

УДК 629.3:621.3

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ АГРЕГАТОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ МЕТОДОМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

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

*ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Томск, Россия (634003, Томск, пл. Соляная, 2), e-mail: yury2006@yandex.ru*

Работа карьерных автосамосвалов связана с множеством эксплуатационных факторов, которые приводят к ухудшению технического состояния механизмов машин. Повышению эксплуатационной надежности механизмов с замкнутыми смазочными системами будет способствовать диагностический контроль по параметрам работающего масла. Существующие стандартные методы контроля достаточно трудоемки и малопродуктивны. В статье приведено обоснование газоразрядной диагностики, которая оценивает свойства работающего масла по длине короны тлеющего разряда. Длина короны разряда зависит от свойств рабочего масла, его загрязненности. Загрязняющие компоненты в масле несут информацию о технических нарушениях агрегатов автомобилей, благодаря которым они оказались в масляной среде. Показано, что метод является экспрессным и универсальным, а предварительное его использование вместо стандартных методов, позволяет снизить трудоемкость работ, повысить производительность диагностирования и улучшить экологическую обстановку в лаборатории диагностического контроля.

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

## THE ORGANIZATION OF PRELIMINARY CONTROL OF UNITS OF CAREER DUMP TRUCKS THE METHOD OF THE HIGH-VOLTAGE SMOLDERING DISCHARGE

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

*Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia (634003, Tomsk, Solyanaya square, 2), e-mail: yury2006@yandex.ru*

Work of career dump trucks is connected with a set of operational factors, which lead to deterioration of a technical condition of mechanisms of cars. Increase of operational reliability of mechanisms with the closed lubricant systems will be promoted by diagnostic check on parameters of working lubricant oil. Existing standard control methods is difficult and a little productive. Possibility of use of gas-discharge diagnostics that estimates properties of working lubricant oil on length of a crown of a smoldering electric discharge is given in article. Length of a crown of an electric discharge depends on concentration of components of a pollutant in working lubricant oil. Polluting components in oil characterize violations of units of cars thanks to which they appeared in the oil environment. In article it is shown, that the method of a high-voltage smoldering electric discharge is quickly operating and universal. Preliminary use of a method instead of standard methods, allows reducing labor input of works, to increase productivity of diagnosing and to improve an ecological situation in laboratory of diagnostic check.

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

**Введение.** Повышение надежности и долговечности работы автомобильных агрегатов является одной из важных проблем в автотранспортной отрасли. Данные проблемы также затрагивают и горнодобывающие отрасли, где добыча полезных ископаемых ведется открытым способом с применением крупнотоннажных карьерных автосамосвалов. Если учесть, что принципиальных изменений в конструкциях карьерных автосамосвалов в ближайшее время не ожидается, а основные компоновочные схемы отработаны и во многом одинаковы по основным узлам и агрегатам для моделей, выпускаемых различными фирмами [3], то все успехи разработчиков в значительной степени определяются правильно поставленной эксплуатацией. Из многообразия эксплуатационных факторов, влияющих на

долговечность агрегатов карьерных автосамосвалов (двигатели внутреннего сгорания, гидромеханические передачи, редукторы ведущих мостов, редукторы мотор-колес, механизмы гидравлических систем и т.п.), значительное место принадлежит качеству применяемых эксплуатационных материалов.

Для обеспечения карьерного автотранспорта маслами, отвечающими современным требованиям эксплуатации, нефтеперерабатывающей промышленностью создаются высококачественные масла, обладающие высокими моющее-диспергирующими свойствами, стойкостью к окислению, хорошими противоизносными, антикоррозионными и вязкостно-температурными свойствами.

Если вопросам разработки и производства масел уделяется соответствующее внимание, то этого нельзя сказать в отношении применения масел в условиях эксплуатации. В настоящее время не во всех автотранспортных предприятиях (АТП), эксплуатирующих карьерную технику, осуществляется должный контроль качества свежего и работающего масла, что не соответствует современному уровню технической эксплуатации автомобилей. Кроме того, на качество работающего масла значительное влияние оказывает техническое состояние агрегата. Поэтому возникает необходимость в организации службы контроля, которая могла бы оценивать как состояние самого масла, так и состояние агрегата.

**Постановка проблемы.** Для повышения надежности и долговечности агрегатов карьерных автосамосвалов в техническое обслуживание необходимо ввести контроль качества масла. Контроль качества свежих и работающих масел осуществляется в диагностических лабораториях физико-химического и спектрального анализов масла.

До сих пор вопрос выбора показателей, по которым следует определять качество работающего масла, остается открытым, и в этом вопросе отсутствует единое мнение [6]. На основании опыта лабораторий ряда транспортных предприятий Кузбасса и Томской области рекомендованы стандартные методы контроля качества работающего масла [8], которые включают определения негорючих примесей, температуры вспышки, наличия воды, наличия водорастворимых кислот, водородного показателя и щелочного числа.

Свежее масло целесообразно контролировать по показателям вязкости, зольности, температуры вспышки, щелочного числа и наличию воды [6, 8].

Организация лаборатории диагностики в АТП позволяет поставить планово-предупредительную систему технического обслуживания агрегатов карьерных автосамосвалов на научную основу, при которой будет наблюдаться сокращение затрат на техническое обслуживание, горюче-смазочные материалы, на текущий и капитальный ремонты. В данном случае техническое обслуживание следует проводить не по пробегу, а по необходимости, увеличивая сроки их выполнения. При этом, анализируя работающее масло,

оценивается не столько сокращение расхода масла, хотя это не маловажный фактор, сколько увеличение долговечности работы агрегата.

Долговечность агрегата зависит от состояния его узлов и деталей. Оценить состояние трибосопряжений можно интегрально, по концентрации продуктов износа в работающем масле методом эмиссионного спектрального анализа масла (ЭСАМ), который также рекомендуется выполнять в лаборатории диагностики.

Штат лаборатории диагностики определяется величиной производственной программы выполняемых анализов и их трудоемкостью. Количество анализируемых проб зависит от количества контролируемых агрегатов, а также от периодичности проведения анализов работающих масел. Если периодичность мала, то значительно увеличивается трудоемкость выполняемой работы, если периодичность большая, то снижается эффективность контроля качества масла. Таким образом, снижению производительности, главным образом, будет способствовать высокая трудоемкость выполняемых анализов стандартными методами и, в меньшей степени, отсутствие должной производственной программы по количеству выполняемых проб масла.

Решению данной проблемы, на наш взгляд, будет способствовать внедрение в диагностику универсальных экспресс-методов анализа масла, с малой трудоемкостью, и наличие план-графика отбора проб масла, выполняемого с периодичностью технического обслуживания.

**Решение поставленных задач.** Как правило, срок выполнения анализов устанавливается исходя из периодичности технического обслуживания, чтобы результаты были готовы к моменту постановки автомобиля на обслуживание. Наиболее целесообразно отбор проб масла выполнять с агрегатов карьерных автосамосвалов в эксплуатации. Для этого, за сутки до плановой постановки на обслуживание, в разрез отправляется автомобиль топливозаправщик со слесарем диагностом. Слесарь останавливает требуемый автосамосвал в тот период времени, пока автосамосвал дозаправляется дизельным топливом, выполняется отбор проб масла из подконтрольных агрегатов специальным пробоотборником в специально подготовленную и подписанную посуду. Факт отбора проб масла фиксируется в специальном журнале, после чего пробы доставляются в лабораторию диагностики для выполнения анализов.

На наш взгляд, снизить трудоемкость выполнения анализов масла можно, используя такой метод, который смог бы охватить одним измерением несколько видов оценки диагностических признаков. Для этого оптимально подходит измерение диэлектрических свойств работающего масла. Образующиеся в работающих маслах загрязняющие примеси (продукты износа, абразивная пыль, охлаждающая жидкость, дизельное топливо), с одной

стороны, изменяют диэлектрические свойства смазочной среды, с другой стороны, несут информацию о неисправностях, что делает возможным диагностировать агрегаты машин. Следовательно, регистрация характерных изменений масла даст возможность оценивать состояние агрегата автомобиля.

В работе предлагается применить оригинальный способ оценки диэлектрических свойств масла с использованием высоковольтного тлеющего разряда. Для этого был разработан прибор газоразрядной визуализации с условным названием ВТР-1 [1, 2]. Рабочие процессы данного прибора заключаются в следующем. 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 тлеющий 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.

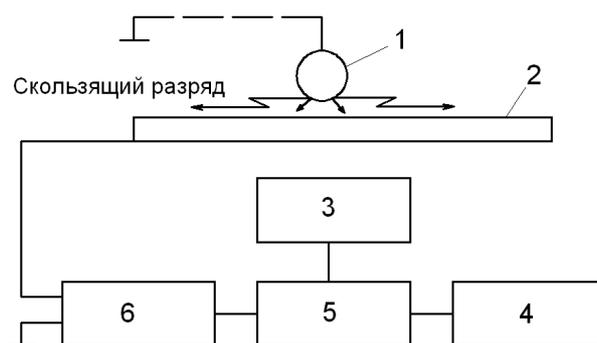


Рис. 1. Схема фотометрии скользящего газового разряда:

- 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. Известно [5, 7], что напряженность  $E$  электрического поля характеризуется отношением разрядного напряжения  $U$  к толщине изолятора, тогда величину светящейся короны газоразрядного перекрытия можно выразить зависимостью:

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

где  $d$  – толщина изолятора;  $\epsilon^*$  – эффективная диэлектрическая проницаемость твердого изолятора;  $\omega$  – угловая частота тока;  $\rho_s$  – удельное поверхностное сопротивление изолятора.

Длина короны тлеющего разряда формирует фотометрические величины, такие как яркость и освещенность, которые позволяют регистрировать интенсивность свечения светового потока, испускаемого с единицы поверхности [4]. 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 тлеющего разряда. Ток заряжает цветовой пиксель матрицы, а множество этих пикселей создают аддитивную цветовую модель RGB процесса свечения. Следовательно, структурные изменения смазочного масла в среде газового разряда можно пропорционально выразить через аддитивную цветовую RGB-модель, например, посредством формата JPEG.

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. 2). За численную меру газоразрядного свечения можно принять расстояние  $l_i$  от кромки электрода до дискретных границ яркости визуального изображения свечения короны [1, 2].

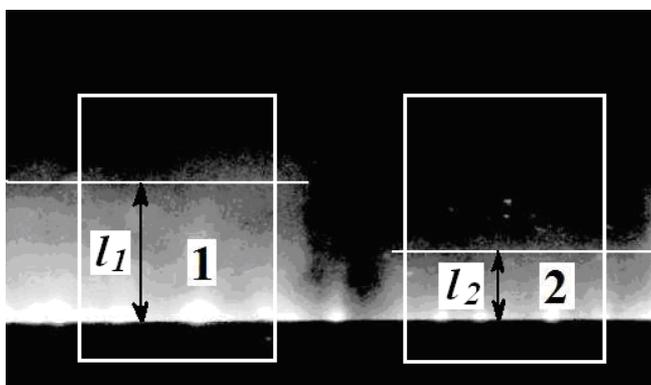


Рис. 2. Фотография короны тлеющего разряда двух проб смазочного масла:

1 – свежего (эталонного); 2 – работающего

От длины короны газового разряда зависит фотофиксируемая 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 обрабатываться 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:

$$l = k \sqrt{\frac{\epsilon_{uz} d_{uz} + \epsilon_{\delta} d_{\delta}}{\omega \rho_{\delta} \epsilon_{uz} \epsilon_{\delta}}}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние факторов конструкции и определяемый экспериментально,  $\epsilon_{uz}$  – диэлектрическая проницаемость изолятора;  $d_{uz}$  – 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  $\epsilon_{\delta}$ , толщины листа  $d_{\delta}$  и его удельного сопротивления  $\rho_{\delta}$ . Внедрение в структуру бумаги загрязняющих компонентов различной концентрации приведет к изменению эффективной диэлектрической проницаемости бумажного носителя  $\epsilon_{\delta}^*$  и его удельного сопротивления  $\rho_{\delta}^*$ .

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, 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]:

$$K_{ИС} = \frac{l_2}{l_1}. \quad (3)$$

Таким образом, коэффициентом  $K_{ИС}$  можно оценить степень загрязненности работающего масла, сравнивая его значения с браковочными значениями, определенными либо теоретически, задаваясь предельными концентрациями загрязняющих компонентов, либо методами математической статистики из экспериментальной плотности распределения.

**Методы исследования.** Все пробы работающего масла, поступившие в лабораторию диагностики, подвергают экспресс-анализу на приборе ВТР-1. Как показывают проведенные исследования [2], метод высоковольтного тлеющего разряда является высокопроизводительным (~ 5 мин/анализ), по одному измерению способен выявить

присутствие в масле продуктов износа, атмосферной пыли, воды и дизельного топлива. Так как анализ масла на приборе ВТР-1 дублирует стандартные методы контроля (определение негорючих примесей, температуры вспышки, воды), то для исключения дублирования данные стандартные методы анализа работающего масла не выполняют.

В том случае, когда значение диагностического параметра, полученного на приборе ВТР-1, превышает величину браковочного значения, то выполняется весь комплекс стандартных методов анализа масла, который уточняет результат экспресс-диагностики. Полученные результаты от комплекса анализов являются основанием для постановки автосамосвала на техническое обслуживание или в ремонт.

**Результаты исследования.** В таблице приведены показатели эффективности от внедрения предварительного контроля работающего масла с использованием прибора ВТР-1 при диагностировании двигателей карьерных автосамосвалов БелАЗ-7555 и БелАЗ-7548 автоколонны № 1 автоуправления ОАО «Разрез Шестаки» (г. Гурьевск Кемеровской области).

Таблица

Показатели эффективности от внедрения средств экспресс-диагностирования ВТР-1

Параметры	Показатели
Количество автосамосвалов в автоколонне, ед.	34
Повышение производительности от внедрения экспресс-методов, %	20,89
Доля трудоемкости экспресс-методов от общей трудоемкости стандартных методов, %	11,36
Сокращение времени контакта человека с нефтепродуктами (показатель экологической эффективности), раз	9
Срок окупаемости, год	0,13
Снижение стоимости затрат одной пробы масла, руб.	47,4
Годовой экономический эффект от внедрения диагностики, тыс. руб.	9,21

**Выводы.** Рассмотренный метод диагностирования автомобильных агрегатов, базируемый на электрофизических свойствах регистрации отклонений смазочной среды, позволяет предварительно, без трудоемкого комплекса стандартных физико-химических анализов, оценить свойства работающего масла. В зависимости от полученного значения диагностического параметра  $K_{ИС}$ , которое сравнивается с браковочным значением, принимается решение о целесообразности применения стандартного метода контроля. При

комплексном совпадении значений выше браковочных, ставится диагноз техническому состоянию агрегата автосамосвала, а работающее масло заменяется на свежее.

Метод высоковольтного тлеющего разряда позволяет сократить трудоемкость производства выполненных анализов, повышает производительность труда, сокращает контакт человека с нефтепродуктами.

### 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. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П. Л. Мариев, А. А. Кулешов, А. Н. Егоров, И. В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2006. – 387 с.
4. 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.
5. Сканапи Г. И. Физика диэлектриков (область сильных полей). – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1958. – 896 с.
6. 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.
7. Техника высоких напряжений / Л. Ф. Дмоховская, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь и др. / Под ред. Д. В. Разевига. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
8. Химия нефти. Руководство к лабораторным занятиям / И. Н. Дияров, И. Ю. Батуева, А. Н. Садыков, Н. Л. Солодова. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.

### 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 «Прикладной механики и материаловедения» Томского государственного архитектурно-строительного университета, г. Томск.