

КЛАССИФИКАЦИЯ АВАРИЙНЫХ ПОЖАРООПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И СХЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ ИХ СЛЕДОВ ПОСЛЕ ПОЖАРА

**И.Д. Чешко, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации;
С.В. Скодтаев;
Т.Д. Теплякова.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлены характерные признаки протекания аварийных пожароопасных режимов работы автомобильной электросети. Предложена дополненная классификация аварийных пожароопасных режимов работы электросетей автомобилей, а также схема экспертного исследования автомобиля после пожара, связанного с аварийной работой электросети.

Ключевые слова: медный проводник, автомобильная электросеть, короткое замыкание, последовательный дуговой пробой, токовая перегрузка, сверхток, локальная токовая перегрузка, судебная пожарно-техническая экспертиза, пожары автомобилей

CLASSIFICATION OF EMERGENCY FIRE-HAZARDOUS OPERATIONS OF ELECTRIC NETWORKS OF CARS AND THE SCHEME OF IDENTIFYING THEIR TRAILS AFTER THE FIRE

I.D. Cheshko; S.V. Skodtaye; T.D. Teplyakova.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In this article introduced some characteristics signs of the occurrence of emergency fire hazardous modes of operation of the car power (electrical) grid. Here is introduced additional classification of emergency fire-hazardous modes of car power grid as well as scheme of experts study after a fire associated with emergency modes of car automotive electrical grid.

Keywords: copper conductor, car power (electrical) grid, short circuit, sequential arc breakdown, power breakdown, overcurrent, local current overload, forensic fire-technical expertise, car fires

В России доля пожаров, произошедших на автотранспорте, составляет около 15 % от общего их количества на территории страны [1]. В судебно-экспертных учреждениях федеральной противопожарной службы МЧС России сгоревшие автомобили являются одним из основных объектов исследования. Перед экспертами ставится задача определения места возникновения пожара (очага пожара) и его причины. Установленная причина пожара является основой для принятия процессуального решения – возбуждения или отказа в возбуждении уголовного дела. Точное определение причины пожара необходимо также для устранения конструктивных, производственных недостатков и повышения надежности транспортных средств.

При исследовании сгоревшего автомобиля практически всегда рассматривается так называемая «электрическая» версия возникновения пожара. Аварийные электрические режимы в электросетях автомобилей являются одной из наиболее распространенных причин пожара [2]. Данным обстоятельством обусловлена потребность в разработке и совершенствовании специальных методик исследования электросетей и электрооборудования после пожара.

Традиционно, в рамках судебной пожарно-технической экспертизы рассматривается возможность возникновения пожара в результате протекания трех аварийных режимов работы электросети: короткого замыкания (КЗ), большого переходного сопротивления и токовой перегрузки.

Анализ практики исследования пожаров современных автомобилей, учет конструктивных особенностей их электросети позволяет эту классификацию аварийных пожароопасных режимов уточнить и расширить, учитывая особенности возникновения данных режимов и формирующихся следов (табл.).

Таблица. Классификация аварийных пожароопасных режимов работы электросетей автомобилей

Аварийный пожароопасный режим	Механизм возникновения
КЗ полное (металлическое)	Непосредственный контакт оголенного проводника (+) с металлическим корпусом автомобиля (-)
КЗ неполное (неметаллическое)	Контакт через субстанцию, ограничивающую рост тока. Утечка тока на корпус через поврежденную, обугленную изоляцию
Токовая перегрузка	Включение излишних потребителей. Протекание по проводнику тока, превышающего номинально допустимый уровень по условиям нагрева
Перегрузка сверхтоком КЗ	Прохождение по проводнику и др. элементам электрической сети автомобиля «сверхтока» при КЗ
Большое переходное сопротивление	«Плохой контакт» (недостаточная площадь контакта) между элементами электросети при переходе электрического тока с одного элемента на другой
Локальная токовая перегрузка	Разогрев проводника в месте локального уменьшения площади сечения жилы электропроводника
Последовательный дуговой пробой	Локальный разогрев в месте протекания электродугового процесса между разорванными фрагментами жилы электропроводника

В ходе исследований аварийных пожароопасных режимов работы выявлены характерные для автомобильной электросети (однопроводочная система электроснабжения, постоянный ток, напряжение 12 (24) В) признаки.

Установлено, что при КЗ, под воздействием электрической дуги, в стальных элементах кузова автомобиля образуются микротрещины, в которые затекает расплавленная медь проводников (рис. 1).

При КЗ проводника на элемент корпуса автомобиля под воздействием электрической дуги возможно также образование сквозных проплавлений (рис. 2). При морфологическом исследовании установлено, что границы проплавлений бывают гладкие, без острых краев. На металле наблюдаются волнообразные наплывы и лунки.

Такого рода повреждения формируются только под воздействием дуги КЗ. При внешнем тепловом воздействии или токовой перегрузке подобные повреждения на элементах кузова автомобиля не зафиксированы.

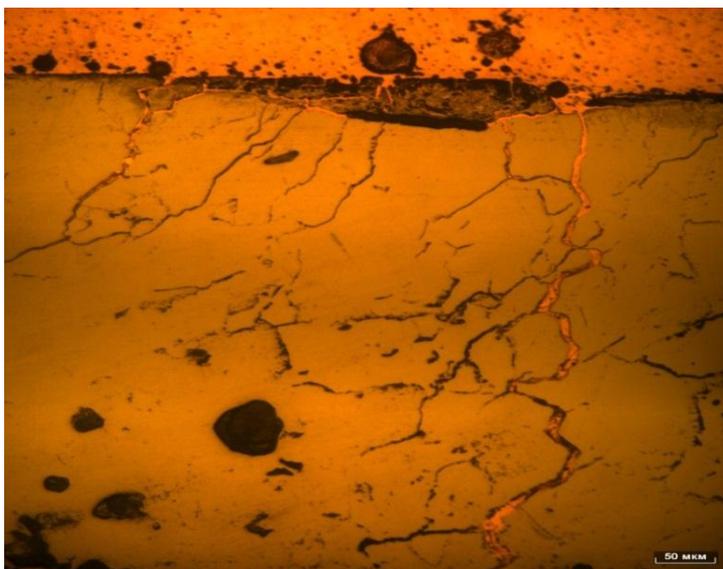


Рис. 1. Микротрещины в стальных деталях автомобиля, возникшие под воздействием дуги КЗ



Рис. 2. Локальное проплавление стального патрубка сапуна двигателя свеклоуборочного комбайна

В предыдущих работах [3, 4] было установлено, что токовая перегрузка медных проводников может привести к появлению на поверхности утолщений, утончений (шеек), вздутий и в конечном счете – разрыву электрического проводника (рис. 3).



а) множественные мелкие вздутия



б) утолщение



в) незавершенная фрагментация



г) утончение (шейка)

Рис. 3. Следы, образующиеся на поверхности медных многопроволочных проводников в результате токовой перегрузки кратностью свыше 3÷4 (сечение проводников – 2,5 мм²)

Специфических признаков больших переходных сопротивлений (БПС), характерных только для автомобильной электросети, в ходе проведенных исследований не выявлено. Они аналогичны приведенным в предыдущих работах [5].

Локальная токовая перегрузка (ЛТП) – аварийный пожароопасный режим работы электросети, возникающий вследствие локального уменьшения площади сечения жилы электропроводника [6].

В специальной технической литературе режим ЛТП не выделяют среди прочих аварийных пожароопасных электрических режимов, отсутствует также анализ его пожарной опасности и методика установления причастности к возникновению пожара.

При ЛТП сила тока для всей цепи не изменяется – это означает, что устройство автоматической защиты (автомат защиты, УЗО, предохранитель), реагирующее на рост тока при КЗ или обычной токовой перегрузке, не отключит электросеть от источника питания. В результате выделение тепла на локальном участке будет происходить неконтролируемо.

Нарушение целостности электропроводника может происходить вследствие механического повреждения части проволок в многопроволочном проводнике. Причиной механического повреждения проводника тока могут стать его многократные перегибы.

Зависимость температуры в зоне механического повреждения проволок от потери площади сечения медного многопроволочного проводника показана на рис. 4.



Рис. 4. Зависимость температуры в зоне механического повреждения проволок от площади потери сечения медного проводника

На графике видно, что при уменьшении сечения многопроволочного проводника вследствие излома части проволок в жиле более чем на 60–70 % начинается резкий рост температуры в месте излома. Этот процесс приводит к карбонизации изоляции и, в конечном счете, к загоранию. Подобные инциденты неоднократно происходили с подогревом автомобильных сидений [6].

Необходимыми условиями для возникновения пожара вследствие ЛТП являются: нахождение электросети под напряжением в момент возникновения пожара; потенциальная возможность циклического механического воздействия на проводник, например, перетирание провода о другую металлическую деталь в автомобиле или перегибов проводника по месту ввода в прибор; наличие в очаговой зоне механически полностью или частично поврежденной электропроводки.

Последовательный дуговой пробой (ПДП) – аварийный пожароопасный режим работы электросети, возникающий вследствие протекания электродугового процесса между разорванными фрагментами жилы электропроводника. ПДП также не выделяют среди прочих аварийных электрических режимов, отсутствует методика установления его причастности к возникновению пожара.

При ПДП локальный разогрев в зоне излома многопроволочного проводника происходит за счет возникновения множества микродуг.

Зафиксированная в ходе экспериментов, температура в зоне возникновения ПДП превышает 350 °С. Установлено, что характерным визуальным признаком протекания ПДП является наличие множественных микрооплавлений на концах проволок, образующихся при электродуговом процессе (рис. 5).



а) проводник, изъятый с места пожара



б) проводник, полученный в ходе моделирования ПДП

Рис. 5. Характерное для ПДП взаимное расположение локальных оплавлений на участке токоведущей жилы

Необходимыми условиями для принятия версии возникновения пожара вследствие ПДП являются: установление факта нахождения электросети под напряжением в момент возникновения пожара; потенциальная возможность повреждения проводника; обнаружение в зоне очага пожара фрагментов электропроводки с множественными микрооплавлениями на концах проволок.

Выявление указанных признаков аварийных электрических процессов в ходе судебной пожарно-технической экспертизы предполагается проводить в соответствии со схемой (рис. 6).



Рис. 6. Схема экспертного исследования автомобиля после пожара, связанного с аварийной работой электросети

После установления очага пожара, исходя из модели автомобиля, конструктивных особенностей, обстоятельств пожара и сформировавшихся термических повреждений, необходимо определиться с кругом рассматриваемых версий возникновения пожара. В качестве дополнительного вспомогательного источника информации при формировании круга версий возникновения пожаров рекомендуется использовать базу данных пожаров автомобилей [7]. Следует провести осмотр и анализ электросети автомобиля, а при возможности, сравнить его с аналогичным транспортным средством с целью установления изменений в электросети поврежденного автомобиля. При обнаружении проводников,

предохранителей или элементов кузова с признаками протекания какого-либо аварийного режима работы в электросети их следует изъять для дальнейшего лабораторного исследования.

Лабораторное исследование объектов, изъятых с места пожара, состоит из четырех этапов, а именно: визуальное исследование, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), металлографическое исследование, исследование методом рентгеновской интроскопии.

1 этап. Визуальное исследование.

На стадии визуального исследования необходимо определить природу оплавления, то есть образовалось ли оно в результате протекания сверхтока или в результате внешнего теплового воздействия.

В случае выявления на элементах корпуса автомобиля, предохранителях, медных проводниках признаков механического повреждения или оплавлений, имеющих явные признаки формирования в результате внешнего теплового воздействия, делается вывод о том, что на данных объектах признаков протекания пожароопасных аварийных режимов работы электросети не обнаружено. Дальнейшее исследование таких проводников инструментальными методами не проводится.

При обнаружении повреждений в виде оплавлений, рассредоточенных по длине проводника и характерных для теплового воздействия сверхтока, дальнейший их анализ может не проводиться. Исследование завершается выводом о выявлении признаков токовой перегрузки на исследуемом фрагменте проводника. При обнаружении на концах электрических проводников оплавлений, характерных для теплового воздействия сверхтока (в том числе электродугового воздействия), необходимо продолжить исследование инструментальными методами – СЭМ и металлографического анализа. При обнаружении на элементах корпуса автомобиля проплавлений или деформаций, характерных для электродугового воздействия, необходимо продолжить исследование методом СЭМ. При обнаружении разрыва плавкой вставки или деформации, изменение цвета металла предохранителя, необходимо продолжить исследование инструментальными методами – СЭМ и рентгеновской интроскопии.

2 этап. СЭМ.

Исследование методом СЭМ применяется для определения природы оплавлений, а также для установления условий формирования оплавлений, вызванных дугой КЗ или токовой перегрузки. Метод СЭМ применяется также для определения вида аварийного режима работы электросети, приведшего к разрыву плавкой вставки предохранителя (КЗ или токовая перегрузка).

3 этап. Металлографический анализ.

В рамках металлографического исследования решаются следующие экспертные задачи:

– определение причины, вызвавшей оплавление токоведущей жилы (аварийный режим работы электросети, внешнее тепловое воздействие или растворение меди при контакте с легкоплавким металлом);

– определение причины проплавления и деформации элемента корпуса автомобиля (аварийный режим работы электросети или внешнее тепловое воздействие);

– определение вида аварийного режима работы электросети, приведшего к образованию оплавления токоведущей жилы (КЗ или токовая перегрузка).

Металлографическому исследованию подвергаются все оплавления, образовавшееся по визуальным (морфологическим) признакам в результате теплового воздействия сверхтока, а также оплавления, природу которых, по каким-либо причинам, затруднительно определить на стадии визуального и морфологического исследования.

При выявлении признаков протекания КЗ необходимо определить условия, при которых сформировалось данное оплавление.

Если оплавление имеет признаки протекания токовой перегрузки или невозможно уточнить вид аварийного режима работы электросети, приведшего к образованию оплавления, определение условий, при которых оно сформировалось, не производится. По окончании исследований делается вывод об обнаружении признаков воздействия на проводник сверхтока и образовании оплавления в результате этого процесса без уточнения условий его протекания.

При отсутствии признаков протекания сверхтока следует сделать вывод о том, что следов протекания аварийных пожароопасных режимов работы электросети (КЗ и токовая перегрузка) на представленных объектах не обнаружено. В случае выявления аварийного режима работы электросети формируется вывод о причастности данного процесса к источнику зажигания. При этом необходимо учитывать возможность возникновения установленного аварийного режима в месте обнаружения объектов исследования (табл.).

Апробация предлагаемой схемы исследования автомобиля после пожара, связанного с аварийной работой электросети, показала ее работоспособность.

В качестве примера можно привести пожар, произошедший в автомобиле Фиат Дукато, который был оставлен владельцем на ночь на стоянке. После ряда проведенных экспертиз одна из заинтересованных сторон (страховщик) утверждала, что на момент возникновения горения автомобиль был обесточен (была снята минусовая клемма с аккумуляторной батареи), а термические повреждения электрических проводников – следствие воздействия тепла пожара. Экспертиза по данному пожару была назначена в Исследовательский центр экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. В рамках данной экспертизы были представлены изъятые из очаговой зоны сгоревшего автомобиля фрагменты медных проводников, являвшихся частью его бортовой электросети. В ходе визуального исследования проводников на их поверхности были обнаружены шарообразные частицы меди – так называемого вздутия (рис. 7), которые, как было описано выше, являются следами воздействия на проводник токовой перегрузки.

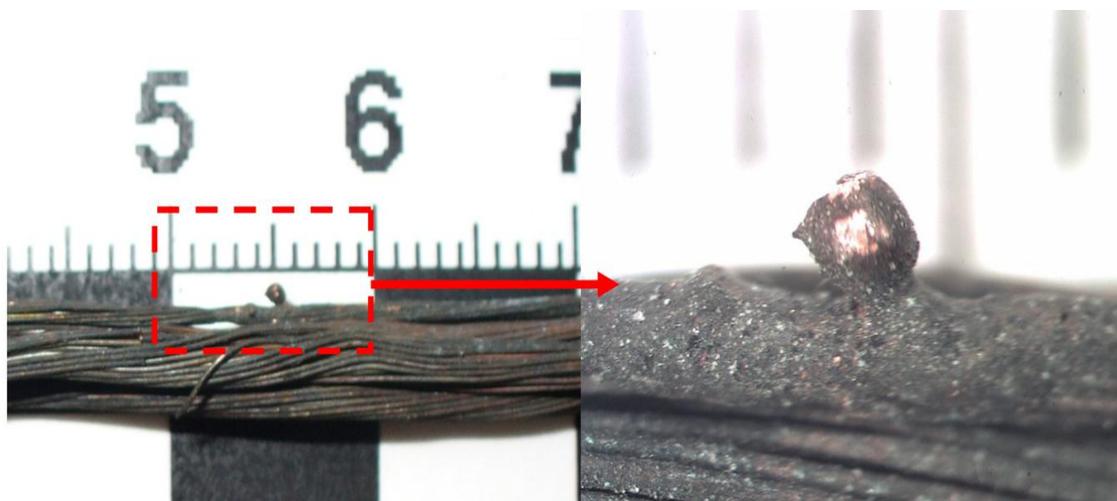


Рис. 7. Шаровидное образование (вздутие) на поверхности медного проводника, свидетельствующее о протекании по проводнику сверхтока

Металлографический анализ оплавленных участков проводника показал наличие поверхностных и межпроволочных оплавлений, также являющихся следствием протекания по медному проводнику токовой перегрузки (рис. 8).

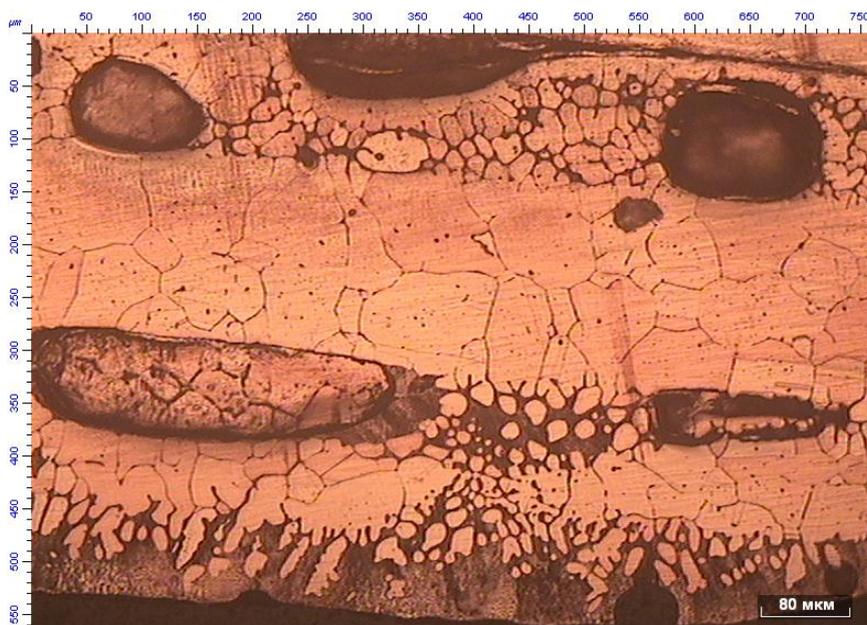


Рис. 8. Поверхностные и межпроводочные оплавления, являющиеся следствием протекания по медному проводнику сверхтоков

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что электросеть автомобиля на момент пожара находилась под напряжением. Эта криминалистически значимая информация позволила сделать более объективным и обоснованным вывод о причине пожара.

Аварийные электрические пожароопасные режимы, возникающие в автомобилях, более сложны и разнообразны, чем часто представляют в своих заключениях пожарно-технические эксперты. Приводимые в статье данные убеждают в возможности более глубокой дифференциации таких аварийных режимов путем морфологических исследований их следов, не всегда обоснованно принимаемых исключительно за следы КЗ.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году. Статистический сборник. ВНИИПО.
2. Скодтаев С.В., Копкин Е.В., Бардулин Е.Н. Анализ практики исследования пожаров автомобилей судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 2 (42). С. 117–124.
3. Мокряк А.Ю., Чешко И.Д. Морфологический анализ медных проводников, подвергшихся воздействию токовой перегрузки, при экспертизе пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 4 (32). С. 41–49.
4. Чешко И.Д., Мокряк А.Ю., Скодтаев С.В. Механизм формирования следов протекания сверхтоков по медному проводнику // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 1. С. 41–46.
5. Чешко И.Д., Лебедев К.Б., Мокряк А.Ю. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений: метод. рекомендации. М.: ВНИИПО, 2008. 60 с.
6. Скодтаев С.В., Елисеев Ю.Н., Мокряк А.Ю. Возникновение пожароопасного аварийного режима в электросети при механическом повреждении проводника тока // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 1 (41). С. 65–72.
7. Скодтаев С.В., Чешко И.Д. Формирование электронной базы данных экспертных исследований пожаров автомобилей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 2. С. 61–65.