ANALYZER ПРОГРАММЫ IMAGEJ

Аннотация. Рассмотрена цифровая обработка фильтрограммы работающего моторного масла *Shell Rimula* 10*W*-40 в плагине *Extended Particle Analyzer* программы *ImageJ*. По наблюдаемым 256 частицам построено распределение по размерам и определены параметры формы. Преобладание частиц 25…50 мкм (83,2%) соответствует нормальному износу зон скольжения. Примесь абразивных (9,0%) и усталостных (9,0%) частиц указывает на повышенный износ ДВС.

Ключевые слова: износ ДВС, патч-тест, фильтрограмма, *ImageJ*, морфологический анализ частиц, механизм износа, трибодиагностика.

V. K. Korneeva, V. M. Kaptsevich, V. D. Zhavoronkov
(Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus)

ASSESSMENT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE COMPONENT WEAR VIA ENGINE OIL FILTERGRAMS USING THE IMAGEJ EXTENDED PARTICLE ANALYZER

Abstract. Digital processing of a filtergram from used *Shell Rimula* 10*W*-40 engine oil was performed using the *Extended Particle Analyzer* plugin for *ImageJ*. Based on the 256 observed particles, a size distribution was plotted and shape parameters were determined. The predominance of particles in the 25…50 μm range (83.2%) corresponds to normal wear of sliding surfaces, while the presence of abrasive (9.0%) and fatigue (9.0%) particles indicates accelerated wear of the internal combustion engine.

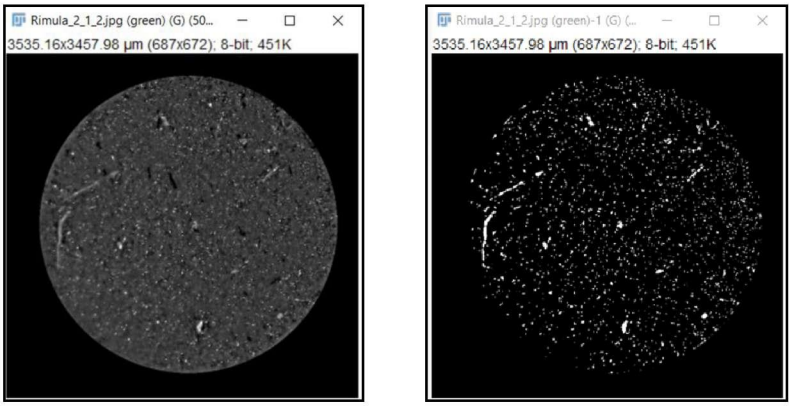
Keywords: internal combustion engine wear, patch test, filtergram, ImageJ, morphological particle analysis, wear mechanism, tribodiagnostics.

Контроль трибологического состояния моторного масла является одним из наиболее информативных способов оценки технического состояния деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Среди физических методов диагностики особое место занимает мембранная фильтрация – метод количественного анализа частиц износа, анализируемых на фильтрограмме [1]. Развитие цифровой микроскопии и про-

граммных средств обработки изображений открывает новые возможности для автоматизированной диагностики: изображение фильтрограммы может быть подвергнуто пороговой сегментации и морфометрическому анализу с минимальным участием оператора [2].

Целью настоящей работы является разработка методики цифровой обработки фильтрограммы работающего моторного масла *Shell Rimula* 10*W*-40 в программном комплексе *ImageJ* с применением плагина *Extended Particle Analyzer* и оценка по полученным данным характера износа деталей ДВС.

В качестве объекта исследования выбрано цифровое изображение фильтрограммы моторного масла *Shell Rimula* 10*W*-40 с наработкой 250 ч. Фильтрограмма получена согласно ГОСТ Р ИСО 4407 на мембранном фильтре диаметром 47 мм с осаждением частиц на площади ~7 мм². Микрофотографирование выполнялось на оптическом микроскопе при увеличении 100×, а пороговая бинаризация проводилась в программе *ImageJ* [3] (рис. 1).



а) *б*)

Рис. 1. Цифровое изображение фильтрограммы:
а – исходное; *б* – после бинаризации

Подсчет частиц осуществляли с применением плагина *Extended Particle Analyzer*, формирующего файл *Results* с 41 параметром для каждой частицы: площадь $S_ч$, периметр $P_ч$, диаметры Фере F_{max} и F_{min}, круглость *C*, аспект-отношение *AR*, сплошность *S*, округлость *Round* и др. [4]. Статистические данные основных параметров частиц, включающие минимальные Min, максимальные Max, средние μ и медианные Me значения представлены в табл. 1.

1. Сводная морфометрическая статистика

Параметр	Min	Max	μ	Me
F_{max}, мкм	25,8	241,4	42,8	36,5
$S_ч$, мкм²	319,9	5412,4	612,3	426,6
C	0,17	1,00	0,70	0,71
AR	1,04	7,99	2,02	1,87
S	0,51	1,00	0,77	0,77
R	0,12	0,96	0,56	0,53

Всего в выборке идентифицировано 256 частиц износа. Распределение по размерным классам (рис. 2) показывает резкое преобладание частиц с F_{max} 25…50 мкм (83,2%), 14,8% частиц имеют размер 50…100 мкм, и только 2,0% превышают 100 мкм. Медианные значения параметров формы (C = 0,71; AR = 1,87; S = 0,77) соответствуют форме тонких округлых пластинок с неровными краями, что характерно для продуктов износа зон скольжения [5]. Классификация частиц по геометрическим признакам выполнена по правилам, принятым в трибологической диагностике [5]: сферические частицы (C > 0,85, AR < 1,3) отнесены к усталостному выкрашиванию (9,0%); удлиненные частицы с неровными краями (AR > 2, C < 0,5) – к абразивному/режущему износу (9,0%); частицы умеренно округлой формы промежуточных размеров составили основную долю – 81,0% (рис. 3).

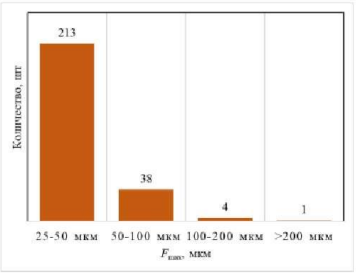


Рис. 2. Распределение частиц по размерам

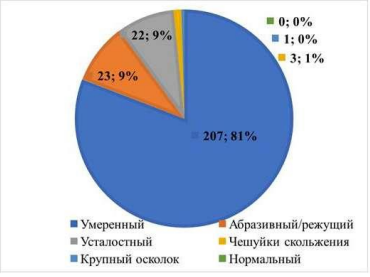


Рис. 3. Классификация частиц по механизмам износа (количество; %)

Преобладание частиц 25…50 мкм (медианная C = 0,71; AR = 1,87) интерпретируется как профиль нормального износа сопряжений «вкладыш–шейка», «кольцо–гильза», «стержень клапана–направляющая».

Примесь абразивных частиц (9,0%) свидетельствует о «трехтельном» абразиве (пыль через воздушный фильтр или сажевые агломераты); доля усталостных частиц (9,0%) не превышает тревожного порога 10%, но требует мониторинга подшипников и зубчатых зацеплений. Совокупность признаков классифицирует состояние «масло–ДВС» как умеренно повышенный износ. Методика рекомендуется для экспресс-оценки технического состояния дизельных ДВС.

Список использованных источников

1. Мембранная фильтрация – метод оценки загрязненности моторных масел / В. К. Корнеева и др. // Порошковая металлургия : республиканский межведомственный сб. науч. тр. – Минск, 2024. – Вып. 47. – С. 127 – 133.

2. Корнеева, В. К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса ImageJ. Ч. 3. Метод оценки размеров, количества и формы частиц / В. К. Корнеева и др. // Агропанорама. – 2025. – № 2. – С. 32 – 37.

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

4. Brocher, J. The BioVoxxel Toolbox for ImageJ/Fiji: Extended Particle Analyzer and Shape Descriptor Maps // BioVoxxel Toolbox – ImageJ Wiki. – URL : https://imagej.net/imagej-wiki-static/BioVoxxel_Toolbox (date of access: 20.09.2026).

5. Glaeser, W. A. Wear debris classification / W. A. Glaeser // Modern Tribology Handbook. – Boca Raton : CRC Press, 2001. – P. 301 – 315.

References

1. Membrane filtration as a method for assessing the contamination of motor oils / V. K. Korneeva, et al. // Powder Metallurgy: Republican Interdepartmental Collection of Scientific Papers. – Minsk, 2024. – Is. 47. – P. 127 – 133.

2. Methods for evaluating experimental results of express testing of motor oils based on the ImageJ software package. Part 3. Method for assessing the size, number and shape of particles / V. K. Korneeva, et al. // Agropanorama. – 2025. – No. 2. – P. 32 – 37.

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

4. Brocher, J. The BioVoxxel Toolbox for ImageJ/Fiji: Extended Particle Analyzer and Shape Descriptor Maps // BioVoxxel Toolbox – ImageJ Wiki. – URL : https://imagej.net/imagej-wiki-static/BioVoxxel_Toolbox (date of access: 20.09.2026).

5. Glaeser, W.A. Wear debris classification / W. A. Glaeser // Modern Tribology Handbook. – Boca Raton : CRC Press, 2001. – P. 301 – 315.