



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»  
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,  
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, С.-Петербург, 195251  
Телефон (812) 297-20-95, факс 552-60-80  
E-mail: office@spbstu.ru

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе  
доктор технических наук, доцент  
член - корреспондент Российской  
Академии Наук

В.В. Сергеев

2018 г.



## **ОТЗЫВ**

### **ведущей организации**

на диссертационную работу Мокряка Андрея Юрьевича  
«Установление природы оплавлений медных проводников и латунных  
токоведущих изделий при экспертизе пожаров на объектах энергетики»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.26.03 - Пожарная и промышленная безопасность  
(отрасль - энергетика)

Общеизвестно, что пожары в России ежегодно приводят к огромным финансовым потерям и человеческим жертвам. На снижение этих потерь направлены меры, предусмотренные вступившим в силу с 1 января 2018 года Указом Президента Российской Федерации № 2 от 01.01.2018 года «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года». Настоящими Основами определяются цель, задачи и приоритетные направления государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на указанный период, а также механизмы ее реализации.

Энергетическая отрасль является одной из наиболее пожароопасных. Статистические данные о пожарах в России свидетельствуют о том, что примерно их пятая часть возникает по причине аварийных процессов в электрооборудовании. Причастность электрических аварийных режимов к возникновению пожаров в каждом

*Ох. Л. В. 96 от 29.04.2018*

конкретном случае нужно доказывать, устанавливать механизм возникновения и развития аварийного процесса. По этим причинам в судебно-экспертных учреждениях МЧС России, пожарно-технических экспертно-криминалистических подразделениях МВД России электротехнические объекты являются одними из наиболее распространенных объектов исследования, а соответствующие методики экспертного исследования – наиболее востребованными.

У существующих методик экспертного исследования после пожара электротехнических объектов имеется, как показывает практика, имеется ряд недостатков и «белых пятен», наличие которых резко снижает информативность и доказательность полученных результатов. Экспертная практика требует их развития и усовершенствования с использованием современной лабораторной техники и оборудования, чему, по сути, и посвящена данная диссертационная работа.

Приводимый автором диссертационной работы обзор комплекса существующих инструментальных методик исследования после пожара электротехнических объектов показывает, что наиболее «проблемной» в этом комплексе является группа частных экспертных методик, ориентированных на исследование проводников (наиболее распространенных – медных) и контактных соединений.

**Целью диссертационной работы А.Ю. Мокряка** является разработка методических основ экспертного исследования после пожара оплавлений медных проводников токами перегрузки, а также латунных токоведущих изделий и расширение, таким образом, аналитических возможностей комплекса инструментальных методов, используемых при установлении причин пожаров.

Таким образом, тема работы отвечает потребностям экспертной практики и, безусловно, является актуальной.

**Для достижения цели работы, автором работы были решены следующие задачи:**

- разработан и введен в эксплуатацию экспериментальный электротехнический стенд для моделирования пожароопасных аварийных режимов работы электросети;
- на основе анализа экспертной практики выбраны объекты исследования;
- проведено моделирование пожароопасных аварийных режимов работы электросети при условиях, характерных для пожара и допожарной обстановки;
- выполнен анализ полученных образцов комплексом инструментальных методов;
- предложены аналитические схемы экспертного исследования оплавлений медных проводников и латунных токоведущих изделий после пожара;

– полученные результаты (усовершенствованная аналитическая схема) апробирована при экспертном исследовании объектов, изъятых на реальных пожарах.

Результаты исследования изложены в представленных на отзыв диссертации и автореферате. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. В приложениях приведены акты внедрения.

**Во введении** Мокряк А.Ю. обосновывает актуальность диссертационной работы, научную новизну, отмечает степень разработанности тематики исследования. Поставлены цель и задачи исследования. Приведены основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

**В главе 1** приведены сведения о пожароопасных аварийных электрических режимах, которые могут возникать в электросетях – КЗ и токовой перегрузке. Проанализированы инструментальные методики исследования оплавлений металлических проводников тока, которые применяются в судебно-экспертных учреждениях МЧС и МВД России. Отмечены их основные недостатки. Указано, что методик экспертного анализа после пожара электротехнических изделий, выполненных из латуни, в пожарно-технической экспертизе в настоящее время не существует.

**В главе 2** соискателем приведено подробное описание экспериментального электротехнического стенда, его принципиальная и электрическая схема. Данная установка использовалась автором при экспериментальном моделировании аварийных электрических режимов. Технические особенности стенда позволяют моделировать режимы КЗ и токовой перегрузки при переменном и постоянном токе, напряжением 12 и 220 В, сверхтоки до 1000 А, а также воспроизводить условия пожара – задымленную атмосферу, внешнее тепловое воздействие на образец до 800 °С, контролировать газовый состав атмосферы газоанализатором «Оптогаз-500». Эксперименты проводились с наиболее часто используемыми на объектах энергетики медными проводниками и латунными токоведущими изделиями. В данной главе также описаны проводимые экспериментальные исследования по моделированию коротких замыканий и токовых перегрузок. Эксперименты проводились при переменном токе напряжением 220 В. Моделирование условий пожара проводились при нагреве радиационной панелью до температуры 300 - 400 °С в атмосфере газообразных продуктов неполного сгорания древесины, резины и тканей. Воздействие внешнего тепла пожара моделировали путем отжига образцов оплавлений проводников тока в муфельной печи при температурах от 500 до 1200 °С. Атмосферу продуктов сгорания в печи создавали сжиганием полимерных материалов. Скорость охлаждения задавалась «медленной» (в печи), «средняя» (на воздухе), «быстрая» (водой). Полученные образцы подвергались

исследованию методом металлографии, сканирующей электронной микроскопии, рентгенофазовому анализу и элементному анализу.

**В главе 3** соискатель Мокряк А.Ю. приводит результаты экспериментов по моделированию токовой перегрузки на медных проводниках. Установлено, что сверхток свыше 3-4 крат вызывает разделение проводника на части с образованием оплавлений на концах, при этом, морфология таких оплавлений сходна с последствиями воздействия на проводник электрической дуги КЗ. Выявлены следы, которые образуются при определенных значениях кратности тока перегрузки на проводниках: вздутия, утолщения и утончения, поверхностные оплавления. Даны определения этим признакам токовой перегрузки. Металлографический анализ оплавлений медных проводников, подвергшихся воздействию токовой перегрузки, позволил выявить признаки этого процесса: поверхностное оплавление, межпроволочное оплавление, оплавление границ зерен, специфическая пористость. Кратность сверхтока влияет на содержание кислорода в оплавлении медного проводника, образовавшегося в результате токовой перегрузки. Так, при перегрузках менее 8-9 крат содержание кислорода в зоне оплавления составляет значение от 0.1 %. При кратностях перегрузки более 8-9 концентрация кислорода остается на уровне 0.05 %. Зерна меди в оплавленных зонах при токовой перегрузке имеют различную форму и ориентировку и могут быть дендритными, вытянутыми или равноосными. Уделено внимание сохранности следов сверхтока при отжиге в условиях, характерных для пожара. Проведен анализ полученных образцов методом РФА. Установлено, что данный метод, использующийся в настоящее время для дифференциации условий формирования электродуговых оплавлений, непригоден для анализа оплавлений, вызванных сверхтоком.

**В главе 4** приведены результаты экспериментальных исследований с латунными контактами. В результате этих исследований были выявлены дифференцирующие признаки КЗ и внешнего теплового воздействия. Данные признаки выявляются при морфологическом анализе методом СЭМ. На поверхности латунных контактов после КЗ с деталями из меди, алюминия и стали, образуются микродефекты тонкой структуры оксидной пленки в виде шарообразных частиц микронных размеров, которые отсутствовали на исходном контакте. Данные частицы также были обнаружены в зоне, прилегающей к месту оплавления, и наблюдались на всех образцах, подвергшихся воздействию токов короткого замыкания, как в условиях «до пожара», так и в условиях «в ходе пожара». Показано, что при КЗ между парами металлов и сплавов: латунь-латунь, латунь-медь, латунь-сталь и латунь-алюминий, наблюдается процесс массопереноса химических элементов. При определении металла, с которым произошло взаимодействие

латунного изделия, наиболее информативным является элементный анализ поверхности, прилегающей к месту оплавления. Вероятность диагностирования посторонних элементов во внутреннем объеме оплавления достаточно мала.

Рентгенофлуоресцентный анализ химического состава электродуговых оплавлений латунных контактов показал уменьшение концентрации цинка на 1,5 – 2 % масс. в оплавленной части. Дальнейший отжиг латунной детали, вплоть до температуры плавления латуни, не влиял на содержание цинка – концентрация в зоне оплавления оставалась пониженной. При этом, изменения концентрации цинка в оплавленных при внешнем тепловом воздействии латунных контактах, не наблюдалось.

Металлографический анализ оплавлений латунных деталей, вызванных дугой КЗ, показал наличие структур быстрой кристаллизации – дендритов, ячеек, столбчатых зерен. При этом, оказалось, что данные структуры формируются как в условиях первичного, так и в условиях вторичного КЗ. Показано влияние отжига на микроструктуру быстрой кристаллизации - свыше 450 – 550 °С она исчезает и переходит в структуру отожженной  $\alpha$ -латуни. Дифференцирующие признаки КЗ в виде структур быстрой кристаллизации, таким образом, нивелируются. Однако, диагностическим признаком оплавления латунной детали в результате КЗ при ее вторичном нагреве в ходе пожара свыше 450 - 550 °С можно считать различие хотя бы в один размер зерна между участком оплавления и участком основного металла.

В случае быстрого охлаждения оплавления водой (режим, моделирующий водяное тушение на пожаре) в  $\alpha$ -латуни образовывались структуры, вид которых схож со структурами быстрой кристаллизации при КЗ - дендриты, ячейки и столбчатые зерна. Тем не менее, установлено, что существует диагностический параметр, позволяющий дифференцировать внешнее тепловое воздействие и КЗ. Им является усредненный поперечный размер зерен.

В главе 5 изложены основы усовершенствованной методики экспертного исследования оплавлений медных проводников после пожара. Систематизированы признаки, характерные для оплавлений медных проводников различной природы, а также методы их обнаружения, дана схема экспертного исследования. Также в данной главе предложены методические основы экспертного анализа токоведущих металлоизделий из латуни. Дана схема экспертного исследования после пожара латунных электротехнических изделий. Приведены примеры применения предлагаемой соискателем методики экспертного исследования латунных элементов электросети.

**Научная новизна** диссертационной работы Мокряка А.Ю. заключается, в частности, в том, что:

– выявлены и классифицированы признаки, характеризующие протекание сверхтока по медным проводникам. Проведена количественная оценка зависимости таких признаков от кратности сверхтока;

– обнаружена зависимость содержания кислорода в оплавлении медного проводника от кратности сверхтока;

– усовершенствована аналитическая схема экспертного анализа после пожара оплавлений медных проводников;

– выявлены диагностические критерии, позволяющие определить причину разрушения при пожаре латунных контактов (дифференцирующие электродуговой процесс и внешнее тепловое воздействие).

**Теоретическая значимость** работы заключается в возможности использования ее результатов для объяснения механизма протекания физических процессов, формирующих оплавления медных проводников и латунных токоведущих изделий, научного обоснования применяемых в пожарно-технической экспертизе инструментальных методик, обоснования выводов эксперта.

**Практическая значимость** работы заключается в использовании её результатов как непосредственно в экспертной практике, так и в последующей разработке экспертных методик расследования пожаров на электрифицированных объектах. Полученные результаты используются в учебном процессе при подготовке экспертов судебно-экспертных учреждений Федеральной противопожарной службы МЧС России и экспертно-криминалистических центров МВД России.

#### **Обоснованность и достоверность полученных результатов.**

Обоснованность и достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечиваются корректным применением современного сертифицированного и поверенного измерительного оборудования с использованием компьютерного программного обеспечения, дающих необходимую точность проводимых измерений.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается также воспроизводимостью результатов экспериментов, а также значительным объемом полученных экспериментальных данных.

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 научных работах, отражающих основные положения исследования, при этом 5 – в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России. Результаты диссертации доложены на международных научно - технических конференциях.

Автореферат правильно передаёт содержание диссертации.

### **К достоинствам диссертационной работы можно отнести:**

1 Большой объем экспериментальных исследований по моделированию условий пожара и аварийных электрических режимов, максимально возможно приближенных к реальным условиям.

2 Комплексный подход к решению традиционно сложных задач пожарно-технической экспертизы – поиска, выявления и интерпретации следов протекания аварийных пожароопасных режимов работы электросети.

3 Результаты диссертационной работы успешно апробированы при исследовании объектов, изъятых с мест реальных пожаров, что подтверждает правильность полученных выводов.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Полученные результаты могут быть рекомендованы к дальнейшему расширенному использованию при разработке соответствующих методик пожарно-технической экспертизы и их применению при расследовании пожаров, взрывов, аварий на объектах энергетики, предприятиях и в жилом секторе.

### **Замечания по работе:**

Поскольку представленная работа имеет своей целью совершенствование используемых на практике методик экспертно-криминалистических исследований, было бы целесообразно сравнить результаты, полученные с использованием вновь разработанной и классической методики и подтвердить либо опровергнуть достоверность результатов, полученных по старой методике.

Указанные недостатки, не снижают, однако, научной и практической ценности выполненной работы и её, в целом, положительную оценку.

Замечания диссертанту будет полезно при разработке методик экспертного исследования после пожара на электрифицированных объектах следов протекания электрических аварийных режимов.

Таким образом, можно сделать вывод, что рассматриваемая диссертация в соответствии с «Положением о порядке присуждения ученых степеней» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решается проблема методического обеспечения экспертного исследования после пожара токоведущих изделий из меди и латуни. На основании вышеизложенного, следует заключить, что Мокряк Андрей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 - Пожарная и промышленная безопасность (отрасль энергетика, технические науки).

Отзыв на диссертационную работу рассмотрен и одобрен на заседании базовой кафедры Пожарной безопасности ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (протокол № 07 от 28.03.2018).

Отзыв составил:

Заведующий базовой кафедрой

«Пожарная безопасность»

д.т.н., профессор

Танклевский Леонид Тимофеевич

« 31 » 04 2018 г.

Почтовый адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

Базовая кафедра «Пожарная безопасность»

Контактный телефон: (812) 297-21-88

E-mail: office@spbstu.ru

