

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПЛАВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ ТОКА В ЭКСПЕРТИЗЕ ПОЖАРОВ

И.Д. Чешко, доктор технических наук, профессор;

А.Ю. Мокряк.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены возможные алгоритмы использования результатов инструментальных исследований медных проводников с оплавлениями при проведении пожарно-технических экспертиз, установлении причины пожара и места его возникновения.

Ключевые слова: токовая перегрузка, сверхток, рентгенофазовый анализ, дифрактограмма, оплавление, медный проводник, короткое замыкание

Пожароопасные аварийные режимы в электрооборудовании достаточно часто объявляют причиной пожара. Иногда обоснованно, иногда под влиянием сложившихся в обществе обывательских представлений о возможных причинах пожаров.

Объективно решить вопрос о причине пожара может помочь только наличие в руках эксперта реальной криминалистически значимой информации о произошедшем, носителем которой могут быть представленные на исследование материальные объекты. В данном случае это разнообразное электрооборудование, аппараты защиты электросетей, провода, кабели и т.д. Из перечисленного электрооборудования чаще всего изымаются с места пожара электрические провода с оплавлениями.

Инструментальные методики установления природы таких оплавлений и возможной причастности электродуговых процессов к возникновению пожара берут своё начало с работ А. Schontag, W. Hagemuer, BV. Ettlting [1].

В России основные методические принципы установления причастности электротехнических изделий к возникновению пожара сформулировал профессор Г.И. Смелков. Анализируя пути решения этой задачи, реализованные в методиках по исследованию электропроводок, нагревательных приборов, светотехнических изделий, автор пришел к выводу, что все они базируются на двух основных принципах: установлении *газового состава* окружающей среды в зоне аварийного режима и определении *температуры* нагрева в момент возникновения аварийного режима [2–4].

Проведенные в дальнейшем исследования показали, что не в меньшей мере проявляется влияние фактора *длительности* протекания аварийного процесса, то есть, по сути, времени, в течение которого металл находился в расплавленном состоянии.

Исследуя состав и структуру металлического объекта, изъятая с места пожара, различными инструментальными методами, эксперт получает информацию, прямо или косвенно свидетельствующую об условиях, в которых побывал объект на пожаре, в частности, в критические моменты образования электрической дуги (о составе газовой атмосферы, температуре нагрева и др.). Далее, исходя из этих данных и учитывая прочую информацию по пожару, пожарно-технический эксперт формулирует вывод:

– о наличии признаков аварийного режима работы исследуемого электротехнического объекта;

– о причастности аварийного режима к возникновению пожара или о его вторичности (то есть возникновении в результате пожара).

С учетом вновь разработанных методик и усовершенствования старых, этот перечень основных принципов можно уточнить и расширить. При исследовании объектов электротехнического назначения по косвенным признакам (структура металла, физико-химические его свойства и т.д.) устанавливается не только температура нагрева, но и оценивается *скорость (динамика)* нагрева или охлаждения металла, а также *распределение температурных зон* по изделию. Устанавливается также наличие *следов массопереноса металла* (например, следы разбрызгивания, наплавы и т.п.), что в ряде случаев прямо свидетельствует об аварийном режиме работы электроустановки [5].

Указанные принципы в настоящее время реализованы в работах Исследовательского центра экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России [5].

В данной статье приведены рекомендации пожарно-техническому эксперту по использованию полученной информации в типичных ситуациях, в зависимости от результата инструментальных исследований самого распространенного электротехнического объекта исследования – *медного проводника с оплавлением*.

Ситуация 1: Обнаружены признаки разрушения проводника в результате первичного короткого замыкания ПКЗ.

Наличие проводника с оплавлением, имеющим признаки ПКЗ – существенный аргумент в пользу версии о причастности КЗ к возникновению пожара.

Однако необходимо понимать, что «первичность» КЗ, установленная с помощью инструментальных методов, не должна однозначно ассоциироваться с наличием прямой причинно-следственной связи КЗ с возникновением пожара. Связь эту можно достоверно установить лишь на основе комплексного исследования электрических и тепловых процессов, имевших место на пожаре. Задача же инструментальных методов – установление лишь одного, но безусловно важного, признака из комплекса признаков [5, 6].

Условия, в которых может оказаться проводник на стадиях возникновения и развития пожара, чрезвычайно разнообразны. Аварийный режим в электросети может приобретать сложные формы развития, в результате чего формирование и сохранение четких дифференцирующих признаков ПКЗ и ВКЗ окажется весьма проблематичным. Наконец, оплавление проводов может явиться следствием поджога с инсценировкой аварийного режима в электросети или вообще не иметь отношения к данному пожару, а произойти ранее [5, 7].

При отработке версии о причастности к возникновению пожара аварийного режима, оставившего след с признаками ПКЗ, по возможности, необходимо дополнительно определить следующее:

1. Принадлежность провода с оплавлением к определенной электрической цепи.

Кроме того, следует определить зону прохождения проводов, состояние выключателей, рубильников и др.

2. Состояние аппаратов защиты электрической цепи.

В случае, если цепь, где произошло КЗ, защищают автоматические выключатели, их надо исследовать на предмет:

– состояния расцепителя (включен, выключен, отключен автоматически);

– состояния контактов (при прохождении сверхтока КЗ могут проявляться признаки БПС через зону контакта),

– проверки работоспособности автомата (если он не поврежден пожаром) на специальном стенде и его соответствия техническим характеристикам [6].

Плавкие предохранители проверяются на предмет их целостности. В случае разрушения изучается морфологическая картина разрыва, что позволяет уточнить вид аварийного режима, имевшего место в электрической цепи (КЗ, токовая перегрузка). Соответствующие признаки этих процессов приведены в литературе [6, 8].

Наличие некалиброванных плавких вставок (например, «жучков») может рассматриваться (и отмечаться в экспертном заключении) как фактор, повышающий вероятность возникновения пожара по рассматриваемой причине.

3. Взаимное расположение места нахождения (на момент пожара) проводника с оплавлением и очага пожара.

Как известно, основными пожароопасными факторами при данном аварийном режиме являются:

– электрическая дуга, не только оплавливающая металл проводника, но и способная зажечь находящиеся в пределах её теплового воздействия горючие материалы;

– разлетающиеся в стороны искры (частицы) расплавленного металла.

В первом случае очаг пожара должен совпадать с местом возникновения электрической дуги (расположением оплавленного проводника), во втором – находиться в пределах возможного разлёта искр (капель) расплавленного металла.

1) Определение зоны разлёта расплавленных частиц металла при КЗ и возможности загорания

Зона разлета расплавленных частиц металла при КЗ может быть определена в соответствии с методическими рекомендациями [1, 3, 9]. В них приводятся количественные данные, характеризующие частицы металла, образующиеся при КЗ (размер частиц, скорость разлёта, время горения, зона (радиус) разлёта, вероятность попадания горящих частиц металла на горючий материал). Эти данные используются в качестве исходных при расчете возможных расстояний, на которые может происходить разлёт частиц, и их зажигательной способности.

При необходимости дополнительного обоснования рассматриваемой версии может быть произведен расчёт возможности загорания материалов при попадании на них капель металла, образующихся, в частности, при КЗ. Соответствующий алгоритм приводится в ГОСТ 12.1.004-95.

2) Изучение электрических схем. Расчет токов КЗ и возможности загорания изоляции раньше срабатывания аппаратов защиты электросети.

При необходимости может быть проведен расчёт величины тока КЗ в электропроводах напряжением до 1000 В [6], а также расчет возможного загорания изоляции проводников при перегрузке, вызванной КЗ. Для этого необходимо по имеющимся в распоряжении эксперта данным «реконструировать» электросеть, в которой произошло КЗ, включая характеристики электропотребителей, длину и марки проводов, время-токовые характеристики аппаратов защиты электросети. Расчет проводится для того, чтобы решить, что произойдёт раньше – загорится изоляция электропроводов или аппарат защиты отключит поврежденный участок электрической цепи? Алгоритм данного расчёта приводится в [6]. Необходимо отметить, что проведение подобных расчетов затрудняет неопределенность исходных данных и они, как правило, носят ориентировочный характер.

Расчет температуры нагрева проводника при прохождении тока КЗ может быть проведен и в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 [10]. Расчет также сугубо ориентировочный – он не учитывает ряд существенных факторов – теплопотери в окружающую среду, изменение электросопротивления проводника при нагревании и др. Предельно допустимые значения температуры нагрева проводников при КЗ приводятся в [1].

4. При анализе версии учитываются косвенные признаки КЗ, возникающие до пожара (броски тока, колебания напряжения, неустойчивая работа электропотребителей и др.)

Вопрос о причастности КЗ исследованного проводника к возникновению пожара решается экспертом по совокупности перечисленных данных, а также прочих материалов по пожару.

При отсутствии возможности провести указанную аналитическую работу, наличие одних только физических признаков ПКЗ, установленных инструментальными методами, является основанием для формулирования *вероятностного вывода* о причине пожара. Он может быть подкреплён анализом и отводом других версий.

Ситуация 2: Обнаружены признаки разрушения проводника в результате вторичного КЗ.

В этом случае пожарно-технический эксперт может лишь констатировать, что участок электросети, к которому принадлежит проводник, в момент пожара находился *под напряжением*. Эта информация уже является криминалистически значимой, поскольку даёт дополнительные основания для анализа экспертом «электротехнической» версии причины пожара.

Ситуация 3: Разрушение имеет признаки электродугового процесса, но установить его характер с помощью примененных инструментальных методов не представляется возможным.

Подобные выводы могут быть сформулированы, в частности, по данным рентгенофазового анализа, когда результаты расчётов попадают в «зону неопределенности».

Как и в предыдущем случае, эксперт может констатировать, что электросеть (или электротехническое устройство, если провод принадлежит ему) находилась во время пожара «под напряжением» и потому анализируемая «электротехническая» причина *возможна*.

Ситуация 4: Проводник разрушен в результате токовой перегрузки.

Первый (безусловно, очевидный) вывод – провод находился под напряжением. Более глубокий анализ даёт возможность результаты конкретизировать. Как уже отмечалось, токовая перегрузка электрического проводника может быть следствием двух причин:

– включения такого количества потребителей, на которые данная электросеть не рассчитана;

– прохождения сверхтока при КЗ (тока КЗ).

1) Перегрузка по току вследствие подключения избыточных потребителей.

Для установления факта такой перегрузки необходимо:

– по имеющимся материалам выяснить, какие электрические приборы и какой мощности могли быть включены в аварийную сеть, рассчитать их общую потребляемую мощность;

– рассчитать рабочий ток в сети;

– исходя из марки и сечения провода, определить, в соответствии с ПУЭ, допустимую токовую нагрузку на подобный тип провода (кабеля).

– рассчитать кратность перегрузки – отношение величины рабочего тока к допустимой длительной токовой нагрузке.

При кратности сверхтока более 3÷4 загорание изоляции провода можно считать возможным (если обеспечивается достаточная продолжительность перегрева жилы, вероятность загорания близка к 1).

Изоляция провода загорается при перегрузке не мгновенно – она должна прогреться, должен пойти процесс термоокислительной деструкции и развиваться до стадии возникновения пламенного горения. Для некоторых марок проводов определены время-токовые характеристики – зависимости времени загорания провода от кратности сверхтока при перегрузке. Они приведены в работах [4, 6].

Чтобы убедиться, что загорание изоляции могло произойти раньше, чем сработал соответствующий аппарат защиты, расчетное время загорания сравнивают со временем срабатывания аппарата защиты.

Если перегрузка рассмотренного типа и необходимой для загорания изоляции кабеля кратности тока исключается, или расчеты не подтверждают необходимую для загорания длительность аварийного режима, то остается предположить, что перегрузка была вызвана сверхтоком КЗ и анализировать данную версию.

2) Перегрузка по току вследствие КЗ

Было указано, как при необходимости рассчитывается ток КЗ, кратность перегрузки и определяется возможность загорания изоляции провода.

Подобные расчеты целесообразно проводить в сложных и спорных случаях.

В рядовых ситуациях кратность сверхтока более 3÷4, может рассматриваться и без дополнительных расчетов, как потенциально способная привести к загоранию.

Оплавление (расплавление) жилы провода под действием сверхтока КЗ, выявленное по приведенным выше методикам, свидетельствует не только о факте возникновения КЗ, но и том, что *защита электрической сети не предотвратила разогрев жилы провода до температуры, значительно превышающей критическую* (температура плавления меди – 1083 °С, при этом предельно допустимая температура нагрева провода при КЗ – 150 °С, а температура самовоспламенения ПВХ-изоляции – 460–520 °С). В этих условиях вероятность причастности электрического аварийного режима (как КЗ, так и перегрузки в результате КЗ) к возникновению пожара очень высока, и при экспертном анализе соответствующая версия может рассматриваться как наиболее предпочтительная.

Ситуация 5. Обнаружены признаки разрушения провода в результате внешнего теплового воздействия.

Исходя из таких результатов инструментальных исследований проводника с оплавлениями, можно констатировать, что в данном случае признаки протекания пожароопасных аварийных режимов, как, впрочем, и признаки нахождения электрооборудования под напряжением, не обнаружены.

Однако это не исключает версию о причастности электрического аварийного режима к возникновению пожара вообще. Подобные признаки могли не сформироваться или нивелироваться (исчезнуть) в ходе развития пожара.

Ситуация 6. Признаки ПКЗ и перегрузки обнаружены на нескольких изъятых с места пожара проводниках.

В данной ситуации нет ничего противоестественного. Прохождение сверхтока по электрической цепи при перегрузке высокой кратности (более 3–4) может приводить к разрыву и оплавлению проводника (проводников) в нескольких местах. Аварийный режим в электросети может на начальной стадии своего развития приводить к формированию и нескольких дуговых оплавлений с признаками ПКЗ. В этом случае причастным к возникновению пожара следует считать проводник, находящийся на момент пожара в очаговой зоне.

При электрических аварийных режимах могут иметь место и несколько очагов пожара. Поэтому при выявлении таких предполагаемых очагов необходимо проработать вопрос о наличии (или отсутствии) «электрической связи» между очагами.

В рамках экспертного исследования целесообразно также разъяснить *возможную взаимосвязь условий эксплуатации электрооборудования и вероятности возникновения выявленных аварийных режимов*. Соответствующие данные приведены в работе [7]. Указывается, в частности, что наибольшую опасность для изоляции представляют циклические изменения температуры, действие агрессивных сред, свойственное некоторым промышленным и сельскохозяйственным объектам, а также одновременное воздействие влаги и электрического поля. Старению и разрушению изоляции проводов и кабелей приводят даже небольшие, но длительные и систематические перегрузки по току [7].

Использование полученных данных при поисках очага пожара

Стратификация (распределение в пространстве) электрических проводников, на которых выявлены следы КЗ и перегрузки, может быть использована в качестве одного из вспомогательных методов определения очага пожара [10].

Известно, что если в электросети на пожаре обнаружено несколько мест с признаками воздействия на провода электрической дуги и перегрузки, то первичным, как правило, оказывается КЗ, наиболее удаленное (по электрической цепи) от источника питания. Это обстоятельство предлагалось использовать при поисках очага пожара. Для реализации поставленной задачи места выявленных аварийных режимов наносят на схему электрической сети, совмещенной с планом объекта пожара. Очаг пожара предполагают в точке, наиболее удаленной от источника питания (электрического щита в доме, аккумулятора в автомобиле и т.д.) [11, 12]. В работе [12] отмечается даже, что это, по мнению авторов, основной путь

установления очага пожара в транспортных средствах и промышленном электрифицированном оборудовании.

Анализ рассмотренных в статье «типичных» ситуации в соответствии с предложенными алгоритмами, естественно, усложняет работу эксперта. Для их полной реализации может не хватать исходных данных об электрических сетях, нагрузки на них и др. И эксперт может искренне полагать, что его функция ограничивается исследованием вещественного доказательства и выявлением признаков ПКЗ-ВКЗ. К сожалению, часто оказывается, что он только «в начале пути» и получение достоверных выводов сопряжено с серьезной дополнительной работой.

Литература

1. Hagemuer W. Die metallographische Untersuchung von Kupferleitern als Method zur Unterscheidung zwischen primären und sekundären Kurzschlüssen // Schriftenreihe der Deutsch Volkspolizei. 1963. № 7–12. P. 1160–1170.
2. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. 328 с.
3. Смелков Г.И., Александров А.А., Пехотиков В.А. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах. М.: Стройиздат, 1980. 59 с.
4. Смелков Г.И. Научные основы и инженерные методы анализа надежности электропроводок промышленных предприятий при защите объектов от пожаров: дис. ... д-ра техн. наук. М. МЭИ, 1983.
5. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). СПб.: СПб ИПБ МВД России, 1997. 560 с.
6. Маковкин А.В., Кабанов В.И., Струков В.М. Проведение экспертных исследований по установлению причинно-следственных связей аварийных процессов в электросети с возникновением пожара: учеб. пособие. М.: ВНИИ МВД СССР, 1988. 98 с.
7. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. В 2-х кн. СПб.: ООО «Типография «Береста», 2010. Кн. 1. 708 с.
8. Маковкин А.В., Кабанов В.И. Изучение состояния электрооборудования при осмотре места пожара: учеб. пособие. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1988. 48 с.
9. Забиров А.С. Пожарная опасность коротких замыканий. М.: Стройиздат, 1980. 137 с.
10. ГОСТ Р 52736-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания.
11. Осмотр места пожара: метод. пособие. / И.Д. Чешко [и др.]. М.: ВНИИПО, 2004. 503 с.
12. Delplace M., Vos E. Electric Short Circuits Help the Investigator Determine Where the Fire Started // Fire Technology. 1983. V. 19. № 3. P. 185–191.

