

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Научная статья

УДК 537.31

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ КАК ПРИЧИНА ПОЖАРА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КОМПЛЕКСА

✉ Клейманов Петр Анатольевич.

Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, г. Владивосток, Россия.

Дзизюров Дмитрий Викторович;

Борисов Яков Анатольевич.

Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы

«Испытательная пожарная лаборатория» по Приморскому краю, г. Владивосток, Россия

✉ kleymanov@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию возникновения пожара от нагревательного кабеля при эксплуатации технологического процесса системы пылеподавления производственно-перегрузочного комплекса. Приведены результаты металлографического исследования нагревательного кабеля, подвергшегося оплавлению при возгорании электрической многопроволочной жилы системы пылеподавления. Даны рекомендации по недопущению пожароопасных аварийных режимов работы электрооборудования.

Ключевые слова: электрический ток, причина пожара, нагревательный кабель, экспертное исследование пожара на производстве

Для цитирования: Клейманов П.А., Дзизюров Д.В., Борисов Я.А. Нагревательный кабель как причина пожара при эксплуатации системы пылеподавления производственно-перегрузочного комплекса // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 2. С. 9–17.

Электрическая энергия в настоящее время имеет огромное значение как в промышленности, так и в бытовой жизни людей. Любые технологические процессы связаны с этим видом энергии, и потребность в ней постоянно растет.

В то же время применение электротехнического оборудования связано с возможностью возникновения пожаров или взрывов вследствие аварий или неправильной эксплуатации электрооборудования.

По статистике ежегодно в России более 20 % пожаров происходит из-за нарушения правил эксплуатации электроустановок [1]. Большинство возгораний в электроустановках возникает из-за аварийных режимов работы проводов и кабелей:

- пробой изоляции повышенным напряжением;
- пробой изоляции в месте образования микротрещин из-за заводского дефекта;
- пробой изоляции в месте механического повреждения при эксплуатации;
- пробой изоляции от старения;
- пробой изоляции в месте локального внешнего или внутреннего перегрева;
- пробой изоляции в месте локального повышения влажности или агрессивности среды;
- случайного или умышленного соединения токопроводящих жил кабелей и проводов между собой или при соприкосновении токопроводящих жил с землей [2].

Анализ исследования причин пожаров в электропроводниках представляет научный и практический интерес и будет способствовать возможности избежать возникновения пожара, наносящего материальный ущерб и угрозу человеческим жизням.

В статье приведен пример возникновения пожара вследствие работы в аварийном режиме нагревательного кабеля в энергоцепи системы пылеподавления на территории производственно-перегрузочного комплекса.

Для установления электротехнической причины возникновения пожара в очаговой зоне специалистам необходимо было найти проводник с признаками оплавления и установить достоверную информацию о наличии пожароопасного процесса, характерного для аварийного режима работы электрооборудования (запах горелой изоляции, искрообразование, возникновение электрической дуги и т.д.) и горючих материалов, способных загореться от находящегося вблизи источника зажигания [3].

В ходе осмотра объекта пожара специалистом Судебно-экспертного учреждения федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Приморскому краю было установлено, что объектом пожара является кабельная цепь системы пылеподавления производственно-перегрузочного комплекса «Стакер».

Система пылеподавления представляет собой агрегат, установленный на территории производственно-перегрузочного комплекса, расположенного в порту Приморского края, который включает в себя магистраль низкого давления, контейнер системы пылеподавления, магистраль высокого давления, расположенную в металлическом лотке и в кабельной цепи, магистраль, установленную непосредственно на «Стакер».

Производственно-перегрузочный комплекс «Стакер» представляет собой перегрузочную машину, принимающую уголь со стационарного ленточного конвейера через приёмный бункер на стреловой конвейер «Стакер» с дальнейшей разгрузкой угля, находящегося на стреловом конвейере, в штабель (рис. 1). Вдоль траектории движения «Стакера» установлен металлический лоток, в котором расположена магистраль высокого давления.



Рис. 1. Общий вид перегрузочной машины «Стакер»

Согласно проектной документации система пылеподавления круглогодичной эксплуатации для «Стакера» в холодный период эксплуатации, при температуре ниже $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, предусматривает автоматическое включение подогрева греющих кабелей магистралей высокого давления.

Система магистралей высокого давления проложена в закрытом металлическом лотке до средней точки подключения, далее магистраль проложена в кабельной цепи «Kabelschlepp», которая через узел подключения кабельной цепи крепится непосредственно

к «Стакеру». Схематичное изображение «Стакера» и магистрали высокого давления в лотке и кабельной цепи «Kabelschlepp» – (рис. 2), узел кабельной цепи, позволяющий осуществлять возвратно-поступательные движения «Стакера» вдоль рабочей зоны угольного склада – (рис. 3).

В металлическом лотке и в кабельной цепи проложена магистраль высокого давления с системой подогрева, питающей кабель и кабели управления.

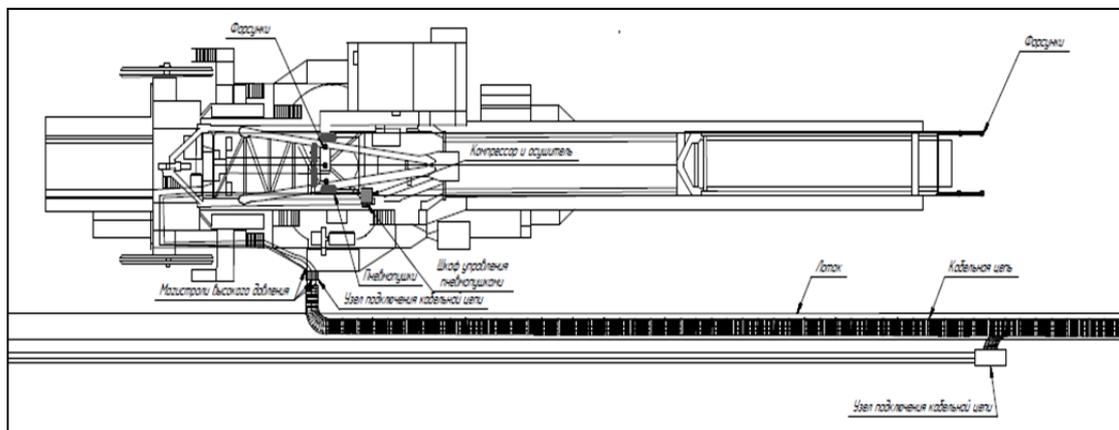


Рис. 2. Схематичное изображение «Стакер» и магистрали высокого давления в лотке и кабельной цепи «Kabelschlepp»



Рис. 3. Узел кабельной цепи, позволяющий осуществлять возвратно-поступательные движения «Стакер» вдоль рабочей зоны угольного склада

Обстоятельства происшествия

В журнале неисправностей пульта управления системой пылеподавления «Стакера» были зафиксированы следующие записи:

- 20.09.2022 в 23:01:47 включен обогрев магистралей высокого давления системы пылеподавления;
- 21.09.2022 в 10:49:24 стреловой конвейер запущен;
- 21.09.2022 в 11:57:17 неисправность контактора КМ 10,11,12 (обогрев) проверка автоматов, греющего кабеля;
- 21.09.2022 в 12:00:17 нет связи с пультом управления «Стакера» (ПУО);
- 21.09.2022 авария обогрева магистралей в цепи (проверить УЗО);
- 21.09.2022 в 12:36:00 докер-механизатор обнаружил задымление в кабельной цепи, приняты меры к тушению пожара.

В ходе осмотра места пожара установлено, что в результате горения на участке пикет 32–33, на протяжении около 10 м произошло выгорание горючих материалов (изоляция проводников, тепловая изоляция, пластиковые элементы цепи) в двух уровнях кабельной цепи «Kabelschlepp», рукавов высокого давления, силового, управляющих и греющих кабелей. При возгорании отмечены участки с полным выгоранием горючих элементов кабельной цепи, расположенной сверху (второй от основания металлического лотка). Также изоляция проводников (силового, греющего и управляющих кабелей) на протяжении 10 м полностью выгорела (рис. 4).



Рис. 4. Термические поражения участка кабельной цепи системы пылеподавления «Стакер»

На участке ближе к пикету 33 в верхнем уровне кабельной цепи обнаружен разрыв силового кабеля, утончение металлической оболочки рукавов высокого давления, далее в сторону узла крепления магистрали к «Стакеру» имеется участок разрыва греющего кабеля, на концах металлических токоведущих жил которого обнаружены признаки наличия пожароопасного аварийного режима работы электрооборудования в виде локального оплавления (рис. 5, объект под цифрой 3). Данный участок с оплавлением расположен в наиболее удаленной части от источника питания электрической цепи.

На участке выгорания кабельной цепи имеются фрагментированные участки электрических проводников и греющих, и силовых. Данное обстоятельство обусловлено эффектом растворения металла в металле при попадании на проводники расплавленных при горении металлических (выполненных из алюминия) фрагментов конструкции кабельной цепи «Kabelschlepp».

Степень термических поражений кабельной цепи и горючих материалов кабелей указывает на распространение горения от 33 пикета в сторону 31 пикета.

В ходе осмотра кабельной цепи, от сгоревшего участка в сторону возвратной петли (то есть от места горения в сторону к источнику питания), в верхнем уровне кабельной цепи обнаружены участки с поврежденной изоляцией как греющего кабеля, так и участка силовых проводников, идущих от силового кабеля к соединительным муфтам греющего кабеля, степень повреждения которых свидетельствует о термическом воздействии со стороны токоведущих жил.

Указанное место совпадает с зоной наибольших термических поражений, что дополнительно свидетельствует о том, что очаг пожара находился именно в верхнем уровне кабельной цепи системы пылеподавления «Стакер» на участке ближе к пикету 33.

Визуальное исследование представленных объектов

Визуальное исследование представленных объектов проведено согласно существующей методике [4–7] путем внешнего осмотра с последующей фотофиксацией по правилам криминалистической фотосъемки [8, 9].

На исследование поступили три электротехнических объекта (рис. 5).

Объект под цифрой 1 – фрагмент греющего саморегулирующегося кабеля длиной 177 мм. Фрагмент проводника состоит: внешний слой изоляции – серого цвета, далее – изоляция белого цвета – далее полупроводящая саморегулирующаяся матрица черного цвета – далее две многопроволочные жилы белого цвета по семь провололочек в жиле, диаметр одной проволоочки 0,5 мм. Две проволоочки одной жилы спеклись в локальное оплавление и три проволоочки другой жилы также спеклись в локальное оплавление (рис. 5–9).

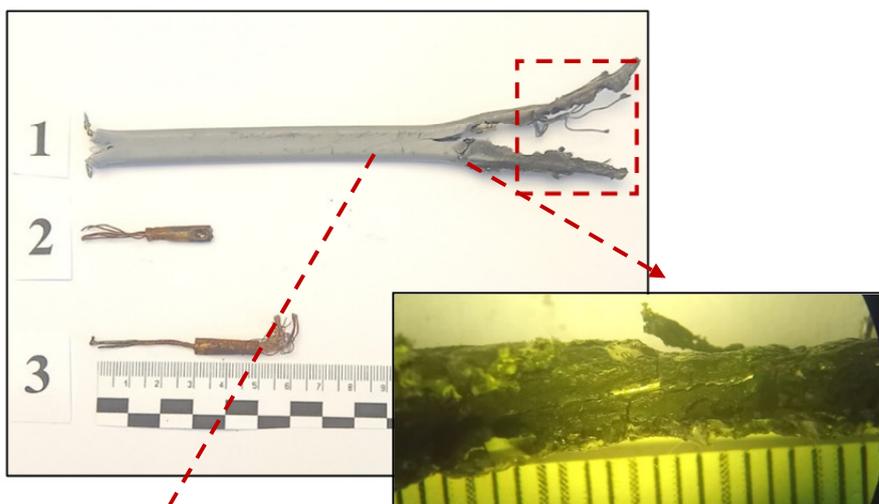


Рис. 5, 6. В кадре: 1 – фрагмент греющего кабеля с термическими повреждениями изоляции (матрицы) со стороны проводников; 2 – обгоревший фрагмент соединения греющего и силового проводника; 3 – фрагмент соединения греющего и силового проводника, на медных проволоочках жилы греющего кабеля локальные оплавления (признаки короткого замыкания)

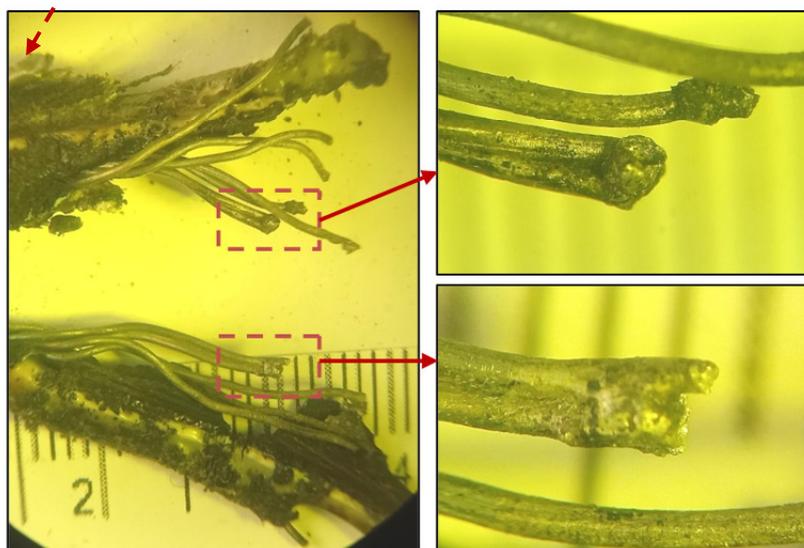


Рис. 7–9. Увеличенное изображение фрагмента греющего кабеля с оплавлениями на проволоочках жил

Таким образом, в ходе проведения визуального исследования фрагмента греющего кабеля обнаружены признаки аварийных режимов работы электрооборудования, характерные для возникновения в результате действия электрической дуги тока короткого замыкания и сверхтока перегрузки.

Объект под цифрой 2 – фрагмент металлической гильзы цилиндрической формы длиной 20 мм, диаметром 5 мм, с одной стороны от гильзы отходит медная многопроволочная жила длиной 19 мм, шесть провололок в жиле диаметром 0,46 мм каждая, с другого конца наблюдается фрагмент многопроволочной медной жилы, диаметр одной провололки 0,27 мм, провололки оборваны.

Объект под цифрой 3 – фрагмент металлической гильзы цилиндрической формы длиной 20 мм, диаметром 5 мм, с одной стороны от гильзы отходит медная многопроволочная жила длиной 32,7 мм, шесть провололок в жиле диаметром 0,46 мм каждая, четыре провололки спеклись в локальное оплавление размерами 2,5x3,7x2,5 мм. С другого конца гильзы отходит медная многопроволочная жила длиной 21 мм, 33 провололки в жиле, диаметр одной провололки 0,27 мм, пять провололок спеклись в локальное оплавление (рис. 5, 10, 11).

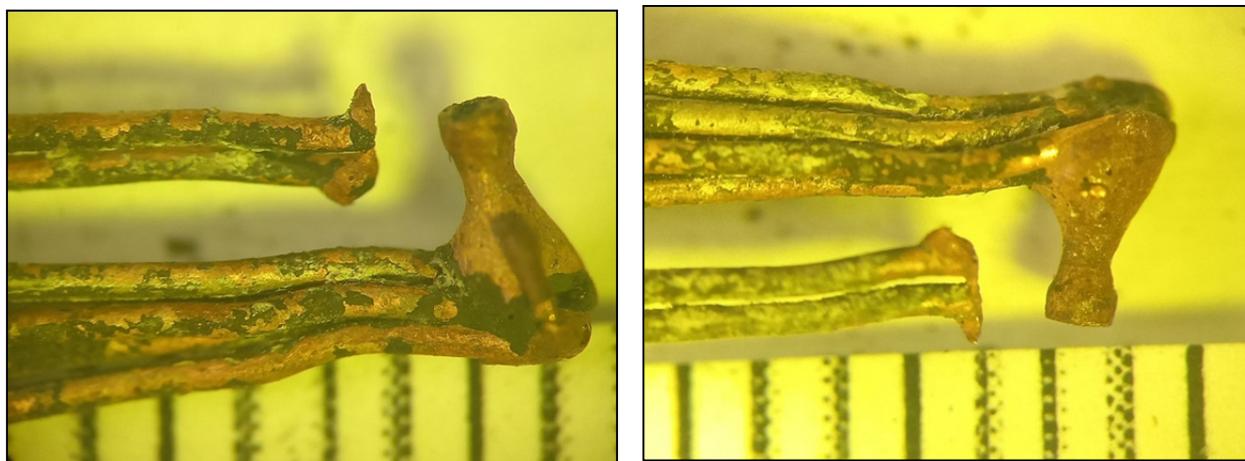


Рис. 10, 11. Увеличенное изображение оплавлений на медных проволочках греющего кабеля объекта № 3

Таким образом, в ходе проведения визуального исследования объекта № 3 – фрагмента медного проводника (металлическая гильза с фрагментами медных проводников греющего и силового кабеля) на медном проводнике греющего кабеля обнаружены признаки аварийных режимов работы электрооборудования, характерные для возникновения короткого замыкания в результате действия электрической дуги тока.

Металлографическое исследование

Из фрагмента с оплавлением объекта № 3 отрезан участок с оплавлением длиной 9 мм, из которого приготовлен микрошлиф (рис. 12). Для этого на глянцевую поверхность керамической плиты установили круглую оправу, в которую поместили отрезок с оплавлением (рис. 13). Оправу заполнили самотвердеющей пластмассой «Протакрил-М» (время затвердевания – 60 мин).

Обработка поверхности микрошлифов проводилась на установке для приготовления металлографических шлифов УПШ-1 на наждачной бумаге №№ 400, 600, 800, 1 000 и 1 200. Обработка производилась, примерно, до половины сечения оплавления с подводом проточной воды.

В заключительной стадии обработки проведено механическое полирование шлифов на установке УПШ-1 на полировальном матерчатом круге (шерсть) с добавлением абразивной полировальной пасты.



Рис. 12. Отрезок с оплавлением отделенный от объекта № 3 для проведения металлографического исследования

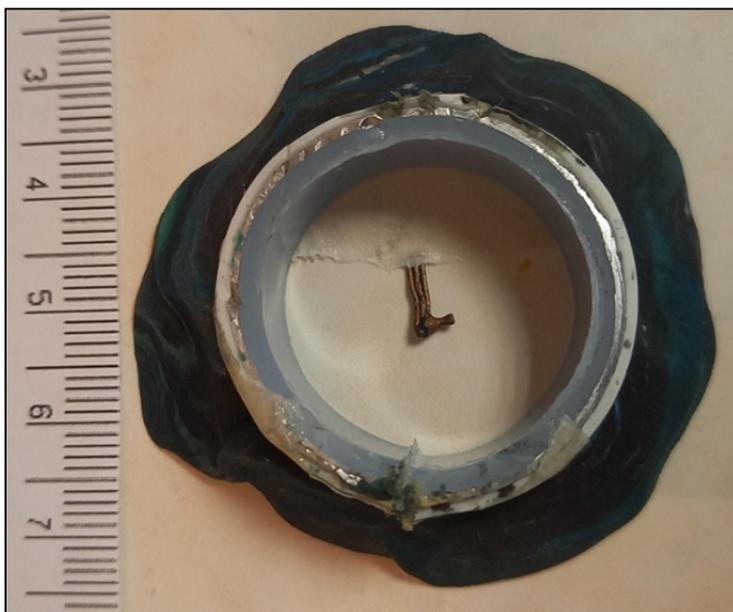


Рис. 13. Отрезок с оплавлением в оправе

После механического полирования с поверхности шлифа удален абразив промыванием под струей проточной воды.

Для выявления микроструктуры, шлиф подвергли химическому травлению в реактиве, полученном путем смешивания навески хлорного железа массой 5 г с соляной кислотой объемом 30 мл и водой объемом 100 мл.

Травление микрошлифа производилось путем протирания смоченным в реактиве ватным тампоном. После травления поверхность шлифов промывалась под струей проточной воды и высушивалась фильтровальной бумагой.

Приготовленные по вышеизложенной методике шлифы исследовались на металлографическом микроскопе ЕС МЕТАМ РВ–21 при 50, 100, 150 и 200-кратном увеличении.

Фотосъемка микроструктуры подготовленного образца проводилась видеокамерой ВЕС-335.

Результаты металлографического исследования оплавления

Объект № 3 (рис. 4, 9–11).

Исследованием с помощью металлографического микроскопа указанного оплавления установлено, что в зоне проводниковой части основу микроструктуры составляет медь

(светлые участки), наблюдаются мелкие равноосные зерна по границам и внутри зерен меди в виде темных точек – оксид меди I (Cu_2O). В зоне оплавления основу микроструктуры зоны оплавления имеют средние вытянутые зерна, прослеживается четкая прямая граница между зоной оплавления и проводниковой частью (рис. 14).

В ходе металлографического исследования объекта № 3 – фрагмента медного проводника греющего кабеля установлено, что микроструктура проводниковой части имеет мелкие равноосные зерна меди, наблюдается прямая граница между микроструктурами оплавления и проводниковой частью, микроструктура оплавления имеет средние вытянутые зерна меди. Указанные признаки характерны для короткого замыкания, произошедшего до пожара.

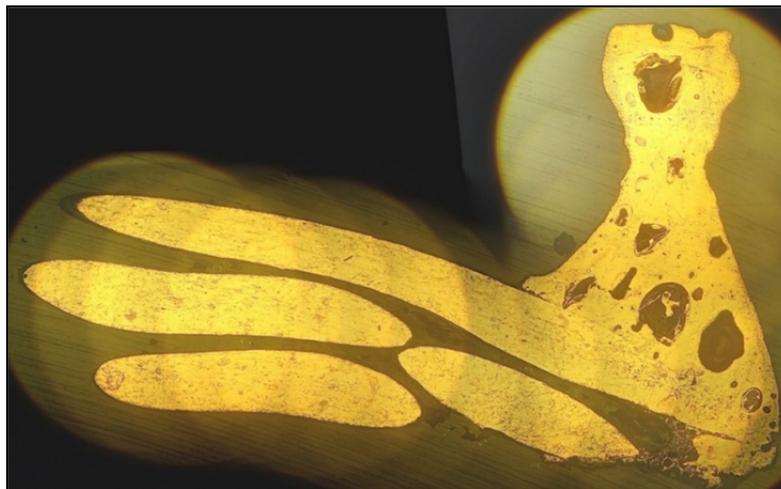


Рис. 14. Панорамный снимок микроструктуры оплавления объекта № 3, ($100\times$)

Таким образом, с учетом проведенных исследований, учитывая место расположения очага пожара, причиной возникновения пожара явилось загорание горючих материалов (изоляции проводов, тепловой изоляции) из-за пожароопасных аварийных режимов работы электрооборудования – системы греющего кабеля, расположенной в подвижной части кабельной цепи системы пылеподавления «Стакер».

Нарушение правил эксплуатации электроустановок (в нашем случае нагревательного кабеля) остается актуальным вопросом в области безопасности при использовании электрооборудования.

Новизна исследования данной проблемы заключается в способности решения широкого спектра задач в промышленном и повседневном использовании в быту населением системы электрического обогрева. Вместе с тем с опасностью применения греющих кабелей многие незнакомы, хотя в долгосрочном использовании кабеля она довольно серьезна.

В статье рассмотрен и проанализирован такой случай, который в дальнейшем даст необходимый импульс в подобных исследованиях, связанных с пожароопасными аварийными режимами работы электрооборудования.

Возгорание рассмотренного объекта происходит не часто, но может приводить к нарушению технологического процесса, что может привести к остановке всего процесса производства и значительным материальным убыткам.

Поэтому при проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок необходимо строго соблюдать требования нормативно-технической документации, а органам государственного пожарного надзора больше внимания уделять проблеме нарушения правил их эксплуатации в области пожарной безопасности.

Список источников

1. Тимофеева С.С., Малов В.В. Пожарная безопасность электроустановок: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 87 с.
2. Грунин В.К., Рысев П.В., Федоров В.К. Пожарная безопасность электроустановок: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013.
3. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2002. 330 с.
4. Колмаков А.И. Методика приготовления металлографических шлифов металлических объектов, поступающих на экспертизу: метод. рекомендации. М.: ЭКЦ МВД России, 1996.
5. Чешко И.Д. Анализ экспертных версий возникновения пожара. СПб., 2010. Кн. 1.
6. Экспертное исследование после пожара медных проводников: метод. рекомендации / А.Ю. Мокряк [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 110 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.
8. Панов А.Г. Исследование микроструктуры методами автоматического анализа изображения ImageExpert Pro 3 и ImageExpert Sample 2: метод. указания. Наб. Челны: ИНЭКА, 2009. 63 с.
9. Исследование и экспертиза пожаров: Словарь общих и специальных терминов / под ред. И.Д. Чешко. М.: ВНИИПО МЧС России, 2009. 520 с.
10. Черкасов В.Н., Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок: учеб. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2002. 377 с.

Информация о статье: статья поступила в редакцию: 16.03.2023; принята к публикации: 28.03.2023

Информация об авторах:

Клейманов Петр Анатольевич, старший преподаватель кафедры специальной подготовки факультета дополнительного профессионального образования Дальневосточной пожарно-спасательной академии – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 27), e-mail: kleymanov@yandex.ru

Дзизюров Дмитрий Викторович, начальник Федерального государственного бюджетного учреждения «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Приморскому краю (690022, Приморский край, г. Владивосток, ул. Чапаева, д. 1 «Д»), e-mail: rflab@mail.ru

Борисов Яков Анатольевич, главный эксперт сектора судебных экспертиз Федерального государственного бюджетного учреждения «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Приморскому краю (690022, Приморский край, г. Владивосток, ул. Чапаева, д. 1 «Д»), e-mail: borisovyakov@mail.ru