

УДК 629.063.7:621.387.14

ДИАГНОСТИКА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СВОЙСТВ РАБОТАЮЩЕГО МАСЛА МЕТОДОМ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Земляной С.А., Власов Ю.А., Удлер Э.И., Тищенко Н.Т., Таньков Р.Ю.

*ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»,
Томск, e-mail: yury2006@yandex.ru*

Разработан новый экспресс-метод диагностирования агрегатов карьерных автосамосвалов, оценивающий свойства работающего масла по изменению интенсивности свечения высоковольтного разряда. В процессе эксплуатации агрегатов автомобилей, имеющих замкнутую систему смазки, в работающее масло поступают продукты износа, топливо, охлаждающая жидкость. Каждый загрязняющий компонент характеризует конкретный вид неисправности агрегата. При определении загрязняющего компонента выполняется оценка степени загрязненности работающего масла и устанавливается причина в отклонении технического состояния машины. Если к работающему маслу приложить высоковольтное напряжение, то образуется корона электрического разряда. Интенсивность свечения короны разряда зависит от свойств работающего масла и газовой среды. Диэлектрические свойства смазочного масла и загрязняющих компонентов влияют на газовый разряд. Разработанный прибор позволил установить диагностические нормы интенсивности свечения, по которым можно оценивать техническое состояние агрегатов карьерных автосамосвалов и свойства работающего масла.

Ключевые слова: диагностика, карьерные автосамосвалы, работающее масло, газовый разряд

DIAGNOSTICS OF CAREER DUMP TRUCKS ON CHANGE OF PROPERTIES OF WORKING OIL BY THE METHOD OF THE GAS DISCHARGE

Zemlyanoy S.A., Vlasov Y.A., Udler E.I., Tischenko N.T., Tankov R.Y.

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, e-mail: yury2006@yandex.ru

The new express method of diagnosing of mechanisms of career dump trucks on change of a gas electric discharge of working oil is developed. During the operation of mechanisms of cars, working oil becomes soiled by the fuel, by the cooling liquid, by the wear particles. Each component of pollution characterizes a concrete type of malfunction of the mechanism of the car. The assessment of working oil on pollution components is carried out. On concentration of impurity of oil the technical condition of the car is established. If to put high-voltage tension to working oil, the crown of an electric discharge will be formed. Intensity of a luminescence of a crown of an electric discharge depends on properties of working oil and the gas environment. Dielectric properties of lubricant oil and polluting components influence a gas electric discharge. The developed device allowed establishing diagnostic standards of intensity of a luminescence. On diagnostic norms, it is possible to estimate a technical condition of mechanisms of career dump trucks and property of working oil.

Keywords: diagnostics, the career dump trucks, working oil, gas discharge

В процессе эксплуатации автомобилей их агрегаты с замкнутыми системами смазки (двигатели, агрегаты трансмиссии, гидравлические системы) претерпевают изменения, которые связаны с потерей работоспособности узлов и деталей и ухудшением смазочных свойств масла. Образующиеся в работающих маслах загрязняющие примеси (продукты износа, абразивная пыль, охлаждающая жидкость, дизельное топливо и др.) во многом характеризуют отдельные виды неисправностей, что делает возможным диагностику агрегатов машин по параметрам работающего масла.

Количественно оценить приобретенные свойства работающего масла можно, используя комплекс физико-химических анализов масла [10]. Для решения вопросов диагностики агрегатов автомобилей широкое распространение получил эмиссионный спектральный анализ масла (ЭСАМ) с дуговым или искровым источниками света [4, 8]. ЭСАМ оптимально подходит для диагностики карьерных автосамосвалов при

его выполнении в лабораторных условиях крупных транспортных предприятий. Необходимость такой диагностики вызвана тем, что трудоемкость устранения неисправностей карьерных автосамосвалов в случае их возникновения достаточно высока и обусловлена высокой стоимостью ремонта. По этой причине раннее выявление отклонений в техническом состоянии машин, прежде чем наступит отказ, будет весьма актуальным.

Постановка проблемы. ЭСАМ путем конденсирования искры испаряет газы, которые содержат компоненты смазочной среды. Возбуждаемый спектр фотофиксируется по длинам аналитических линий отдельных химических элементов, которые позволяют судить об изменениях в масляной среде. Результаты также позволяют оценивать отклонения в техническом состоянии машины, которые вызывают ухудшения свойств масла.

Исходя из сказанного, в работе была принята гипотеза, что если к поверхностному слою смазочной среды приложить

высоковольтное напряжение, то свечение за счет ионизации поверхностного слоя, будет содержать информацию, характеризующую состояние смазочной среды. Коронный или тлеющий разряд, как альтернатива искровому или дуговому разряду, способен ионизировать поверхность исследуемой среды [2, 7]. Индуцированное газоразрядное свечение с поверхности масла путем его фотометрии позволяет получать необходимую информацию, которую в дальнейшем можно использовать при диагностировании агрегатов автомобилей.

В первой половине XX века был предложен метод фотографирования с помощью токов высокой частоты [3]. По своей сути это фотографирование свечения короны газового разряда, которое впоследствии получило название кирлианографии. Сегодня метод газоразрядной фотографии нашел применение в криминалистике и при дефектоскопии материалов [11]. Однако для целей диагностики агрегатов автомобилей фотометрия газоразрядного свечения ко-

ронного и тлеющего разрядов до сих пор не исследовалась.

Решение поставленных задач. Проведение обзорных исследований [5, 11] в области фотометрии газового разряда, показывает общие принципы работы приборов применяемых в кирлианографии. Приборы газоразрядной визуализации имеют следующие рабочие процессы [1, 2]. Между исследуемым объектом и стеклянным изолятором (рис. 1), на котором располагается объект, подаются импульсы ($\sim 7...30$ кГц) напряжения ($\sim 1...60$ кВ) от высоковольтного генератора. На обратную сторону изолятора нанесено токопроводящее покрытие. При высокой напряженности поля в газовой среде между исследуемым объектом и изолятором образуется скользящий газовый разряд, параметры которого определяются свойствами объекта и газовой среды. Свечение разряда с помощью веб-камеры преобразуется в видеосигнал, который записывается в виде файла в блок памяти компьютера для алгоритмической обработки.

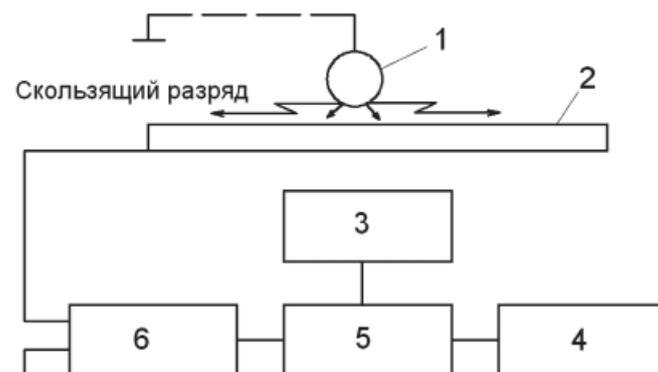


Рис. 1. Схема фотометрии скользящего газового разряда:
1 – исследуемый объект; 2 – изолятор; 3 – веб-камера; 4 – процессор;
5 – блок памяти; 6 – импульсный высоковольтный генератор

Внесение в разрядный промежуток на поверхность изолятора смазочного масла в качестве объекта исследования существенно изменит механизм развития разряда. Разряд, распространяющийся вдоль поверхности изолятора со смазочным маслом, проиллюстрированный на рис. 2, будет иметь наибольшую напряженность электрического поля у края электрода 1. В этом месте возникнет корона разряда 3, наблюдаемая в виде полосы свечения.

На напряженность электрического поля, распространяемого вдоль поверхности изолятора, существенное влияние оказывает удельная поверхностная емкость C_0 . С увеличением неравномерности поля растет продольная составляющая напря-

женности поля E_z у электрода, и создаются условия для возникновения разряда по поверхности изолятора. Нормальная составляющая E_n «прижимает» перемещающийся под действием электрического поля разряд к поверхности изолятора [7, 9], при этом возникает скользящий разряд вдоль поверхности изолятора. При увеличении напряжения U_0 область коронирования будет расширяться, и через корону разряда будет проходить ток i . Чем больше ток i разряда, тем выше его проводимость γ и шире корона разряда l [9].

Известно [7, 9], что напряженность электрического поля характеризуется отношением разрядного напряжения U к толщине изолятора, тогда величину газо-

разрядного перекрытия можно выразить зависимостью:

$$l \approx \sqrt{\frac{d}{\rho_s \omega \epsilon^*}} = \frac{U}{E}, \quad (1)$$

где d – расстояние между электродами (толщина изолятора); ϵ^* – эффективная диэлектрическая проницаемость твердого изолятора; ω – угловая частота; ρ_s – удельное поверхностное сопротивление изолятора.

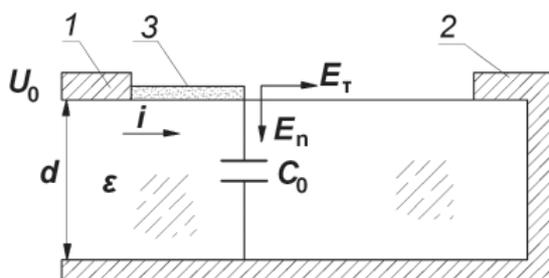


Рис. 2. Схема развития разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика: 1, 2 – электроды; 3 – разряд (корона)

Если на поверхность стеклянного изолятора специальным способом поместить смазочное масло и создать разность потенциалов, то масло изменит удельную поверхностную емкость изолятора. Смазочное масло также изменит эффективную диэлектрическую проницаемость ϵ^* чистого изолятора и в соответствии с формулой (1) изменит напряженность электрического поля и длину газоразрядного перекрытия.

Длина кроны газового разряда формирует фотометрические величины, такие как яркость и освещенность, которые по-

зволяют регистрировать интенсивность свечения светового потока, испускаемого с единицы поверхности [6]. Регистрация интенсивности свечения осуществляется встроенной в веб-камеру светочувствительной матрицей фотодиода, которая преобразует энергию фотонов в электрический разряд. Фотоны поглощаются матрицей посредством внутреннего фотоэффекта. Внутренний фотоэффект, образуемый за счет освещенности фотодиода, перераспределяет фотоэлектроны по энергетическим уровням, в результате чего образуются носители свободных зарядов, т.е. электрический ток. Сила тока пропорциональна интенсивности света от светового потока. Ток заряжает цветовой пиксель матрицы, а множество этих пикселей создают аддитивную цветовую модель RGB-процесса газоразрядного свечения. Следовательно, структурные изменения смазочного масла в среде газового разряда можно пропорционально выразить через аддитивную цветовую RGB-модель, например, посредством формата JPEG.

Материалы и методы исследования

Смазочное масло внести в высоковольтный разряд можно, пропитав маслом бумажный носитель. Если бумажные носители пропитать свежим и работающим маслом идентичной марки, а затем их одновременно поместить на изолятор и приложить к электродам высоковольтное импульсное напряжение, то электрическое поле наведет светящиеся короны разрядов, которые будут скользить на границе поверхности масла и атмосферного воздуха (рис. 3). За численную меру газоразрядного свечения можно принять расстояние l_i от кромки электрода до дискретных границ яркости визуального изображения свечения короны [1, 2].

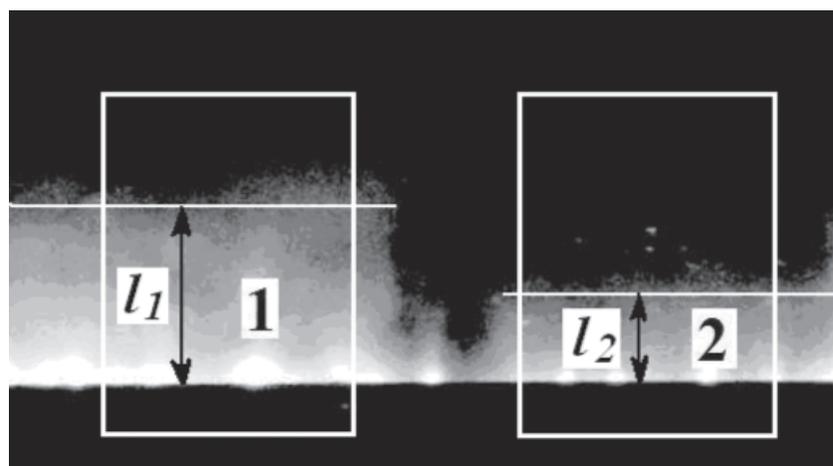


Рис. 3. Фотография короны тлеющего разряда двух проб смазочного масла: 1 – свежего (эталонного); 2 – работающего

От длины короны газового разряда зависит фиксируемая площадь источника оптического излучения. Чем длиннее корона разряда, тем выше поток

оптического излучения и интенсивность свечения, которая формируют цветовую RGB-модель. Световое излучение в таком случае будет алгоритмически об-

рабатываться от площадей двух проб масел. При этом атмосферное давление, температура воздуха и импульсное напряжение являются величинами постоянными. Одновременная регистрация свечений двух проб масла исключает грубые и случайные ошибки измерений.

Математическую модель для оценки параметрических изменений скользящего разряда можно записать через величину длины его короны:

$$l = k \sqrt{\frac{\epsilon_{из} d_{из} + \epsilon_6 d_6}{\omega \rho_6 \epsilon_{из} \epsilon_6}}, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние факторов конструкции и определяемый экспериментально; $\epsilon_{из}$ – диэлектрическая проницаемость изолятора; $d_{из}$ – толщина изолятора. Полученная модель оценивает состояние внутренней среды бумажного носителя, пропитанного маслом и помещенного в высоковольтный разряд.

Если смазочное масло чистое, и его можно принять за эталон, то распространение разряда будет зависеть от диэлектрической проницаемости бумаги пропитанной смазочным маслом ϵ_6 , толщины листа d_6 и его удельного сопротивления ρ_6 .

Внедрение в структуру бумаги загрязняющих компонентов различной концентрации, приведет к изменению эффективной диэлектрической проницаемости бумажного носителя ϵ_6^* и его удельного сопротивления ρ_6^* , которые рассчитаются с использованием эмпирической зависимости Оделевского–Винера [7]:

$$\epsilon_6^* = \epsilon_m \left[1 + \frac{v_2}{\frac{1-v_2}{3} + \frac{v_2}{\epsilon_3 - \epsilon_m}} \right], \quad (3)$$

где v_2 – объемная концентрация загрязняющих включений в долях единицы; ϵ_m – диэлектрическая проницаемость свежего масла; ϵ_3 – диэлектрическая проницаемость загрязняющего компонента.

Металлические продукты износа в пропитанном маслом пористом носителе не оказывают влияния на изменение величины эффективной диэлектрической проницаемости масляной среды, т.к. для металлов условие $\epsilon = 1$ конвенционально. На изменение длины разряда будет оказывать существенное влияние электропроводность металлического загрязнителя γ как величина, обратная удельному сопротивлению.

Для того чтобы количественно оценить степень загрязненности работающего масла через длину короны разряда, в работе принят коэффициент условного показателя интенсивности свечения $K_{ис}$, который является диагностическим критерием и показывает, во сколько раз интенсивность свечения скользящего разряда пробы с рабочим маслом отличается от интенсивности свечения со свежим [1, 2]:

$$K_{ис} = \frac{l_2}{l_1}. \quad (4)$$

Таким образом, коэффициентом $K_{ис}$ можно оценить степень загрязненности работающего масла через изменения концентраций загрязняющих компонентов и значений их диэлектрических проницаемостей.

Результаты исследования и их обсуждение

Возможность диагностирования работоспособности системы «агрегат – масло» методом высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) базируется на взаимосвязи между состоянием механизма и состоянием масла, смазывающего этот механизм.

Оценка пригодности моторных масел осуществлялась по результатам эксплуатационных испытаний [2]. Для использования метода ВТР был разработан портативный диагностический прибор ВТР-1. В условиях эксплуатации был выполнен массовый отбор проб масел М-10ДМ и Chevron SAE-15W40 из двигателей автосамосвалов БелАЗ-7548 и БелАЗ-7555, работающих в угольных разрезах Кузбасса.

Значения диагностических параметров определялись с использованием вероятностного и статистического методов расчета. Для масел исследуемых машин рассчитывались значения числовых характеристик: математическое ожидание, модальное значение, дисперсия, среднеквадратичное отклонение. Числовые характеристики позволяют установить соответствие экспериментальных данных с законом нормального распределения и рассчитать допустимое значение $C_{доп}$ диагностического параметра $K_{ис}$ с доверительной вероятностью 0,95 по формуле [8]:

$$C_{доп} = M \pm 2\sigma, \quad (5)$$

где M – модальное значение параметра экспериментальной плотности распределения, построенной без учета больших и малых измерений; σ – среднеквадратичное отклонение параметра.

В таблице приведены результаты браковочных значений диагностического параметра $K_{ис}$, полученных на основе более 300 измерений проб работающих моторных масел М-10ДМ и Chevron SAE-15W40.

Диагностические параметры $K_{ис}$ для моторных масел М-10ДМ и Chevron SAE-15W40

Диагностические параметры	$C_{доп \min}$	$C_{доп \max}$
Браковочные значения	0,50	1,35

Выводы

Метод газоразрядной оценки свойств работающих масел следует отнести к экспресс-методам диагностики агрегатов карьерных автосамосвалов, имеющих замкнутую систему смазки. Использовать рассмотренный метод оценки работающего

масла рекомендуется в качестве предварительного в лабораториях физико-химических анализов масла. Превышение значений диагностического параметра свидетельствует о повышенной загрязненности работающего масла продуктами износа, дорожной пылью, водой, охлаждающей жидкостью или топливом. Каждый диагностический признак характеризует конкретный вид неисправности (повышенный износ сопрягаемых деталей, отсутствие герметичности соединений, неработоспособность систем очистки масла или воздуха, неисправности в системе охлаждения, нарушения регулировок топливной аппаратуры и др.), что является основанием для постановки автосамосвала на соответствующий вид технического обслуживания или в ремонт.

Авторами статьи приведены результаты теоретического и практического исследования применительно к карьерной технике. Однако принципы диагностирования во многом одинаковы для легковых и грузовых автомобилей, что делает рассмотренный метод универсальным и перспективным для технической эксплуатации автомобилей.

Работа выполнена по специальности 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Список литературы

1. Власов Ю.А., Тищенко Н.Т. Газоразрядная оценка свойств смазочных масел // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 5. – С. 43–46.
2. Диагностика агрегатов машин методом высоковольтного тлеющего разряда: монография / Ю.А. Власов, Э.И. Удлер, Н.Т. Тищенко, Ю.С. Саркисов. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – 198 с.
3. Кирлиан В.Х., Кирлиан С.Д. В мире чудесных разрядов. – М.: Знание, 1964. – 40 с.
4. Кюрегян С.К. Атомный спектральный анализ нефтепродуктов. – М.: Химия, 1985. – 320 с.
5. Романий С.Ф., Черный З.Д. Неразрушающий контроль по методу Кирлиана. – Днепропетровск: ДГУ, 1991. – 144 с.
6. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 3. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. – 4-е изд. – М.: Наука, 1973. – 528 с.
7. Сканави Г.И. Физика диэлектриков (область сильных полей). – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1958. – 896 с.
8. Соколов А.И., Тищенко Н.Т., Аметов В.А. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1991. – 200 с.
9. Техника высоких напряжений / Л.Ф. Дмоховская, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь и др.; под ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.

10. Химия нефти. Руководство к лабораторным занятиям / И.Н. Дияров, И.Ю. Батуева, А.Н. Садыков, Н.Л. Солодова. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.

11. Шустов М.А., Протасевич Е.Т. Электроразрядная фотография. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 1999. – 244 с.

References

1. Vlasov Yu.A., Tischenko N.T. *Gazorazryadnaya otsenka svoystv smazochnykh masel* [Gas discharge estimation of properties of lubricating oils]. Motor company, 2013, no. 5, pp. 43–46.
2. Vlasov Yu.A., Udler E.I., Tischenko N.T., Sarkisov Yu.S. *Diagnostika agregatov mashin metodom vysokovoltnogo tleyushego razryada* [Diagnostics of units of cars by a method of a high-voltage smoldering discharge]. Monograph. Tomsk: Publishing house of university of architecture and building, 2013. 198 p.
3. Kirlian V. H., Kirlian S. D. *V mire udivitelnykh razryadov* [In the world of wonderful discharges]. Moscow: Knowledge, 1964. 40 p.
4. Kyuregyan S. K. *Atomarny spektralny analiz nefteproduktov* [Nuclear spectral analysis of oil products]. Moscow: Chemistry, 1985. 320 p.
5. Romaniy S.F., Cherniy Z.D. *Nerazrushayushiy kontrol metodom Kirliana* [Nondestructive control on Kirlian's method]. Dnepropetrovsk: Publishing house of the state university, 1991. 144 p.
6. Savelyev I.V. *Kurs obschey fiziki* [Course of the general physics]. Vol. 3. Optics, nuclear physics, physics of an atomic nucleus and elementary particles. 4th edition. Moscow: Science, 1973. 528 p.
7. Skanavi G.I. *Fizika dielektrikov* [Physics of dielectrics (area of strong fields)]. Moscow: Publishing house of physical and mathematical literature, 1958. 896 p.
8. Sokolov A.I., Tischenko N.T., Ametov V.A. *Otsenka rabotosposobnosti mashin po parametram rabotayushchego masla* [Assessment of operability of cars on parameters of working oil]. Tomsk: Publishing house of Tomsk University, 1991. 200 p.
9. Dmochovsky L.F., Lariyonov V.P., Pintal Yu.S. *Tekhnika vysokikh napryazheniy* [Equipment of high tension]. Under edition of Razeviga D.V. Moscow: Energy, 1976. 488 p.
10. Diyarov I.N., Batuyeva I.Yu., Sadykov A.N., Solodova N.L. *Khimiya nefty* [Oil chemistry]. The management to laboratory researches. Leningrad: Chemistry, 1990. 240 p.
11. Shustov M. A. Protasevich E.T. *Elektrozryadnaya fotografiya* [Photo of an electric discharge]. Tomsk: Publishing house of Tomsk polytechnic university, 1999. 244 p.

Рецензенты:

Ананин В.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины», декан механико-технологического факультета Томского государственного архитектурно-строительного университета, г. Томск;

Волокитин Г.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика и материаловедение» Томского государственного архитектурно-строительного университета, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 19.07.2013.