

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

**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)

Представленная на оппонирование диссертационная работа Мокряка А.Ю. «Установление природы оплавлений медных проводников и латунных токоведущих изделий при экспертизе пожаров на объектах энергетики» посвящена экспериментальному исследованию медных проводников и латунных токоведущих изделий, подвергшихся воздействию сверхтоков и дуговых процессов при коротком замыкании, и разработке методик их экспертного исследования после пожара. Следует отметить, что поиск следов протекания аварийных электрических режимов работы электросетей и электрооборудования является крайне актуальной задачей при расследовании пожаров. В первую очередь это относится к объектам энергетики и другим энергонасыщенным объектам.

**Целью работы** являлась 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 в настоящее время при установлении причин пожаров.

Для достижения поставленной цели соискателем были поставлены и решены **ряд практических задач**, а именно:

- была разработана экспериментальная установка - электротехнический стенд, моделирующий электрические аварийные режимы;
- выбраны объекты исследования;

04.10.19 27 03.05 2019

- осуществлено моделирование пожароопасных аварийных режимов работы электросети при условиях, характерных для пожара и допожарной обстановки;
- проведен анализ различными инструментальными методами образцов, полученных в ходе проведения экспериментов, систематизированы признаки, указывающие на природу и условия формирования оплавлений токоведущих металлоизделий из меди и латуни;
- предложены аналитические схемы экспертного исследования оплавлений медных проводников и латунных токоведущих изделий после пожара;
- результаты диссертации получили свое применение при экспертных исследованиях объектов, изъятых с мест реальных пожаров.

Диссертационная работа Мокряка А.Ю. обладает **научной новизной**, что подтверждается полученными результатами:

- 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.

**Практическая значимость** работы заключается в ее использовании как непосредственно в экспертной практике, так и в последующей разработке экспертных методик.

**Во введении** диссертантом обоснована актуальность работы, ее научная новизна, степень разработанности. Определены цель и задачи исследования. Приведены основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

В первой главе «Пожароопасные аварийные процессы в электросетях, их последствия и методики экспертного исследования» систематизированы сведения о пожароопасных аварийных электрических режимах, которые могут возникать в электросетях. При этом, основное внимание уделено электродуговому процессу короткого замыкания и токовой перегрузки. Проанализированы существующие на данный момент в пожарно-технической экспертизе инструментальные методики исследования оплавлений металлических проводников тока, при этом показаны их основные существенные недостатки. Показано, что методик экспертного анализа после пожара электротехнических изделий, выполненных из латуни в пожарно-технической экспертизе не существует.

Во второй главе «Моделирование аварийных режимов работы электросети и условий пожара. Методы исследования оплавлений» соискатель дает описание экспериментальной установки - электротехнического стенда, характеризуя его возможности. Указаны объекты исследования, которые использовались в экспериментах - медные многопроволочные и однопроволочные проводники типа ВВГ, ПВС, ШВВП, МГШВ, NYM различного сечения, контакты из латуни марки Л63, алюминиевые проводники (алюминий марки АД0), стальной уголок (сталь марки Ст3). Описано моделирование «неметаллического» КЗ, первичного и вторичного КЗ, токовой перегрузки. Воздействие внешнего тепла пожара моделировалось путем отжига образцов в муфельной печи. Приведено описание используемого в работе лабораторного оборудования и условий проведения анализов.

В третьей главе «Анализ оплавлений медных проводников, подвергшихся воздействию сверхтока» приведены результаты экспериментов по экспериментальному моделированию токовой перегрузки на медных проводниках. Выявлены и классифицированы следы, возникающие при токовой перегрузке в медных проводниках. Установлена зависимость размеров дефектов, возникающих на медных проводах при протекании сверхтока, и их количества от кратности тока перегрузки. Проанализирована микроструктура подобных дефектов. Установлено,

что содержание кислорода в оплавлении медного проводника, образовавшегося в результате токовой перегрузки, зависит от кратности сверхтока. При перегрузках менее 8÷9 крат содержание кислорода в зоне оплавления варьируется от 0,10 до 0,39 % и более. При кратностях перегрузки более 8÷9 концентрация кислорода в объеме оплавления остается на уровне - 0,05 %. Рассмотрено влияние отжига при температурах до 1100 °С на сохранность признаков токовой перегрузки, выявляемых методом металлографии. Проведено исследование методом рентгенофазового анализа оплавлений медных проводников, возникших в результате токовой перегрузки, который показал, что данный метод непригоден для дифференциации условий формирования данных оплавлений.

В четвертой главе «Дифференциация следов короткого замыкания и внешнего теплового воздействия в латунных токопроводящих изделиях» соискатель приводит дифференцирующие признаки короткого замыкания и внешнего теплового воздействия для проводников тока из латуни. Данные признаки выявляются при морфологическом анализе методом СЭМ, в частности показано, что на поверхности латунных контактов после КЗ образуются микродефекты тонкой структуры оксидной пленки в виде шарообразных частиц микронных размеров. При внешнем тепловом воздействии в ходе нагрева в муфельной печи данные микродефекты не образовывались. В ходе количественного анализа элементного состава оплавлений латунных деталей, вызванных токами КЗ, был обнаружен феномен уменьшения концентрации цинка на 1,5 – 2 % масс. в оплавленной части латунного контакта. При этом, изменения концентрации цинка в латунных контактах, оплавленных в муфельной печи при температуре до 1100 °С, не наблюдалось. Очевидно, что этот эффект может служить основанием для дифференциации КЗ и внешнего теплового воздействия на латунные токоведущие изделия. Металлографический анализ оплавлений латунных деталей, вызванных дугой КЗ, показал наличие структур быстрой кристаллизации – дендритов, ячеек, столбчатых зерен, которые, однако, формируются как в условиях первичного, так и в условиях вторичного КЗ. Определен диагностический параметр, позволяющий дифференцировать внешнее тепловое воздействие и КЗ. Им является усредненный поперечный размер  $D$  структурных составляющих. При тепловом воздействии пожара и быстром охлаждении, данный параметр  $D$  превосходит значение для КЗ в

несколько раз и составляет величину порядка 10 – 30 мкм, а при коротком замыкании  $D = 4 - 10$  мкм.

В пятой главе «Исследование оплавлений медных проводников и латунных электротехнических изделий при экспертизе пожаров» предложены основы усовершенствованной методики экспертного исследования оплавлений медных проводников и латунных токоведущих изделий после пожара. Систематизированы признаки, характерные для оплавлений различной природы, а также методы их обнаружения, даны схемы экспертного исследования.

Анализируя полноту и завершенность работы необходимо отметить следующее. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы. Работа содержит 138 страниц основного текста, 18 таблиц, 90 рисунков. Список использованной литературы включает 110 наименований. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, отражающих основные положения исследования, из них 5 – в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России. Кроме того, основные результаты научной работы доложены на международных научно-практических конференциях.

Полученные в диссертационной работе результаты соответствуют современным представлениям об электродуговых процессах и процессах, протекающих при нагреве металлов и сплавов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением измерительного оборудования, значительным объемом экспериментальных данных с использованием апробированных методов их обработки, объективным анализом полученных научных результатов, а также воспроизводимостью результатов экспериментов.

Результаты диссертационной работы Мокряка А.Ю. апробированы при проведении экспертиз по реальным пожарам, что характеризует ее с положительной стороны.

Замечания к диссертации:

1) В качестве объекта исследования была выбрана марка латуни Л63, очевидно, по причине распространенности этого материала при производстве латунных контактов и тому подобных электротехнических изделий. Однако

остается непонятным можно ли распространить полученные результаты на латуни иного химического состава.

2) Исходя из схем экспертного исследования латунных токоведущих изделий и медных проводников, приведенных на рис. 5.1, 5.4, ясно, что при анализе подобных объектов необходим комплексный подход, т.е. применения нескольких методов исследования. Что делать эксперту, если в его распоряжении имеется возможность применять только часть этих методов.

3) Вздутия – следы, образующие на медных проводниках в изоляции в результате протекания по ним сверхтока. Возможно ли их спутать со следами, образующимися при внешнем тепловом воздействии на медный проводник в ходе пожара.

4) В работе приведены результаты фотосъемки медных проводников, подвергающихся воздействию сверхтоков. На снимках видно, что проводники изначально находятся без изоляции. Возможно, ли было провести подобную фотосъемку для проводников в изоляции и установить ее влияние на морфологию образующихся дефектов.

5) На странице 67 отмечено, что при отжиге на оплавлениях провода происходит снижение в них содержания кислорода. Есть ли у автора предположения, с чем связано снижение содержания кислорода.

6) Моделирование вторичного КЗ на медных проводниках, (в условиях «пожара») проводилось при локальном нагреве провода радиационной панелью до температуры 300 - 400 °С, а моделирование вторичного короткого замыкания (ВКЗ) на латунных контактах проводили при нагреве образцов до температур 250 – 350 °С (стр. 37-38). С чем связана разница в нагреве образцов при моделировании вторичного КЗ.

Сделанные замечания не оказывают существенного влияния на научную и практическую ценность выполненной диссертационной работы и её положительную (в целом) оценку. Однако их следует учесть в дальнейшей научной деятельности соискателя ученой степени.

