

## РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ФЕРРОГРАФА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА В МОТОРНОМ МАСЛЕ

**Корнеева В.К., к.т.н., доцент, Капцевич В.М., д.т.н., профессор,  
Закревский И.В.**

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный  
технический университет»*

**Введение.** Проблема обеспечения надежности и долговечности является одной из основных в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, важнейшим агрегатом которой является двигатель внутреннего сгорания (ДВС).

**Основная часть.** Диагностика состояния рабочих механизмов ДВС, работающих в условиях смазки, может успешно осуществляться методом аналитической феррографии (*Analytical ferrography (A-Ferr)*). Аналитическая феррография основана на осаждении частиц износа ДВС под действием высокоградиентного магнитного поля на покровном стекле (получение феррограмм) и последующем микроскопическом исследовании этих частиц на феррограмме [1, 2]. Этот метод позволяет проанализировать частицы износа, присутствующие в моторном масле, по размерам и количеству которых можно определить интенсивность изнашивания рабочих поверхностей деталей, по форме частиц – характер износа, по химическому составу частиц – конкретные изнашиваемые детали [3–5].

В настоящее время в мировой практике основными инструментами аналитической феррографии являются феррографы (рисунок 1), например, феррограф *YJF-3 Oil* (Китай) (рисунок 1, а) [6] и двойной аналитический феррограф масла *YTF-8* (Китай) (рисунок 1, б) [7]. Основным недостатком аналитической феррографии является высокая стоимость оборудования для ее осуществления: феррограф минимальной комплектности по данным [8] стоит 50 000 \$. Следует отметить, что в странах СНГ такое оборудование отсутствует.

Для проведения исследований анализа продуктов износа ДВС нами разработан и изготовлен малогабаритный аналитический феррограф (рисунок 2), позволяющий изготавливать феррограммы непосредственно в условиях предприятий АПК. Габаритные размеры феррографа – 90×120×120 мм.



а



б

Рисунок 1. – Аналитические феррографы: а – YJF-3 Oil; б – YTF-8

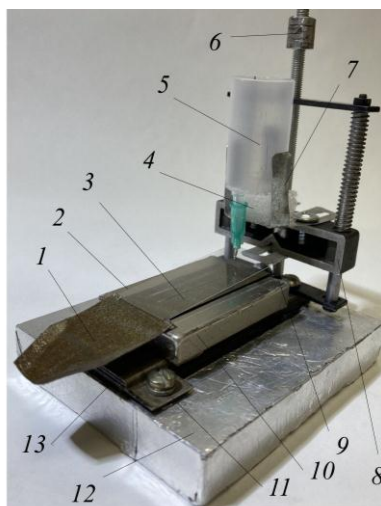


Рисунок 2. – Аналитический феррограф: 1 – пластина; 2, 10 – неодимовые магниты; 3 – покровное стекло; 4 – пенополиуретан; 5 – дозирующий шприц; 6 – регулировочный винт; 7 – держатель; 8 – подъемный механизм; 9 – рамка; 11 – болты; 12 – рабочее основание; 13 – «ядро»

Феррограф работает следующим образом. В пробу испытуемого масла добавляют растворитель (трихлорэтилен) в соотношении 1:10 (1 мл масла, 10 мл растворителя) и тщательно перемешивают. При помощи рамки 9 подъемного механизма 8 устанавливается угол наклона покровного стекла 3, равным  $5^\circ$ . Положение дозирующего шприца 5 в держателе 7 регулируют таким образом, чтобы расстояние от конца иглы до покровного стекла составляло 2–3 мм. Подготовленный раствор масла и растворителя заливают в дозирующий шприц 5. Выбранное соотношение объемов масла и растворителя, а также установленный угол наклона покровного стекла 3, обеспечивают скорость движения масла по покровному стеклу, равную 0,5 мл/мин. При движении масла частицы загрязнений задерживаются на покровном стекле 3 под действием высокоградиентного магнитного поля, создаваемого предложенной магнитной системой. После пропускания по покровному стеклу 3 всего объема исследуемого раствора, в дозирующий шприц 5 заливают 2–3 мл растворителя (трихлорэтилена), при движении которого по покровному стеклу удаляются остатки масла. Для фиксации осажденных частиц в дозирующий шприц 5 заливают 1 мл перхлорэтилена (тетрахлорэтилен) и пропускают по покровному стеклу 3. Феррограмму (покровное стекло с нанесенными и зафиксированными частицами загрязнений) снимают с феррографа, сушат на воздухе и передают на микроскопическое исследование.

Фотография феррограммы масла марки Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 150 ч, полученная с использованием микроскопа МПБ-2 (рисунок 3) представлена на рисунке 4.



Рисунок 3. – Микроскоп МПБ-2



Рисунок 4. – Феррограмма моторного масла

Анализируя полученные феррограммы в процессе работы ДВС можно проследить за изменением состояния трибосопряжений (увеличением количества продуктов износа) с учетом наработки сельскохозяйственной техники.

Для детального анализа феррограмм (оценки размеров, формы, природы и количества частиц износа) необходимо применение высокоточного оборудования (микроскопы с большим увеличением), что возможно осуществлять только в лабораторных условиях. Так, с использованием микроскопа МИ-2Т (рисунок 5) получена феррограмма масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 30 ч, представленная на рисунке 6.



Рисунок 5. – Инвертированный микроскоп МИ-2 Т

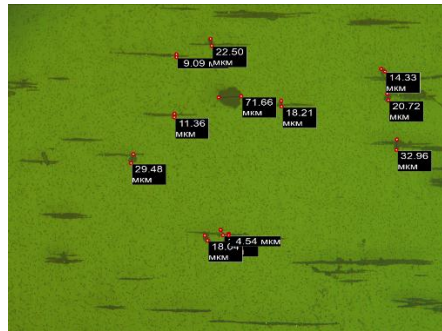


Рисунок 6. – Фрагмент феррограммы масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 30 ч, 100×

Анализ полученных результатов (рисунок 6) показывает, что даже в моторном масле с небольшой наработкой содержатся частицы износа двигателя с критическими размерами (более 50 мкм), что соответствует переходному режиму смазки со следами схватывания и может свидетельствовать о протекающем процессе изнашивания трибосопряжений ДВС.

**Заключение.** Разработанный феррограф, имеющий невысокую стоимость, малые массу и габаритные размеры, возможность легко разбираться/собираться и транспортироваться и не требующий подключения к электросети, может быть использован в полевых условиях АПК для получения феррограмм. Преимуществом данного устройства является то, что даже не проводя микроскопические исследования, можно визуальнo или с помощью

небольших увеличений (лупа, полевой микроскоп) качественно оценить степень загрязненности моторного масла продуктами износа трибосопряжений ДВС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Patent US4047814. Method and apparatus for segregating particulate matter / Inventors: Vernon C. Westcott/ – № 4047814; patented Sep. 13, 1977. – 17 p.

2. Westcott, V. Ferrographic Oil and Grease Analysis as Applied to Earthmoving Machinery. SAE Technical Paper 750555, 1975, <https://doi.org/10.4271/750555>.

3. Fitch, J. Oil analysis basics / J. Fitch, D. Troyer. 2 Ed. – Tulsa: Noria Corporation, 2010. – 198 p.

4. Byrne, B. Ferrography presentation – case study / B. Byrne // Slideshare [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <https://www.slideshare.net/BrianByrne/ferrography-presentation-case-study>. – Дата доступа: 15.03.2021.

5. Маркова, Л.В. Трибодиагностика машин / Л.В. Маркова, Н.К. Мышкин. – Минск: Белорусская наука, 2005. – 251 с.

6. YJF-3 Thistle Tube Oil Analytical Ferrography / yateks® [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://yateks.com/product/oil-analytical-ferrography/>. – Date of access: 15.08.2021.

7. YTF-8 Dual Slide Analytical Ferrography / yateks® [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://yateks.com/product/dual-slide-analytical-ferrography/>. – Date of access: 15.08.2021.

8. Белов, В.В. Экспресс-методика диагностирования износа механизмов двигателя / В.В. Белов, А.Р. Ваймер // Грузовик, 2009. – № 12. – С. 18–21.