

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДАХ

Г.И. Смелков, доктор технических наук, профессор.

**Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной
обороны МЧС России.**

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

В.Г. Плотников.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены основные проблемы методики экспертного исследования оплавлений медных проводников после пожара. Описана конструкция и технические возможности экспериментального электротехнического стенда для моделирования пожароопасных аварийных режимов работы электросети.

Ключевые слова: электротехнический стенд, аварийные электрические режимы, судебная пожарно-техническая экспертиза, первичное короткое замыкание, вторичное короткое замыкание, токовая перегрузка, медный проводник

EXPERIMENTAL MODELING OF FIRE-ALARM EMERGENCY MODES IN ELECTRICAL WIRES

G.I. Smelkov. All-Russian Research institute of fire prevention of EMERCOM of Russia.

I.D. Czeshko; V.G. Plotnikov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The main problems of the technique of expert investigation of the melting of copper conductors after a fire are considered. The design and technical capabilities of the experimental electrotechnical stand for simulation of fire hazard emergency operation modes of the electric network are described.

Keywords: electrotechnical stand, emergency electrical regimes, forensic fire and technical expertise, primary short circuit, secondary short circuit, current overload, copper conductor

При экспертном исследовании пожаров ключевой является задача установления причины его возникновения. Решается эта задача путем выдвижения и анализа отдельных экспертных версий, среди которых – так называемая «электрическая версия» – версия о причастности к возникновению пожара аварийных пожароопасных режимов в электросетях, электроприборах и электрооборудовании. Она отрабатывается практически на каждом электрифицированном объекте. Для этого на месте пожара изымаются и в дальнейшем исследуются следы протекания процессов: короткого замыкания (КЗ), перегрузки, больших переходных сопротивлений и др.

Как известно, КЗ может быть «первичным», то есть произойти до пожара и, возможно, быть его причиной, и «вторичным», то есть произошедшим в ходе пожара.

Дифференциация «первичности-вторичности» КЗ относится к числу наиболее востребованных инструментальных методик судебной пожарно-технической экспертизы.

Первые публикации, указывающие на возможность решения задачи установления момента КЗ, были предложены А. Шонтагом и В. Хагемайером и появились в 50-х гг. прошлого века [1, 2].

В СССР первая отечественная методика дифференциации первичного и вторичного КЗ была разработана в 70-х гг. прошлого столетия во Всероссийском научно-исследовательском институте противопожарной обороны (ВНИИПО). По сути, была

разработана не просто частная методика, а сформулированы научные основы (методология) решения вопроса о причастности к возникновению пожара аварийных режимов в электрооборудовании [3–5].

В 80-х гг. на её основе во ВНИИ МВД экспертно-криминалистическом центре (ЭКЦ) МВД была разработана новая методика [6–9], которая до сих пор в основном и используется в экспертно-криминалистических подразделениях МВД и судебно-экспертных учреждениях федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России.

За прошедшие годы, однако, существенно изменилась номенклатура кабельных изделий, а также аналитические возможности экспертной техники.

В то же время многолетнее практическое использование методики, естественно, привело к накоплению у экспертов вопросов. В частности, это касалось трактовки и использования полученных с помощью методики результатов. Так, в отдельных случаях возникали ситуации, когда:

- результаты инструментальных исследований не согласовывались с прочими известными данными по пожару;
- на месте пожара в разных зонах обнаруживались оплавления с признаками «первичного» КЗ (ПКЗ);
- дифференцирующие признаки ПКЗ – «вторичного» КЗ (ВКЗ), выявляемые методом металлографии, противоречили друг другу;
- дифференцирующие признаки ПКЗ–ВКЗ, выявляемые методами рентгеноструктурного анализа и металлографии, противоречили друг другу;
- оплавления, характерные по визуальным признакам для теплового воздействия пожара, имели признаки ПКЗ;
- возникали сложности в трактовке природы оплавлений при комплексном воздействии на проводник аварийных режимов (больших переходных сопротивлений, КЗ, перегрузки, отжига в ходе пожара).

Разработчики методик неоднократно акцентировали внимание на том, что аварийные процессы, протекающие на пожаре, чрезвычайно сложны, многофакторны и окончательные выводы о природе оплавлений можно делать только по результатам анализа всего комплекса сведений по пожару, в том числе, его электрической сети.

Тем не менее очевидной стала необходимость доработки методики на базе современных возможностей науки и техники. В настоящее время постановка такой задачи, безусловно, актуальна и своевременна.

Для ее решения необходимы два основных компонента:

- экспериментальная установка, позволяющая моделировать электрические аварийные процессы с максимальной степенью приближения к реальным пожароопасным ситуациям;
- современная приборная база, позволяющая исследовать материальные следы протекания этих аварийных процессов.

Со времени разработки предыдущих редакций методик аналитические возможности инструментальных методов анализа существенно изменились.

Рентгенофазовый анализ

В настоящее время появилась возможность полностью уйти от фотометода (съёмке рентгенограмм по методу Дебая-Шерера) к более простой, экспрессной рентгеновской дифрактометрии. Соответствующая техника (мини-дифрактометры) имеются в судебно-экспертных учреждениях ФПС МЧС и ЭКЦ МВД.

Рентгеновская интроскопия

Современное оборудование для рентгеновской интроскопии позволяет исследовать «на просвет» неразборное или не подлежащее разборке электрооборудование. Делается это как в лаборатории, так и непосредственно на месте пожара. Появилась возможность исследования неразрушающим методом обугленных и сплавленных агломератов, в которые превращаются на пожаре полимерные материалы и изделия, исследовать «внутренности»

электропроводки в трубах и гофроруковах, автоматические выключатели и т.д.

Металлографический анализ

Развитие металлографического анализа связано с появлением нового оборудования и материалов для пробоподготовки, а также компьютерных программ, позволяющих получать панорамные снимки микроструктур и создавать фотографии образцов с неплоской поверхностью. Это особенно важно при анализе всей площади микрошлифа оплавленных проводников.

Электронная микроскопия в сочетании с элементным анализом

Электронная микроскопия позволяет проводить морфологические исследования поверхности оплавленных проводников и других объектов, выявлять следы микродуг, эрозивных зон при увеличении до 20 000^x. Дополнительные аналитические возможности электронной микроскопии обеспечивает энергодисперсионный анализ элементного состава образца, который можно проводить на выбранных микроучастках поверхности, строить карты распределения химических элементов. В частности, это позволяет выявлять следы массопереноса, происходящего при КЗ, БПС.

Есть основания предполагать, что проблемы методики исследования оплавленных электрических проводников тока в значительной степени обусловлены недостатками технологии моделирования аварийных процессов на стадии разработки методики.

Известно, что эксперименты, выполненные Шонтагом и Хагемайером, проводились на тонких проводниках диаметром около 1 мм, без изоляции. Пережигание проводников осуществлялось небольшим током, поэтому длительность КЗ составляла несколько секунд. В реальных условиях процессы более скоротечны – срабатывает автоматическая защита электросети.

В ЭКЦ МВД разработка своего варианта методики также базировалась на моделировании полного (металлического) КЗ, то есть замыкании между собой оголенных проводников, что не в полной мере отражает наиболее распространенные реальные ситуации. Система энергоснабжения не позволяла обеспечить переменные токи КЗ до 500–600 А, необходимые для моделирования КЗ в обычных электросетях 220 В переменного тока.

Во ВНИИПО экспериментальная установка в основном имела необходимые рабочие параметры, однако возможности экспертного исследования оплавлений были (с современных позиций) достаточно скромные.

В настоящее время для создания усовершенствованной методики установления природы оплавлений электрических проводников тока специалистами Исследовательского центра экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России при консультативной помощи специалистов ВНИИПО МЧС России разработана и смонтирована экспериментальная установка (электротехнический стенд), обеспечивающая моделирование КЗ, сверхтоков и комбинацию этих режимов (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид электротехнического стенда

Принципиальная схема установки экспериментального электротехнического стенда приведена на рис. 2.

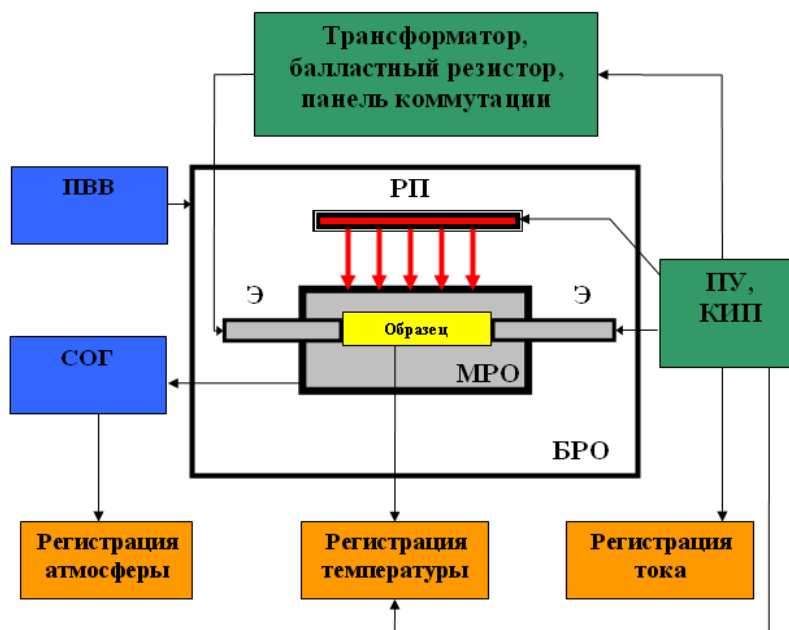


Рис. 2. Принципиальная схема электротехнического стенда
 ПВВ – приточно-вытяжная вентиляция; Э – электроды с зажимными контактами;
 МРО – малый рабочий объём; БРО – большой рабочий объём; ПУ – панель управления;
 КИП – контрольно-измерительные приборы; СОГ – система отбора газов

Конструкция представляет собой переоборудованную климатическую камеру с внутренним объемом 400 л (рис. 3).

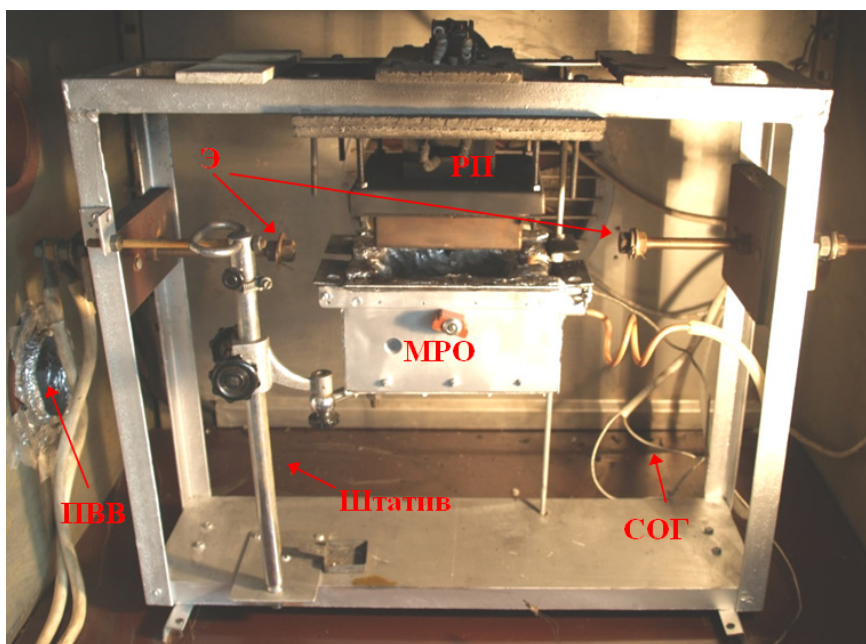


Рис. 3. Внутреннее содержание переоборудованной климатической камеры:
 РП – радиационная панель

Внутри камеры установлен вентилятор для перемешивания газообразных продуктов горения различных материалов при моделировании условий пожара.

Камера имеет две дверцы – внешнюю стальную и внутреннюю, выполненную из термостойкого стекла, что позволяет проводить визуальное наблюдение и фотофиксацию экспериментальных процессов. Внутри камеры заведены кабели от силового блока для подачи напряжения и тока на рабочие электроды испытательных модулей, термопары контроля температуры и пробоотборник газоанализатора.

Для регулирования состава газовой среды и удаления продуктов горения изоляции проводников и других горючих материалов, используемых для моделирования условий пожара, используется вытяжной вентилятор, установленный вне камеры, на крыше здания. Конструктивно совместно с испытательной камерой выполнен пульт управления стендом.

С помощью универсальных токовых клещей осуществляется контроль значения тока в испытательной цепи с выводом сигнала измерения на цифровые вольтметры переменного и постоянного тока в зависимости от используемого режима работы стенда с возможностью обмена информацией с компьютером.

Измерение температуры на поверхности радиационной панели и на поверхности образца осуществляется с помощью термопар, подключенных к двухканальному измерителю. Температура на образце, создаваемая радиационной панелью мощностью 1,8 кВт, может регулироваться в диапазоне от 20 до 750 °С как в автоматическом режиме с помощью микропроцессорного терморегулятора, так и вручную с помощью тиристорного регулятора мощности с контролем напряжения на ней цифровым вольтметром. Кроме того, внутри камеры установлено подъемное устройство (штатив) с горизонтальным столиком из термостойкого материала для регулировки теплового воздействия радиационной панели на образец.

В средней зоне испытательного модуля через изоляционные вкладыши установлены рабочие электроды, к которым подключаются кабели от силового блока для подачи испытательного напряжения и тока на испытуемые образцы.

Для моделирования КЗ установлен нагрузочный резистор сопротивлением 0,4 Ом. Величина сопротивления резистора выбрана, исходя из данных, приведенных в работе [10]. Выводы нагрузочного резистора соединены с дополнительными рабочими электродами, расположенными в нижней части камеры. Установка режима КЗ или перегрузки осуществляется соответствующим соединением основных и дополнительных рабочих электродов.

Определение газового состава атмосферы рабочей камеры в ходе выполнения экспериментов осуществляется газоанализатором «ОПТОГАЗ-500.1С», позволяющим измерять следующие компоненты: CO, CO₂, CH_x, O₂. Диапазон измерений компонентов газовой среды в объемных долях:

- CO 0–7,0 %;
- CO₂ 0–20,0 %;
- O₂ 0–21,0 %;
- CH_x 0–10000 млн⁻¹.

Сконструированный электротехнический стенд дает возможность генерировать токовые перегрузки до 750 А в электросетях переменного тока напряжением 220 В и до 1 000 А постоянного тока 12 и 24 В. Это позволяет моделировать КЗ и протекание сверхтоков по проводникам сечением от 0,5 до 10 мм² и видоизменять условия пожара, варьируя температуру окружающей среды и ее газовый состав.

Для решения проблемных вопросов методики, описанных выше, выполняется ряд экспериментальных исследований, целью которых является:

- моделирование начальной стадии аварийного процесса и обеспечение многостадийности его протекания по следующему механизму: ухудшение диэлектрических свойств изоляции – возникновение токов утечки, образование электрической дуги;

– оценка влияния на микроструктуру медного проводника таких параметров, как величины тока КЗ, температуры окружающей среды, газового состава окружающей среды и вклад каждого из них в отдельности;

– определение характерных морфологических особенностей повреждений одножильных и многожильных изолированных и неизолированных медных проводников различного сечения, подвергшихся воздействию сверхтоков различной кратности.

Эксперименты по моделированию начальной стадии аварийного процесса

Общая схема эксперимента приведена на рис. 4. Образец – медный проводник в изоляции закрепляется на негорючей токонепроводящей подложке. В качестве нагрузочного сопротивления используется балластный реостат сопротивлением 0,4 Ом.

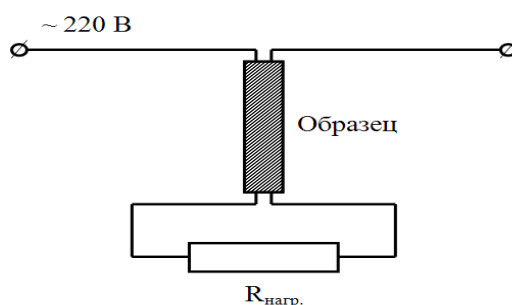


Рис. 4. Схема моделирования КЗ

Ухудшение свойств изоляции и возникновение токов утечки могут быть смоделированы следующим образом. На подложке размещается двухжильный проводник, а на его отдельном участке удаляется часть изоляции. В образовавшийся зазор помещается предварительно карбонизированная изоляция для создания токопроводящей среды и, соответственно, токов утечки. На образец подается напряжение 220 В переменного тока. Ток в ходе эксперимента задается в пределах от 300 до 600 А. После возникновения электрической дуги КЗ (неполного и полного) процесс протекает самопроизвольно до момента разрыва электрической цепи и ее обесточивания.

Эксперименты по моделированию КЗ, возникающего в условиях пожара

Схема экспериментов аналогична описанной выше (рис. 4).

Диапазон токов, подаваемых на образец, – 300–600 А. Температурное воздействие на образец варьируется в пределах от 250 до 750 °С.

Для анализа влияния величины тока КЗ, газового состава окружающей среды и температуры в отдельности необходимо изменять один параметр, фиксируя остальные. В процессе эксперимента осуществляется контроль газовой среды, создаваемой путем сжигания изоляции, древесно-стружечных материалов и т.п. С точки зрения протекания окислительно-восстановительных реакций и их влияния на микроструктуру оплавленных участков медных проводников наибольший интерес представляет варьирование содержания оксида углерода (II) и кислорода.

Эксперименты по моделированию токовой перегрузки

При моделировании процесса токовой перегрузки ставится задача определения при каких кратностях тока будет происходить возгорание различного вида изоляции проводников, их разрушение, образование на проводниках дополнительных дифференцирующих признаков, соответствующих определенной кратности перегрузки (внешние признаки и характерное изменение структуры металла проводников и оплавлений).

Обработка указанных режимов должна проводиться как в условиях нормальной атмосферы и температуры, так и в условиях, моделирующих пожар в атмосфере, загазованной продуктами горения изоляции проводников и других горючих материалов, повышенной температуре.

На реальном пожаре провода, оплавленные в результате рассмотренных выше режимов, могут подвергаться дополнительному отжигу. Моделирование такого отжига может осуществляться вне стенда, в муфельной печи.

Учитывая технические характеристики стенда и его конструктивные особенности, на нем можно также проводить исследования поведения пластиковых кабель-каналов и гофрорукавов при различных аварийных режимах работы проложенных в них проводников, а также определения токов срабатывания автоматических выключателей и соответствия их техническим характеристикам.

Таким образом, описанный в статье экспериментальный стенд собран и с 2014 г. используется при проведении научно-исследовательских работ по созданию усовершенствованной методики экспертного исследования оплавлений медных проводников тока. Исследование оплавлений проводится рассмотренными выше физико-химическими методами.

Первые результаты исследований приведены в статьях [11, 12].

Пока они демонстрируют сложность решаемых проблем и необходимость продолжения работы в данном направлении.

Литература

1. Schontag A. Archiv fur Kriminologie, 115 Bd., Munchen, 1956. S. 66.
2. Hagemuer W. Die metallographische Untersuchung von Kupferleitern als Method zur Untercheidung zwischen primaren und sekundaren Kurzschlussen // Schriftenreihe der Deutsch Volkspolizei. 1963. № 7–12. S. 1 160–1 170
3. Смелков Г.И., Фетисов П.А. Возникновение пожаров при коротком замыкании в электропроводах. М.: Стройиздат, 1973. 78 с.
4. Смелков Г.И., Александров А.А., Пехотиков В.А. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах. М.: Стройиздат, 1980. 58 с.
5. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. М.: ООО «КАБЕЛЬ», 2009. 328 с.
6. Маковкин А.В., Кабанов В.Н., Струков В.М. Проведение экспертных исследований по установлению причинно-следственной связи аварийных процессов в электросети с возникновением пожара. М.: ВНКЦ МВД СССР, 1990. 64 с.
7. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия: метод. рекомендации / Л.С. Митричев [и др.]. М.: ВНИИ МВД СССР, 1986. 43 с.
8. Диагностика причин разрушения металлических проводников, изъятых с мест пожаров: метод. рекомендации / А.И. Колмаков [и др.]. М.: ЭКЦ МВД РФ, 1992. 32 с.
9. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах): учеб. пособие / под ред. А.И. Колмакова. М.: ЭКЦ МВД России, 1993. 104 с.
10. Забиров А.С. Пожарная опасность коротких замыканий. М.: Стройиздат, 1980. 137 с.
11. Мокряк А.Ю., Чешко И.Д. Металлографический анализ медных проводников, подвергшихся воздействию токовой перегрузки, при экспертизе пожаров // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 4. С. 51–58.
12. Мокряк А.Ю., Чешко И.Д., Пеньков В.В. Морфологический анализ медных проводников, подвергшихся воздействию токовой перегрузки, при экспертизе пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 4 (32). С. 41–49.

References

1. Schontag A. Archives for Criminology, 115 Bd., Munchen, 1956. p. 66
2. Hagemuer W. The Metallographic Investigation of Copper Conductors as Method for Distinguishing Between Primary and Secondary Short Circuits // Series of Publications of the German People's Police. 1963. № 7–12. P. 1 160–1 170
3. Smelkov G.I., Fetisov P.A. The occurrence of fires in the short-circuit in wiring. M.: Stroiizdat, 1973. 78 p.
4. Smelkov G.I., Aleksandrov A.A., Pechotikov V.A. Methods for determining the involvement of emergency regimes in electrical devices in fires. M.: Stroiizdat, 1980. 58 p.
5. Smelkov G.I. Fire safety of wirings. M.: CABLE LLC, 2009. 328 p.
6. Makovkin A.V., Kabanov V.N., Strukov V.M. Conducting expert studies on the establishment of a causal relationship of emergency processes in the electricity network with the onset of a fire. M.: VNKTS MVD USSR, 1990. 64 p.
7. Investigation of copper and aluminum conductors in short-circuit and thermal exposure zones: methodological recommendations / L.S. Mitrichev [et al.]. M.: All-Russia Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1986. 43 c.
8. Diagnosis of the causes of the destruction of metal conductors, seized from the fires: methodological recommendations / A.I. Kolmakov [et al.]. M.: EKTS MVD RF, 1992. 32 p.
9. Jekspertnoe issledovanie metallicheskih izdelij (po delam o pozharah) Uchebnoe posobie / pod red. A.I. Kolmakova. M.: JeKC MVD Rossii, 1993. 104 s.
10. Zabirov A.S. Pozharnaja opasnost' korotkih zamykanij. M.: Strojizdat, 1980. 137 s.
11. Mokrjak A.Ju., Cheshko I.D. Metallograficheskij analiz mednyh provodnikov, podvergshihsja vozdeystviyu tokovoj peregruzki, pri jekspertize pozharov // Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MChS Rossii (Nauchno-prakticheskij zhurnal). 2014. № 4. S. 51–58.
12. Mokrjak A.Ju., Cheshko I.D., Pen'kov V.V. Morfologicheskij analiz mednyh provodnikov, podvergshihsja vozdeystviyu tokovoj peregruzki, pri jekspertize pozharov // Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. 2014. № 4 (32). S. 41–49.