

## ЭКСПЕРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКАЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

**Залужная Оксана Геннадьевна,**  
магистр технических наук,  
научный сотрудник,  
**Залужный Геннадий Иосифович,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
**Засимович Екатерина Александровна,**  
младший научный сотрудник,  
**Кривицкий Александр Михайлович,**  
кандидат технических наук, заведующий  
НИЛ общих криминалистических и  
автотехнических исследований ГУ «НПЦ  
Государственного комитета судебных  
экспертиз Республики Беларусь»,  
тел. (017) 308-61-63

*Статья посвящена исследованию механизма отказов автомобильных ксеноновых электроламп и светодиодных LED-ламп, инициированных механическими повреждениями.*

*Ключевые слова: судебная автотехническая экспертиза, автомобильные ксеноновые электролампы, led- лампы, особенности отказов*

*Failures of automotive high intensity discharge lamps were investigated comparable to their destruction in real traffic situation. The article is devoted the features of device automotive LED systems and investigates the mechanism of failure of LED devices.*

Автотехническая экспертиза разрушенных автомобильных электроламп сегодня значительно отличается от того, что было 15-20 лет назад. Высокая надежность современных автомобильных источников света привела к сокращению числа простых дефектов, легко выявляемых экспертами в процессе визуального осмотра.

Автомобильные ксеноновые электролампы – это газоразрядные лампы, и в отличие от ламп накаливания, не имеют вольфрамовой спирали. Свет исходит от дугового разряда, возникающего между двумя электродами, размещенными в колбе с инертным газом ксеноном, что делает ксеноновые лампы устойчивыми к вибрационным нагрузкам. Еще одной отличительной особенностью ксеноновых ламп является наличие двух колб. Внутренняя колба состоит из запаянной рабочей камеры, сделанной из тугоплавкого кварцевого стекла, с вольфрамовыми электродами с каждого конца. Камера вакуумируется и под высоким давлением заполняется ксеноном. В ксеноновых лампах в качестве материала для изготовления электродов используется вольфрам легированный торием. Легирование электродов торием увеличивает эмиссию ими электронов<sup>1</sup>. Так как коэффициент теплового расширения кварцевого стекла и вольфрама различаются, вольфрамовые электроды приварены к фольговым полосам из чистого молибдена или сплава инвара, которые вплавлены в колбу (рисунок 1). Внешняя колба выполнена из силикатного стекла, которое отсекает ультрафиолетовое излучение, губительно действующее на отражатель и стекло фары. Существуют разновидности газоразрядных ксеноновых ламп, у которых из пространства между колбами откачен воздух, что снижает теплопроводность и, следовательно, уменьшает нагрев внутри фары.

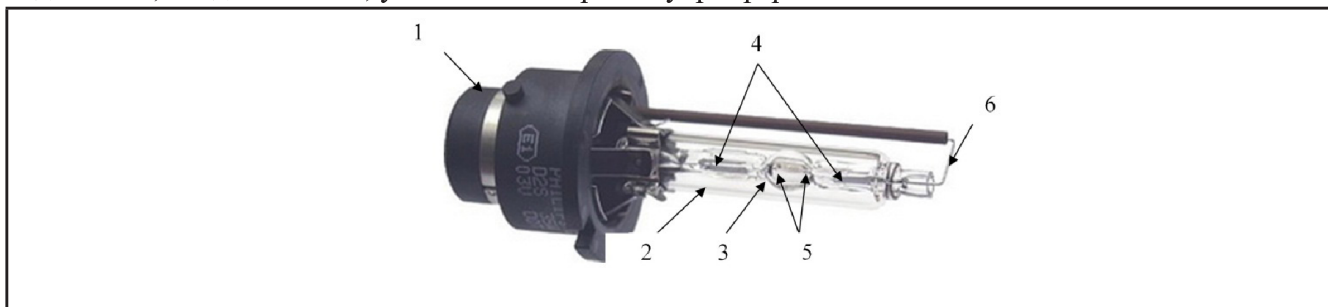


Рисунок 1 – Устройство автомобильной газоразрядной ксеноновой электролампы: 1-цоколь лампы;

1 Уэймаус Д. Газоразрядные лампы / Д. Уэймаус. М.: Энергия, 1977. 344с.

2- внешняя колба; 3- внутренняя кварцевая колба с разрядной камерой и запаянными концами; 4- полосы из молибденовой фольги, вплавленные в кварцевую колбу; 5- вольфрамовые электроды, приваренные к фольговым полосам; 6- токовод.

В последнее время в автомобильных фарах широкое распространение нашли ртутно-ксеноновые лампы. Точнее, в газоразрядных ксеноновых электролампах основной поток света формируют пары ртути. Кроме ртути, лампа содержит иодиды, а иногда бромиды таких металлов, как натрий, скандий и индий. В атмосфере ксенона разряд происходит только на время запуска, до испарения других компонентов<sup>2</sup>.

Иной принцип действия, а также существенные конструктивно-технологические особенности автомобильных газоразрядных ламп, обозначили необходимость в модификации методов их экспертного исследования. Для получения изображения поверхности объекта с высоким пространственным разрешением (5-7 нм), а также с целью изучения состава, строения и некоторых других свойств поверхности вольфрамовых электродов использовали цифровой растровый электронный микроскоп (РЭМ), оснащенный приставкой, предназначенной для проведения рентгеновского дифракционно-дисперсного микроанализа. Базой для рентгеновского микроанализатора служит электронно-оптическая система РЭМ, что позволяет визуализировать важные для эксперта участки поверхности исследуемой автомобильной электролампы.

На основании результатов проведенных экспериментов, сопоставимых с реальными условиями эксплуатационных отказов автомобильных ксеноновых ламп, установлены важные диагностические признаки, характеризующие физическую сущность происходящих при этом явлений.

Установлена особенность отказов находящихся под напряжением газоразрядных ламп для случаев, когда разрушение внешней колбы и погасание дуги происходят не одновременно, а с некоторой разницей во времени. С момента разрушения внешней колбы (рисунок 2а), внутренняя кварцевая капсула оказывается незащищенной от случайного попадания на ее поверхность мельчайших осколков поврежденной фары или иного рода пылевидных частиц. В случае попадания на открытую поверхность капсулы твердотельных частиц, в месте контакта с разрядной камерой может произойти их частичное оплавление, приваривание или образование пригара.

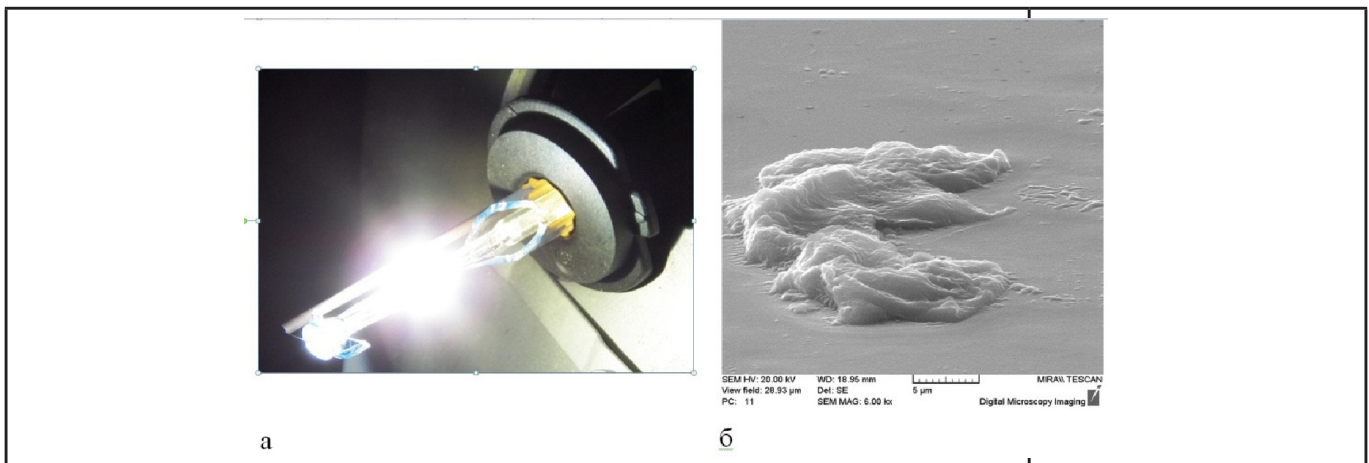


Рисунок 2 – Автомобильная ксеноновая лампа с разрушенной внешней колбой (а); электронно-микроскопическая фотография инородной частицы, которая приварилась к открытой поверхности внутренней колбы (б).

Проявление любого из указанных признаков свидетельствует о том, что лампа находилась в рабочем состоянии и в момент разрушения ее внешней колбы между электродами горела высокотемпературная дуга. На рисунке 2б представлена электронно-микроскопическая фотография участка наружной поверхности кварцевой капсулы с оплавленными частицами инородного материала. Оплавление и приваривание отдельных микрочастиц к поверхности кварцевого стекла

произошло в стационарном режиме работы лампы, после механического разрушения ее внешней колбы.

Поскольку эмиссия электронов в дуговом разряде имеет термическую природу, во время работы ксеноновой лампы ее анод очень сильно нагревается потоком электронов. В последнее время в газоразрядных лампах стали использовать спеченные электроды, состоящие из вольфрамового ядра и напессованного на него эмиссионного вещества в виде цилиндрической спеченной массы из смеси порошков вольфрама и галогенидов щелочноземельных металлов<sup>3</sup>.

В процессе горения дуги спеченная масса нагревается до температуры порядка 1500 К, при которой происходит испарение эмиссионного вещества. В случае разрушения горячей ксеноновой лампы и разгерметизации рабочей капсулы, поверхность разогретых до высокой температуры вольфрамовых электродов окисляется с образованием оксидной пленки. Формирование низших оксидов на разогретой поверхности ядер носит диффузионный характер. Как показывает анализ рентгеновских спектров, химический состав оксидов, образованных на поверхности вольфрамовых электродов (анода и катода), в значительной мере однородный и находится в прямой зависимости от состава и температуры подложки (рисунок 3).

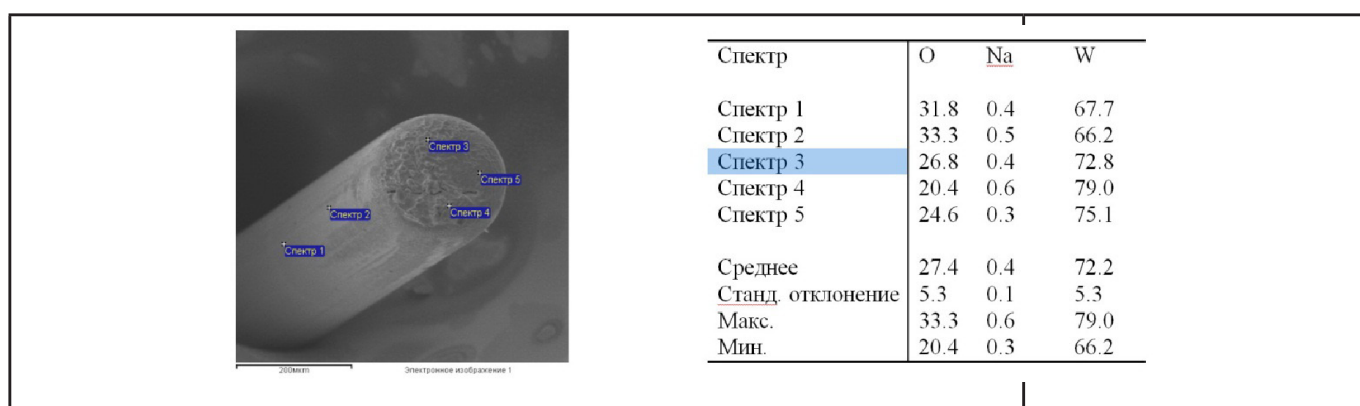


Рисунок 3 – Результаты исследования элементного состава на поверхности вольфрамового электрода после разрушения горячей автомобильной газоразрядной ксеноновой лампы.

Изучен характер поведения активных добавок, которые обычно осаждаются в виде налета на стенке разрядной камеры ксеноновой лампы. Так при разрушении газоразрядной лампы и ее внутренней колбы в «холодном» состоянии, находящаяся в рабочей камере ртуть сохраняет вид мельчайших компактных шариков в составе налета на стенке кварцевой камеры, или в виде отдельных микрочастиц каплевидной формы на поверхности вольфрамовых электродов (рисунок 4). В случае разрушения «горячей» кварцевой капсулы, находящиеся в объеме разрядной камеры пары ртути, как правило, улетучиваются.

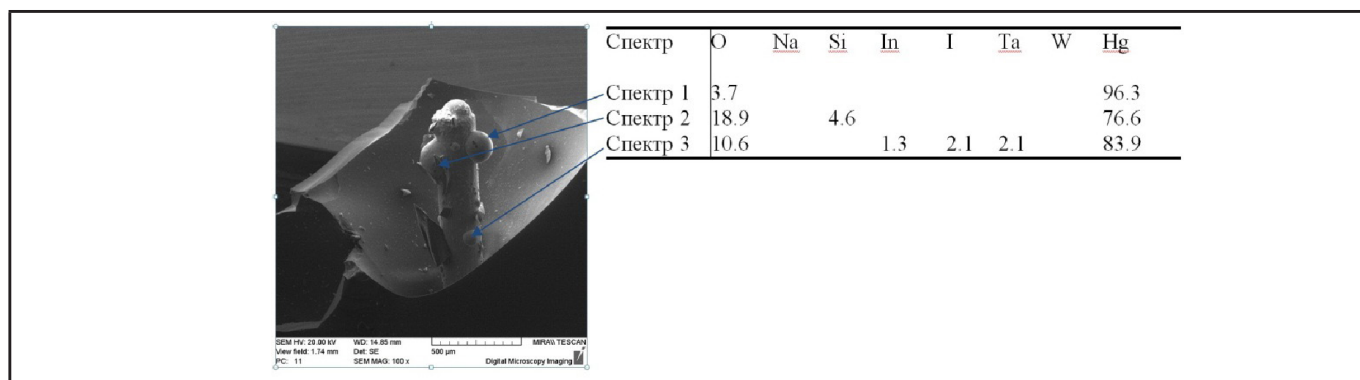


Рисунок 4 – Электронное изображение участка поверхности вольфрамового электрода с частицами ртути в виде компактных шариков.

О режиме, в котором находилась газоразрядная ксеноновая лампа в момент разрушения ее внутренней колбы, можно судить по поведению еще одной активной добавки, содержащей соединения скандия. При температурах 500-800 °С скандий окисляется на воздухе с образованием оксида скандия  $Sc_2O_3$ . Наличие на стенке разрядной камеры окисленных микрочастиц скандия может свидетельствовать о том, что разрушение газоразрядной лампы и разгерметизация внутренней кварцевой колбы происходили во время горения плазменной дуги.

Таким образом, знание элементного состава на рабочей поверхности вольфрамовых электродов, во взаимосвязи с объективно протекающими физико-химическими процессами в рабочем пространстве и на открытой поверхности кварцевой капсулы, позволяет решать вопрос о том, в каком состоянии находилась («горела» или «не горела») автомобильная газоразрядная электролампа в момент ее разрушения.

Анализ известных в настоящее время данных по исследованию отказов светодиодных систем показал, что большая часть этих сведений касается вопроса деградации вольтамперных характеристик светодиодов, чем особенностей выхода его из строя под действием механических напряжений<sup>4,5</sup>. В отличие от четко определенного времени жизни ламп накаливания, у светодиодов нечему перегорать или ломаться. Следует подчеркнуть, что, как и в случае многих твердотельных устройств, выход из строя светодиода процесс постепенный (не принимаются во внимание такие причины выхода из строя диодов, как обрыв контактной проволоочки из-за плохой пайки). Светодиоды характеризуются временем жизни, за которое их яркость снижается в 2 раза от его первоначальной яркости. При условии соблюдения рекомендованных производителем режимов эксплуатации, срок службы светодиодных приборов может достигать порядка 30–50 тысяч часов<sup>6</sup>.

Необходимо отметить, что на современных автомобильных фарах со светодиодными источниками света иногда трудно зафиксировать даже сам факт наличия неисправности в работе внешних световых приборов. В автомобильных светодиодных LED-лампах используются светодиоды, имеющие два кристалла (источника света) в одном светодиоде. Поэтому, если выходит из строя один кристалл, то светодиодная система продолжает светить, только менее ярко. С другой стороны, если наблюдается неисправность, можно указать много вероятных причин ее образования. Это усложняет проблему по реконструкции обстоятельств отказа автомобильных светодиодных источников света.

Рассмотрим те изменения, которые могут происходить в светодиодах во время их работы. В отличие от традиционных источников света, светодиоды не излучают тепло, а проводят его в направлении от р-п перехода к теплоотводящему алюминиевому радиатору. Таким образом, механизм отвода тепла в атмосферу у светодиодов более сложен. Путь отвода тепла образуется множеством тепловых сопротивлений: «р-п переход – печатная плата», «печатная плата – теплоотводящий радиатор», «теплоотводящий радиатор – окружающая среда».

Проанализируем процесс механического ударного воздействия на осветительную полупроводниковую систему, установленную в блок-фаре на автомобиле. Действующая в данном случае нагрузка обладает определенной направленностью, в результате которой элементы конструкции светодиодной лампы в зависимости от их положения относительно направления ударного воздействия, будут подвергаться различной степени нагружения. Проведенные экспериментальные исследования, целью которых было установление особенностей разрушения самих светодиодов, показали, что механическое воздействие на LED-лампу передается элементам ее конструкции через точки контакта в блок-фаре. В случае повреждения рабочей поверхности включенного SMD светодиода возникает потенциальная вероятность нарушения теплоотвода на отдельных его участках. Наблюдается чрезмерный рост температуры чипа. От нагрева он расширяется, при этом на подложке может происходить коробление полупроводниковых кристаллов (рисунок 5).

Причиной отказа светодиода при ударном воздействии может служить повреждение драйвера, который подает стабильное напряжение и ток. Подключенный светодиод потребляет большой ток и

4 Сушков В. Метод контроля потенциальной степени деградации характеристик светодиодов на основе твердых растворов AlGaInN / В.Сушков, С.Никифоров // Полупроводниковая светотехника, 2011. №3. С.10-13.

5 Просс Х. Отказы светодиодов и методы их анализа / Х. Просс // Современная светотехника, 2010. №5. С. 47-49.

6 Срок службы сверхярких светодиодов. Причины отказов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://led22.ru/ledstat/otkazi-svetodiodov.html>. – Дата доступа: 02.06. 2016.

начинает греться. Чем сильнее он греется, тем выше сила потребляемого тока. При этом из-за роста удельного сопротивления в полупроводнике резко возрастает нагрев прибора, что может вызвать оплавление контактов или перегрев печатной платы.

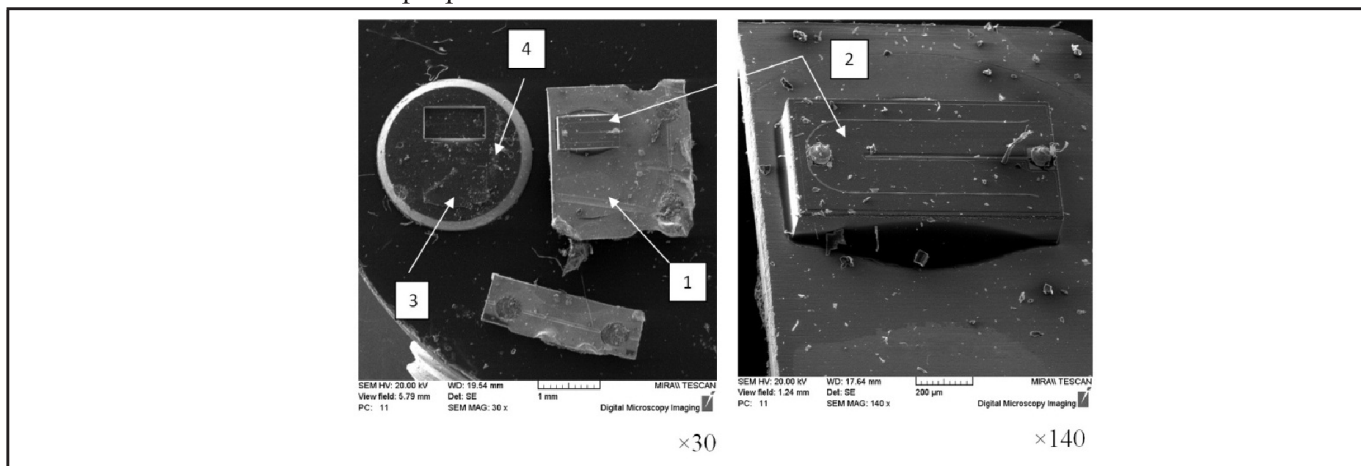


Рисунок 5 – Печатная плата (1) и расположенный на ней кристалл (2) светодиода; второй кристалл (3) светодиода отделился от печатной платы вместе с верхним слоем люминофора (4).

Ясно, что действительные различия в поведении светодиодов в процессе эксплуатации, изготовленных у разных производителей, могут изменяться в широких пределах. Для того чтобы определить, какой из вероятных эффектов играет определяющую роль при решении экспертного вопроса о характере разрушения светодиодного прибора, требуется провести комплексное и всестороннее исследование. При этом необходимо избегать тактической ошибки, заключающейся в установлении только одного или двух признаков, которые укладываются в информационную модель обстоятельств разрушения источника света. В ходе экспертного исследования следует учитывать всю собранную информацию, включая изучение материалов, дающих косвенную информацию об обстоятельствах отказа объекта.

Так на некоторых автомобилях, начиная с 2008 года выпуска, установлен бортовой компьютер, который снабжен функцией опознавать «перегоревшую лампу» и выдавать специальный сигнал, указывающий на характер неисправности автомобиля. Считывая данную информацию, можно расшифровать сигнал об имеющейся неисправности в наружном освещении и косвенно судить о времени, когда этот отказ осветительного устройства возник.