DOI: 10.17117/na.2016.01.01.393

<http://ucom.ru/doc/na.2016.01.01.393.pdf>

Поступила (Received): 26.01.2016

Власов Ю.А., Ляпин А.Н., Ляпина О.В., Чечулин К.Н. Модель формирования информирующего сигнала исследуемой среды в тлеющем разряде

**Vlasov Yu.A., Lyapin A.N., Lyapina O.V., Chechulin K.N.
The model of formation of the informing signal of
the test medium in glow discharge**

В статье рассмотрены физические принципы газоразрядной диагностики агрегатов машин по параметрам смазочного масла. Загрязняющие компоненты в смазочном масле способны оказывать влияние на изменение интенсивности свечения тлеющего разряда. Показана взаимосвязь между интенсивностью свечения тлеющего разряда и его фотометрией

Ключевые слова: интенсивность свечения, тлеющий разряд, фотометрия, смазочное масло

The article describes the physical principles of gas-discharge diagnostics of units of machines on the parameters of the lubricating oil. Polluting components in the lubricating oil can influence the change of the luminescence intensity of the glow discharge. Shows the relationship between the light intensity of the glow discharge and its photometry

Key words: intensity of the glow, glow discharge, photometry, lube oil

Власов Юрий Алексеевич

Доктор технических наук, профессор
Томский государственный архитектурно-
строительный университет
г. Томск, пл. Соляная, 2

Vlasov Yuriy Alekseevich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Tomsk state university of architecture and building
Tomsk, Solyanaya sq., 2

Ляпин Алексей Николаевич

Инженер
Газпром трансгаз Томск
г. Томск, ул. Смирнова, 3 А

Lyapin Alexey Nikolaevich

Engineer
Gazprom transgaz Tomsk
Tomsk, Smirnova st., 3 A

Ляпина Ольга Викторовна

Старший преподаватель
Томский государственный архитектурно-
строительный университет
г. Томск, пл. Соляная, 2

Liapina Olga Viktorovna

Senior lecturer
Tomsk state university of architecture and building
Tomsk, Solyanaya sq., 2

Чечулин Константин Николаевич

Инженер
Томский государственный архитектурно-
строительный университет
г. Томск, пл. Соляная, 2

Chechulin Konstantin Nikolaevich

Engineer
Tomsk state university of architecture and building
Tomsk, Solyanaya sq., 2

Содержащиеся в смазочных маслах агрегатов машин примеси несут информацию, которая позволяет делать соответствующие заключения о снижении смазывающей активности, ухудшении показателей работы в трибосопряжениях, причинах отказов, выработке присадок и др.

Наиболее эффективно такая оценка осуществляется с применением эмиссионного спектрального анализа масла (ЭСАМ), где источник света является основным носителем информации о состоянии смазочной среды. ЭСАМ путем конденсирования искры (или дуги) испаряет газы, которые содержат компоненты смазочной среды, а возбуждаемый спектр этих компонентов фотофиксируется по длинам волн их аналитических линий. Из этого следует, что высоковольтное газоразрядное свечение позволяет определять загрязняющие компоненты смазочной среды путем фотометрии. Однако метод ЭСАМ имеет ряд существенных недостатков – сложность конструкции, высокая стоимость и значительные габаритные размеры, что в значительной степени ограничивают их производственную востребованность. Более простые средства диагностического контроля агрегатов машин по параметрам работающего масла, в основе которых будут заложены физические принципы фотометрии газоразрядного свечения в соответствии со схемой действия «смазочная среда → разряд → компонент загрязнения», будут способствовать расширению диагностических возможностей, например, на транспорте или в машиностроении.

В настоящей статье авторы обосновали модель формирования информирующего сигнала при помещении смазочного масла в высоковольтный разряд, которая может быть положена в основу экспресс-метода диагностического контроля, способного оценивать свойства смазочной среды, изменяющейся в процессе эксплуатации машин.

В настоящее время проблемы моделирования процессов, происходящих в газовом разряде, до конца не решены. Существуют лишь приближенные методы решения этих задач [1]. Наша задача сводится к установлению взаимной логической связи между основными законами газового разряда и способами фотометрии, способными адекватно описывать эти законы.

Известно [1, 2, 3], что при тлеющем разряде протекают различные виды соударений между атомами газа и электронами. При наличии положительно заряженных ионов и отрицательно заряженных электронов происходит процесс рекомбинации.

Свечение, которое возникает при рекомбинациях в газовом разряде, имеет непрерывный спектр. Однако рекомбинация не является единственным способом образования фотоэлектрона. Электроны способны возбуждать атомы электронным ударом. В результате такого удара возбужденные атомы испускают фотоны, возникновение которых носит случайный характер, а вероятность их испускания пропорциональна интенсивности света, т.е. плотности потока энергии в световой волне. Если тлеющий разряд является источником света, тогда интенсивность его свечения пропорциональна квадрату амплитуды колебаний электромагнитного поля $I_v \sim E_0^2 \sim B_0^2$, где E – напряженность электрического поля; B – магнитная индукция.

Интенсивность свечения I_v является величиной определяющей количество лучистой энергии в спектральном интервале частот и совпадает с плотностью потока энергии S :

$$I_v K \approx S, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности зависящий от изменения частоты $d\nu$ и телесного угла $d\Omega$; S – вектор Пойнтинга ($S = |\mathbf{E}\mathbf{H}|$); $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ – векторы электрического и магнитного поля.

Практический интерес представляет интенсивность свечения тлеющего разряда, выраженная через значение напряженности электрического поля [4]:

$$I_v = \frac{\epsilon_0 c \sqrt{\epsilon \mu} E_0^2}{2} \quad (2)$$

где ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; ϵ – диэлектрическая проницаемость вещества; c – электродинамическая постоянная (скорость света в вакууме), $\sqrt{\epsilon \mu}$ – показатель преломления среды; μ – магнитная проницаемость.

Из формулы (2) видно, что величины диэлектрической и магнитной проницаемости характеризуют физическую основу среды газового разряда, от изменения которых будет зависеть изменение интенсивности свечения. Если в газовой среде при тлеющем разряде будут находиться загрязняющие компоненты, которые можно учесть посредством величин диэлектрической и магнитной проницаемостей, то изменение интенсивности свечения можно регистрировать фотоэкспозицией. Однако для этого следует рассмотреть вопрос, который позволит установить взаимосвязь между воспроизводимой освещенностью тлеющего разряда и существующими способами фотофиксации.

Свет проявляет себя через корпускулярно-волновой дуализм. Фотон составляет видимую часть световой энергии, которая образуется во время рекомбинации, когда ион захватывает свободный электрон, и при этом образуется нейтральный атом. В этом случае фотон, обладая свойствами электрона, содержит энергию равную разности энергий при переходе электрона с высокого энергетического уровня на более низкий. Но фотон обладает также волновыми свойствами. Тогда волна будет иметь запас энергии, которая доставляется от источника колебания в различные точки среды. Если интенсивность свечения (1), является величиной переноса лучистой энергии, совпадающей с величиной вектора Пойнтинга, тогда световое излучение тлеющего разряда через участок единичной площади, выраженное интенсивностью свечения, равно потоку энергии Φ , проходящего через данный участок, т.е. $I_v = \Phi$.

Всякая электромагнитная волна представляет наложение колебаний волн, заключенных в некотором интервале $\Delta\lambda$.

Красный, зеленый и синий цвета составляют аддитивную цветовую модель RGB, которая описывает способ синтеза цвета для цветовоспроизведения. Аддитивное смешивание трех основных цветов (красного, зеленого и синего) воспроизводит большинство воспринимаемых человеком цветов. Поэтому, цвет, непосредственно излучающийся при газоразрядном свечении, путем синтеза аддитивных цветов, воспринимается зрительным анализатором человека также как и цветное изображение этого излучения на мониторе компьютера.

Изображение на мониторе основано на цветном пространстве RGB, полученном путем регистрации изображения, как цифровыми, так и аналоговыми системами. Чтобы исключить ошибки между зрением человека и цифровой фотоаппаратурой, регистрацию изображения следует проводить, используя три слоя эмульсии фотопленки или три типа ячеек (пикселей) матрицы цифрового фотоаппарата или сканера.

Фотофиксацию возможно выполнить с помощью светочувствительных фотодиодов [5]. Фотодиод, являясь приемником оптического излучения, преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счет процессов в р-п-переходе [6]. На фотодиоде появляется электрический ток, который согласно закону Столетова [4], при неизменном спектральном составе падающего света на катод, пропорционален световому потоку, т.е. $I_n \sim \Phi$. Это выражается следующим образом: если энергия фотона превышает ширину запрещенной зоны, электрон, поглотивший фотон, переходит из валентной зоны в зону проводимости. В результате появляется электрон и дырка, что увеличивает электропроводность вещества. Общее изменение концентрации носителей зарядов в среде обуславливает фотопроводимость [3].

Чувствительность фотодиода характеризуется изменением электрического состояния на выходе фотодиода. Количественно чувствительность фотодиода можно оценить отношением изменения электрической характеристики, регистрируемой на выходе фотодиода к световому потоку $S_{I,\Phi} = \frac{I_n}{\Phi}$.

Светочувствительные фотодиоды в настоящее время широко используются в интегральных микросхемах ПЗС-матриц [7, 8]. ПЗС-матрица, преобразует энергию фотонов в электрический разряд, т.е. фотон поглощается матрицей посредством явления внутреннего фотоэффекта [3, 4, 5].

Напряжение на электродах матрицы создает потенциальную яму, в которой накапливаются электроны, образовавшиеся в данном пикселе матрицы в результате воздействия света при экспонировании. От интенсивности светового потока во время экспозиции зависит количество электронов в потенциальной яме, что соответствует итоговому заряду данного пикселя. Каждый пиксель растрового изображения хранит информацию только об одном цвете и характеризует данный объект возможной яркостью [4]. Чем интенсивнее световой поток, тем выше итоговый разряд данного пикселя.

Световой поток $d\Phi$, падающий на единицу поверхности светочувствительного слоя матрицы $dS_{пл2}$, создает освещенность этого слоя $E_{осв} = \frac{d\Phi}{dS_{пл2}}$.

Если освещенность умножить на время, в течение которого свет воздействовал на светочувствительный слой матрицы, то получим время экспозиции (экспонирования). Время экспозиции должно быть таким, чтобы фотоматериал с заданной фоточувствительностью мог бы приобрести необходимое количество света для регистрации изображения с пропорциональным воспроизведением яркостей, соответствующим объекту съемки. Общая способность вещества матрицы изменять свои физико-химические свойства под действием света

в видимом диапазоне электромагнитного излучения формирует ту светочувствительность матрицы, в основе которой лежит целый ряд широко используемых фотометрических устройств, таких как сканеры, фотоаппаратура, спектроанализаторы и др.

Понять процесс фотофиксации газоразрядного свечения можно через построение дискретно-событийной модели, как системы хронологической последовательности событий. Модель формирования информирующего сигнала исследуемой среды (рис. 1) построена на логике физических процессов, которые определяют газоразрядное свечение и возможность его фотографической регистрации.

Рис. 1. Модель формирования информирующего сигнала исследуемой среды в газовом разряде посредством фотометрии

Вывод. Если загрязненное смазочное масло поместить в среду газового разряда, то в газовой среде будут протекать процессы ионизации и рекомбинации с испусканием фотонов света, равного интенсивности излучения. Интенсивность излучения зависит от величин диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемости (2). Изменение концентрации загрязнителей в среде газового разряда повлияет на изменение комплексной величины диэлектрической проницаемости, что приведет к изменению интенсивности излучения. Интенсивность излучения формирует электромагнитный поток световой энергии, который, попадая на единичную поверхность фотометра, способен дать освещенность, необходимую для протекания процесса фотоэффекта.

Внутренний фотоэффект, образуемый за счет освещенности фотодиода, перераспределяет фотоэлектроны по энергетическим уровням, в результате чего образуются носители свободных зарядов – электрический ток. Сила тока пропорциональна падающему световому потоку. Ток заряжает цветные пиксели, которые создают аддитивную цветовую модель RGB процесса газоразрядного свечения. В результате, структурные изменения смазочного масла в среде газового разряда пропорционально выражаются аддитивной цветовой RGB-моделью, а алгоритмическая обработка такой модели, в разработанном авторами методе контроля [9], дает диагностический параметр, величина которого позволяет судить о степени загрязненности смазочного масла.

Список используемых источников:

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
2. Мик Дж., Крэгс Дж. Электрический пробой в газах. М.: Изд-во иностр-ой лит-ры, 1960. 622 с.
3. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. М.: Наука, 1966. 564 с.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1973.
5. Бейкер В.Д., Барб Д.Ф., Бурке Х.К., Девис К.Л. и др. Приборы с зарядовой связью. М.: Мир, 1982. 240 с.
6. Миклашевский С.П. Промышленная электроника. М.: Высш. школа, 1973. 351 с.
7. Willard S. Boyle Nobel Lecture: CCD – An extension of man's view // Rev. Mod. Phys. 2010. B. 3. T. 82. C. 2305–2306.
8. George E. Smith Nobel Lecture: The invention and early history of the CCD // Rev. Mod. Phys. 2010. B. 3. T. 82. C. 2307–2312.
9. Власов Ю.А., Удлер Э.И., Тищенко Н.Т., Саркисов Ю.С. Высоковольтная газоразрядная диагностика агрегатов машин по пара-метрам работающего масла // Контроль. Диагностика. 2013. № 9. С. 65–72.

© 2016, Власов Ю.А., Ляпин А.Н., Ляпина О.В.,
Чечулин К.Н.
Модель формирования информирующего сигнала
исследуемой среды в тлеющем разряде

© 2016, Vlasov Yu.A., Lyapin A.N., Lyapina O.V.,
Chechulin K.N.
The model of formation of the informing signal of the
test medium in glow discharge