

УДК 621.892

ПОРТАТИВНЫЙ ОПТИКО-МАГНИТНЫЙ ДЕТЕКТОР И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ

Л. В. МАРКОВА*, Ю. Е. КИРПИЧЕНКО, О. В. ХОЛОДИЛОВ

Описаны методика и конструкция опτικο-магнитного детектора (ОМД), для диагностики трибосопряжений. Показано, что использование опτικο-магнитного детектора позволяет контролировать процесс изнашивания путем анализа частиц износа, образованных в процессе трения. Представлены результаты сравнительного анализа ОМД и зарубежного аналога — счетчика частиц. Показано, что ОМД может успешно использовать как переносный диагностический прибор для экспресс-анализа.

Ключевые слова: изнашивание, частицы износа, смазочные масла, диагностика, опτικο-магнитный детектор.

Введение. Один из важнейших показателей состояния машины — величина износа. Информацию об изнашивании машины без остановки и разборки можно получить по продуктам износа, содержащимся в смазочном материале. На основе анализа существующих методов диагностики трибосопряжений по частицам износа [1, 2] и полученных результатов исследований поведения частиц износа в пробе масла при наложении магнитного поля [3] в ИММС АНБ разработан опτικο-магнитный метод и реализующее его устройство — опτικο-магнитный детектор (ОМД).

Устройство прибора и основы метода. ОМД состоит из механического и электронного блоков (рис. 1). Механический блок включает в себя: источник оптического излучения 1, фотоприемник 6 с предусилителем, оптическую передающую 2, 5 и магнитную 3 системы и кювету с пробой масла 4. Выбор источника излучения и фотоприемника осуществлялся исходя из анализа оптического спектра пропускания исследуемых смазочных жидкостей, спектров источников и приемников излучения. Спектры чистого и работавшего (6 тыс. км пробега) масла М-8В снимались на инфракрасном спектрофотометре UR-20. Полученные спектры практически совпадают друг с другом и со спектром машинного масла, приведенным в работе [4]. Анализ спектров показал, что существуют три ярко выраженные полосы поглощения с максимумами на длинах волн 3,5; 6,7; 7,3 мкм, а максимальное пропускание имеет место в интервалах 1—3, 4—6 и 8—13 мкм. Из этих спектральных полос наиболее приемлемой для работы с точки зрения простоты эксплуатации источников и приемников оптического излучения является полоса 1—3 мкм. Для обеспечения прохождения оптического излучения через “темные” (сильно загрязненные) масла в качестве источника излучения был выбран ИК-диод с максимальной мощностью излучения на длине волны 1 мкм. В фотоприемном блоке использован фотодиод ФД-27, имеющий максимум спектральной чувствительности на этой же длине волны. Магнитная система создает неоднородное магнитное поле, воздействующее на пробу масла [3]. Электронный блок состоит из амплитудного детектора 11, регистрирующего устройства 12, формирователя импульсов 8, регулятора мощности излучения 7 и блока питания 9. Формирователь импульсов преобразует напряжение блока питания в импульсы частотой 2 кГц скважностью 20—30%, амплитудой 2 В, что позволяет получить на выходе ИК диода импульсы мощностью 20 мВт. Перед подачей на ИК-диод импульсы с формирователя проходят регулятор мощности излучения (регули-

а Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого АН Беларуси. 264652, г. Гомель, ул. Кирова, 32а.

ровка осуществляется посредством изменения амплитуды импульсов). Импульсное оптическое излучение, пройдя через кювету с пробой масла, попадает на фотодиод, где преобразуется в импульсный электрический сигнал. Далее сигнал усиливается с помощью предусилителя, коэффициент усиления которого регулируется от 1 до 200. Усиленный сигнал проходит амплитудный детектор и фильтр, которые служат для выпрямления сигнала. Затем сигнал поступает на регистрирующее устройство — аналого-цифровой преобразователь с цифровой индикацией.

Оценка общей загрязненности масла проводится по изменению оптической плотности пробы исследуемого масла относительно плотности чистого масла. Концентрация ферромагнитных частиц износа определяется с использованием калибровочного графика по изменению оптической плотности пробы масла при наложении магнитного поля. Доля “мелких” (взвешенных в масле) частиц определяется по изменению оптической плотности пробы масла после снятия магнитного поля.

ОМД позволяет определить общую загрязненность работавшего масла, концентрацию ферромагнитных частиц износа, процентное содержание “мелких” частиц.

Результаты и обсуждение. С целью оценки достоверности контроля процесса изнашивания с помощью ОМД проведено исследование приработки трибосопряжения в лабораторных условиях. При этом в ходе испытаний регистрировался линейный износ сопряжения, температура в зоне контакта и коэффициент трения.

В качестве диагностируемого сопряжения использовалась пара трения “вал — частичный вкладыш” (вал — закаленная сталь 45, 45...50 HRC, $R = 40$ мм; вкладыш — сталь 45, незакаленная) $h = 10$ мм, $S = 2$ см² (рис. 2). Для смазывания использовалось масло индустриальное И-20А. Масло наливали в ванночку 3, куда погружалась часть вала. Триботехнические испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1. Частичный вкладыш 1 прижимался к валу 2 с усилием N , регулируемым устройством нагружения 4 (рис. 2). Вал приводился во вращательное движение двигателем 9. Скорость скольжения устанавливалась путем изменения числа оборотов двигателя и регистрации величины скорости датчиком скорости 8. В процессе испытаний скорость скольжения поддерживалась постоянной и составляла 0,5 м/с, давление изменялось ступенчато: 1, 2, 3 МПа. В ходе эксперимента

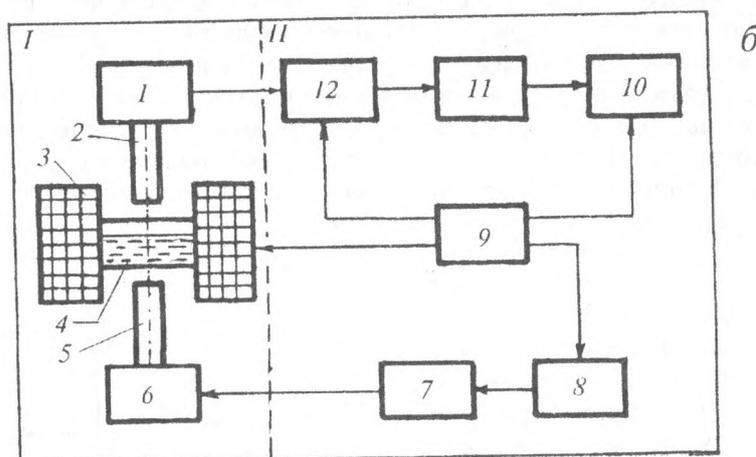
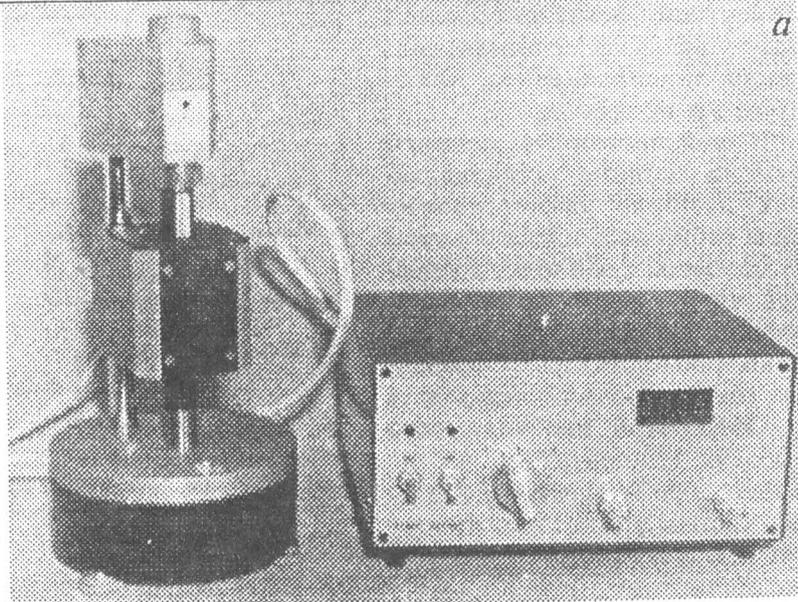


Рис. 1. Внешний вид (а) и блок-схема (б) оптико-магнитного детектора: I, II — механический и электронный блоки; 1, 6 — источник и приемник излучения; 2, 5 — оптическая система; 3 — магнитная система; 4 — кювета; 7 — регулятор мощности излучения; 8 — формирователь импульсов; 9 — блок питания; 10 — регистрирующее устройство; 11 — фильтр; 12 — амплитудный детектор

непрерывно регистрировались следующие характеристики: сила трения, линейный износ, температура в зоне трения.

В фиксированные моменты времени машина останавливалась и после размешивания масла отбиралась проба объемом 2,5 мл. Затем в ванночку доливалось чистое масло до первоначального объема (75 мл) и испытания продолжались. Отобранные пробы масла исследовались на ОМД. При необходимости (высокая концентрация частиц износа) проба масла разбавлялась чистым маслом в соотношении 1:1. Результаты испытаний свидетельствуют (рис. 3), что ступенчатое изменение давления в контакте приводит к изменению состояния смазочной пленки. В частности, ее разрыв влечет за собой схватывание материалов пары, увеличение коэффициента трения, температуры, скорости генерации частиц износа. Оказалось, что линейный износ хорошо коррелирует с концентрацией частиц износа, а температура в зоне трения и сила трения — со скоростью изменения концентрации частиц. Точки перегиба всех зависимостей, имеющие место при ступенчатом нагружении, совпадают по времени и соответствуют началу приработки. Увеличение температуры и коэффициента трения совпадает с увеличением скорости изменения концентрации частиц, которое соответствует увеличению давления в зоне контакта. Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о том, что ОМД позволяет оперативно оценивать характер изнашивания пары трения.

Была проведена сравнительная оценка возможностей ОМД и разработан в Трибологическом центре г. Сванси (Великобритания) счетчика частиц (Particle quantifier) [5]. Для проведения измерений использовались модельные пробы масел с концентрациями ферромагнитных частиц (карбонильное железо дисперсностью 0,5...12 мкм): 0,5 10; 10; 0,05; 0,1; 0,2 мас.%. Пробы готовились путем взвешивания порошка железа на торсионных весах и последующим его разбавлением в масле объемом 100 мл. Пробы были приготовлены на основе двух типов масел — промышленное И-20А и авиационное МС-20, имеющих разную оптическую плотность. Сравнительный анализ состоял в определении PQ -индекса на счетчике частиц и изменения оптической плотности ΔD на ОМД для модельных проб масел. При определении PQ -индекса бралось среднее значение по шести измерениям. Для

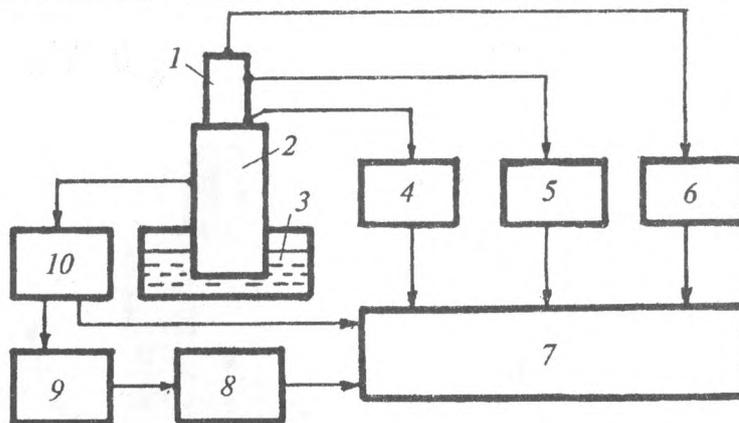


Рис. 2. Блок-схема испытательного комплекса: 1 — частичный вкладыш; 2 — вал; 3 — ванночка с маслом; 4, 5 — датчики температуры и линейного износа; 6 — устройство нагружения; 7 — пульт управления; 8 — датчик скорости; 9 — двигатель

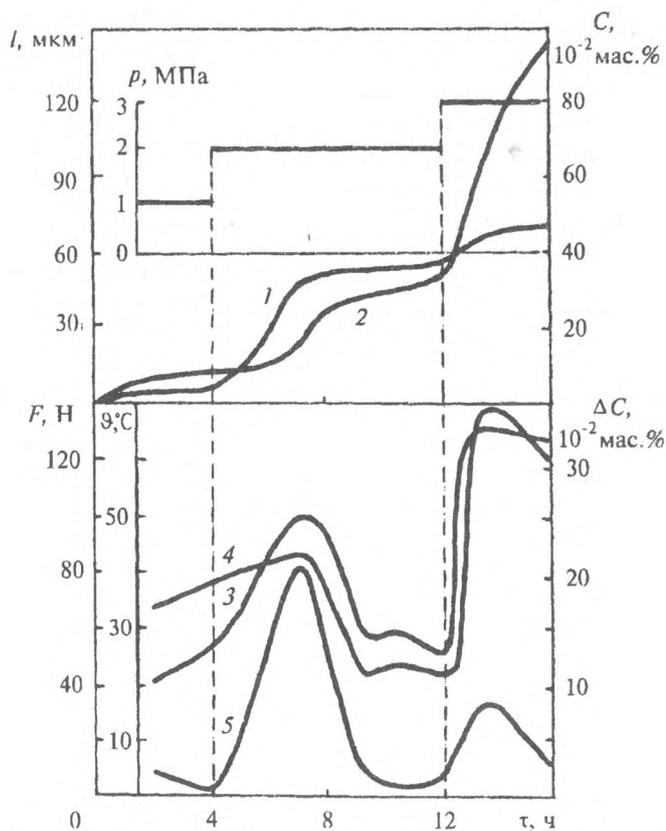


Рис. 3. Временные зависимости: а — концентрация частиц износа в пробе масла (1) и линейного износа (2); б — изменение концентрации частиц износа в пробе масла (3), температуры в зоне трения (4) и силы трения (5)

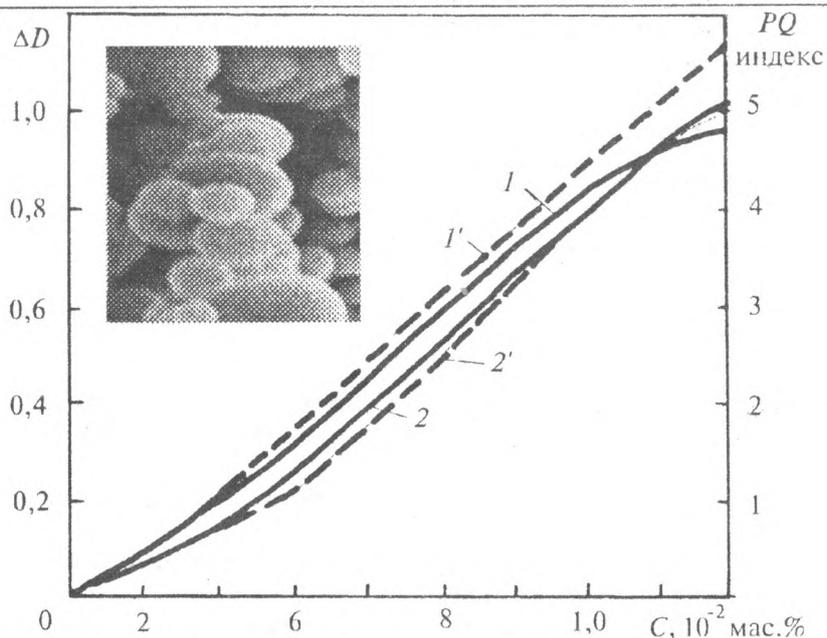


Рис. 4. Результаты испытаний модельных проб масла: 1, 1' — PQ индекс (счетчик частиц); 2, 2' — ΔD (ОМД); 1, 2 — масло И-20А; 1', 2' — МС-20. На врезке — частицы карбонильного железа, $\times 10^4$

Таблица 1. Результаты анализа модельных проб

№ пробы	Концентрация ферромагнитных частиц, мас.%	ΔD	PQ-индекс
Масло промышленное И-20А			
1	0,01	0,0089	20
2	0,05	0,1704	140
3	0,10	0,4855	270
4	0,20	1,0048	570
Масло авиационное МС-20			
5	0,005	0,0017	10
6	0,010	0,106	20
7	0,050	0,1973	120
8	0,100	0,4900	200
9	0,200	1,0349	490

гам и позволяет контролировать как состояние масел, так и гидравлических жидкостей. Минимальная обнаруживаемая концентрация ферромагнитных частиц составляет 10^{-3} мас.%.

Если же необходима более полная информация о процессе изнашивания, то количественная информация должна дополняться качественным анализом частиц износа (морфоло-

анализа масла в счетчике частиц и в ОМД отбиралась проба объемом 1 мл. Результаты испытаний показывают (табл. 1, рис. 4), что оба устройства работоспособны во всем исследуемом диапазоне концентраций частиц. Об этом свидетельствуют исследования проб масел, отобранных из смазочной системы трансмиссий действующих реальных объектов (табл. 2).

Проведенный сравнительный анализ показал эффективность использования счетчика частиц и ОМД в тех случаях, когда полная информация о частицах не требуется, а достаточно следить за скоростью их образования. Очевидно ОМД целесообразно использовать как диагностический прибор для экспресс-анализа вследствие простоты обслуживания, низкой стоимости и большой информативности, т.к. он позволяет определять кроме общего содержания частиц износа долю мелких частиц. По своим характеристикам ОМД не уступает анало-

Таблица 2. Результаты анализа натуральных проб

№ пробы	ОМД		PQ-индекс	Заключение на основании анализа осадка, частиц износа
	Концентрация частиц износа, 10^{-2} мас.%			
	общая	<50 мкм		
1	0,7	0,65	20	Средняя плотность осадка: в основном присутствуют частицы <15 мкм; встречаются частицы ≈ 40 мкм
2	3,0	2,50	80	Относительно высокая плотность осадка: в основном присутствуют частицы <20 мкм; встречаются частицы ≈ 80 мкм
3	0,8	0	20	Средняя плотность осадка: большинство частиц находятся в диапазоне 65—130 мкм. Присутствуют медные частицы <10 мкм; высокая скорость изнашивания

гия частиц, их окраска), позволяющим судить о типе изнашивания. В таких случаях могут быть использованы методы анализа осадка частиц [5].

Обозначения

C , ΔC — концентрация ферромагнитных частиц износа и ее изменение; l — линейный износ; F — сила трения; θ — температура в зоне контакта; p — давление; ΔD — изменение оптической плотности пробы масла; R — радиус вала; h — ширина вкладыша; S — номинальная площадь контакта.

Литература

1. Мышкин Н. К., Холодилов О. В., Маркова Л. В., Семенюк М. С. Диагностика изнашивания смазанных подвижных сопряжений // Трение и износ, 7 (1986), № 6, 1091—1101
2. Маркова Л. В., Мышкин Н. К. Диагностика трибосопряжений по частицам износа // Трение и износ, 9 (1988), № 6, 1109—1118
3. Маркова Л. В. Проблемы магнитооптической диагностики изнашивания смазанных подвижных сопряжений // Трение и износ, 11 (1990), № 2, 338—342
4. Инфракрасные спектры поглощения полимеров и вспомогательных веществ / Под ред. В. М. Чулановского. Л-д: Химия (1969)
5. Лансдаун А. Р. Применение вращательного депозитера при анализе продуктов изнашивания // Трение и износ, 8 (1987), № 4, 590—596

Поступила в редакцию 05.01.97.

Markova L.V., Kirpichenko Yu. E., Kholodilov O.V. **Portable optomagnetic detector and its application to wear monitoring.**

An optomagnetic technique and device for wear monitoring is described. Optomagnetic detector (OMD) is shown to monitor wear by analyzing debris formed in friction. Comparison of the OMD and particle quantifier (PQ) is given.