

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНИКОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Глухих Павел Александрович, Ефимов Иван Александрович, Белявский Николай Васильевич,
Головина Екатерина Валерьевна, Сафронова Ирина Геннадьевна
Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В работе приведены результаты сравнительного анализа инструментальных методов исследования аварийных режимов работы электропроводников. Обоснована актуальность изучения причин возникновения пожаров. Показана тенденция к увеличению количества пожаров в Российской Федерации. Выделено, что около 1/5 пожаров происходит по причине неисправного электрооборудования. Приведено описание механизма действия современных инструментальных методов исследования аварийных режимов работы электропроводников при осуществлении экспертной деятельности по установлению причастности к возникновению пожара проявлений этих режимов. Рассмотрены вопросы совершенствования методик и методов, связанных с применением металлографии, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа при исследовании изъятых с места пожара токоведущих жил различного исполнения. Предложены мероприятия, направленные на повышение качества применяемых способов исследования аварийных режимов работы электропроводников. Сделан вывод о приоритете методик, позволяющих устанавливать факт наличия признаков аварийных режимов работы электропроводников, не прибегая к разрушению испытуемого образца.

Результаты исследования могут быть использованы в деятельности компетентных органов и должностных лиц, связанной с расследованием пожаров и производством судебных пожарно-технических экспертиз при анализе версий о причастности к возникновению пожаров аварийных пожароопасных режимов работы электропроводников.

Ключевые слова: электропроводник, причина пожара, аварийные режимы, короткое замыкание, оплавления, металлография, рентгеноструктурный анализ, токоведущая жила

Для цитирования: Применение инструментальных методов исследования аварийных режимов работы электропроводников на современном этапе / П. А. Глухих [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 61–68.

APPLICATION OF INSTRUMENTAL METHODS OF STUDYING EMERGENCY MODES OF OPERATION OF ELECTRICAL CONDUCTORS AT THE PRESENT STAGE

Pavel A. Glukhykh, Ivan A. Efimov, Nikolay V. Belyavsky, Ekaterina V. Golovina, Irina G. Safronova
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The paper presents the results of a comparative analysis of instrumental methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors. The relevance of investigating the causes of fires is substantiated. The tendency towards an increase in the number of fires in the Russian Federation is shown. It is highlighted that about 1/5 of fires occur due to faulty electrical equipment. The mechanism of action of modern instrumental methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors when carrying out expert activities to establish the involvement of manifestations of these modes in the occurrence of a fire is described. The issues of improving techniques and methods related to the use of metallography, scanning electron microscopy and X-ray diffraction analysis in the study of live wires of various designs removed from the fire site are considered. Measures aimed at improving the quality of applied methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors are proposed. The conclusion is made about the priority of techniques that allow establishing the fact of the presence of signs of emergency operating modes of electrical conductors without resorting to the destruction of the test sample.

The results of the study can be used in the activities of competent authorities and officials related to the investigation of fires and the production of forensic fire-technical examinations when analyzing versions of the involvement of emergency fire-hazardous operating conditions of electrical conductors in the occurrence of fires.

Keywords: electrical conductor, fire cause, emergency modes, short circuit, reflow, metallography, X-ray diffraction analysis, live wire

For Citation: Application of instrumental methods of studying emergency modes of operation of electrical conductors at the present stage / P. A. Glukhikh et al. // *Technospheric safety*. 2025. № 2 (47). pp. 61–68.

Введение

Возникновение пожаров на объектах и в населенных пунктах ежегодно приводит к наступлению тяжких последствий, выражающихся в гибели людей, причинении вреда здоровью, нанесении материального ущерба. Анализ статистических данных показывает, что, несмотря на снижение общего количества пожаров на территории РФ, в период с 2019 по 2023 г. [1] наблюдается тенденция к увеличению материального ущерба, а также практически неизменными остаются показатели по ко-

личеству травмированных и погибших при пожарах людей. Так, при снижении количества пожаров на 30 % материальный ущерб вырос практически вдвое и к концу 2023 г. составил 61457,9 млн руб. Если же говорить об основных причинах пожаров, более 20 % от общего их числа приходится на нарушение правил эксплуатации электрооборудования. На протяжении последних лет эта группа причин пожаров уступает по количественным показателям лишь неосторожному обращению с огнем. В подавляющем большинстве случаев возгорание происходит в результате теплового проявления

аварийных режимов работы электрооборудования и электропроводки. Традиционно к ним относят токовую перегрузку, короткое замыкание, большие переходные сопротивления [2]. Формирование категоричного вывода о причастности к возникновению пожара аварийных режимов работы электропроводки зачастую невозможно без использования современных инструментальных методов исследования, принятых в пожарно-технической экспертизе. С развитием рынка кабельной продукции и в целом электрификации процессов и производств существующие методы и методики, применяемые при экспертном анализе признаков работы электропроводников в аварийном режиме, требуют постоянного совершенствования. Максимально эффективно в экспертной деятельности в рамках отдельных специализаций [3] на протяжении последних лет показывают себя морфологическое и металлографическое исследования, а также сканирующая электронная микроскопия и рентгеноструктурный анализ.

Методы исследования электропроводников после пожара

Вопрос использования различных методов исследования электропроводников после пожара в течение предыдущих десятилетий рассматривался в трудах А. И. Колмакова, Л. С. Митричева, И. Д. Чешко [4–6]. Анализ современной научной литературы показал, что необходимость постоянного их совершенствования актуальна и по сей день. Так, например, морфологическое исследование электропроводников после пожара является одним из немногих методов, позволяющих не вносить физических изменений в представленный образец, однако чаще все-

го позволяет лишь определить визуальные признаки деформации, оплавления и термического воздействия, такие как изменение цвета проводов, обугливание и оплавление изоляции [7–9]. В связи с этим визуальный осмотр электропроводников в экспертной деятельности в основном применяется для выбора дальнейших исследований, позволяющих изучить микроструктуру токоведущих жил с целью определения признаков токовой перегрузки или дифференциации короткого замыкания.

Металлографический метод исследования металлических объектов в пожарно-технической экспертизе [7, 10] является одним из наиболее часто применяемых в деятельности, направленной на установление возможности возникновения пожара в результате воздействия аварийных режимов работы электропроводников. Однако серьезным недостатком этого метода является тот факт, что он приводит к разрушению объекта исследования, т. е. его использование возможно лишь при наличии соответствующего разрешения от лица, назначившего экспертизу.

Значительный прорыв в совершенствовании применения металлографии при исследовании аварийных режимов работы электропроводников после пожара совершил в 2008 г. А. Ю. Мокряк, разработав морфологический атлас микроструктур объектов, изымаемых с места пожара [11]. Во многом это позволило значительно повысить эффективность деятельности пожарно-технических экспертов при исследовании различных объектов-носителей криминалистически важной информации, в особенности при определении первичности короткого замыкания. Однако определенную трудность вызывало исследова-

ние микроструктуры электропроводников с алюминиевыми токоведущими жилами. Связано это в основном с тем, что температура плавления алюминия не превышает 660 °С и может достигаться внешним тепловым воздействием «стандартного пожара», приводя к нивелированию признаков аварийного режима работы.

Весомый вклад в развитие методов исследования алюминиевых проводников внесла А. В. Мокряк, которая в своих работах [7, 9, 12] актуализировала возможность их применения с целью установления причастности протекающих в них аварийных процессов к возникновению пожаров. На сегодняшний день эффективность и информативность металлографии при производстве пожарно-технических экспертиз не вызывает сомнения, однако реализация этого метода связана с достаточно серьезными затратами времени на проведение пробоподготовки. В действительности процесс изготовления микрошлифа для исследования одного или нескольких фрагментов токоведущих жил может длиться несколько часов, которые нередко могут быть утрачены и стать непригодными для дальнейшего применения в качестве объекта – носителя информации.

В современной научной и методической литературе [2, 13] дано описание ряда методов и методик, позволяющих устанавливать факт наличия признаков аварийных режимов работы электропроводников, не прибегая к разрушению образца. К ним можно отнести сканирующую электронную микроскопию [13, 14], позволяющую определять не только признаки электродугового процесса короткого замыкания, устанавливать условия, при которых они были сформированы, но и осуществлять поиск следов больших переходных сопротивлений.

Также в экспертной практике достаточно эффективно применяется еще один неразрушающий метод исследования — рентгеноструктурный анализ. Он позволяет идентифицировать признаки аварийного режима работы электрооборудования медных и алюминиевых проводников и дифференцировать электродуговые оплавления путем детектирования, дифрагированного от кристаллической решетки пучка рентгеновского излучения. Совершенствование указанного метода также прослеживается в работах А. В. Мокряк, А. Ю. Парийской [7, 15], причем особый интерес вызывает изучение возможности их применения не только для традиционных медных и алюминиевых токоведущих жил, но и для электропроводников, изготовленных из современных материалов, таких как омедненный алюминий [15, 16].

Таким образом, следует отметить, что инструментальные исследования электропроводников после пожара на современном этапе не теряют своей актуальности и находят широкое применение в экспертной деятельности, направленной на установление возможности возникновения пожара в результате воздействия аварийных режимов работы электрооборудования.

Выводы

Анализ современных инструментальных методов исследования электропроводников показал, что их применение в экспертной деятельности при установлении причастности к возникновению пожара аварийных режимов работы электрооборудования не теряет своей актуальности. Методики, связанные с использованием металлографии, рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микро-

скопии постоянно совершенствуются, что, безусловно, ведет к улучшению эффективности экспертного анализа электротехнических версий возникновения пожара. В то же время нельзя не отметить некоторые недостатки существующих методик, что определяет необходимость дальнейшего улучшения способов их применения в уста-

новлении причин возникновения пожара при неисправной работе электроприборов. Таким образом, применение инструментальных методов исследования электропроводников не теряет своей актуальности и остается востребованным для решения отдельных вопросов обеспечения пожарной безопасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году : информ.-аналитич. сб. Балашиха : ВНИИПО МЧС России, 2024. С. 7–9.
2. Мокряк А. Ю., Пеньков В. В., Чешко И. Д. Экспертное исследование оплавлений медных проводников, изымаемых с места пожара. М. : ЭКЦ МВД России, 2015. 80 с.
3. Квалификационные требования к сотрудникам федеральной противопожарной службы МЧС России по специальности «Судебная пожарно-техническая экспертиза». М. : ВНИИПО, 2012. 72 с.
4. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах) : учебное пособие / А. И. Колмаков [и др.]. М. : ЭКЦ МВД России, 1993. 104 с.
5. Диагностика причин разрушения металлических проводников, изъятых с мест пожаров : методические рекомендации / А. И. Колмаков [и др.]. М. : ЭКЦ МВД РФ, 1992. 32 с.
6. Исследование медных и алюминиевых проводников в зонах короткого замыкания и термического воздействия : методические рекомендации / Л. С. Митричев [и др.]. М. : ВНИИ МВД СССР, 1986. 40 с.
7. Мокряк А. В. разработка методики дифференциации повреждений алюминиевых проводов и кабелей после пожара // Научно-исследовательские публикации. 2024. № 2. С. 27–29.
8. Мокряк А. Ю., Мокряк А. В., Букаткин А. С. Морфология повреждений медных проводников при коротком замыкании // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 135–143.
9. Мокряк А. В. Морфологические особенности поврежденных при электродуговых процессах алюминиевых проводников // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 4 (60). С. 143–147. DOI: <https://doi.org/10.46548/21vek-2022-1160-0022>.
10. Мокряк А. Ю., Чешко И. Д., Бельшина Ю. Н. Металлографическое и морфологическое исследования металлических объектов судебной пожарно-технической экспертизы : учебное пособие / под общ. ред. Э. Н. Чижикова. СПб. : СПб УГПС МЧС России, 2016. 159 с.
11. Металлографический и морфологический атлас микроструктур объектов, изымаемых с мест пожаров / А. Ю. Моряк [и др.]. СПб. : ВНИИПО МЧС России, 2008. 185 с.
12. Мокряк А. В. Обзор и пожарная опасность алюминиевых проводников // Наукосфера. 2023. № 8–2. С. 67–70.

13. Экспертное исследование после пожара медных проводников: методические рекомендации / А. Ю. Мокряк [и др.]. СПб. : СПб УГПС МЧС России, 2019. 149 с.
14. Мокряк А. Ю., Мокряк А. В., Букаткин А. С. Оценка температурного воздействия на медный проводник по его микроструктуре // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 1 (57). С. 100–103.
15. Парийская А. Ю., Мокряк А. В. Исследование фазового состава омедненных алюминиевых проводников подверженных термическому воздействию методом рентгенофазового анализа // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 1 (57). С. 137–140.
16. Мокряк А. В. Особенности разрушения омедненных алюминиевых проводников при нагреве // Наукосфера. 2023. № 9 (1). С. 199–204.

REFERENCES

1. Fires and fire safety in 2023 : inform.-analyticheskiy sb. Balashikha : VNIPO MES of Russia, 2024. pp. 7–9.
2. Mokryak A. Yu., Penkov V. V., Cheshko I. D. Expert investigation of copper conductors melting, taken from the place of fire. M. ECC of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2015. 80 p.
3. Qualification requirements for employees of the federal fire department of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the specialty "Forensic fire technical expertise". M. : VNIPO, 2012. 72 p.
4. Expert examination of metal products (in cases of fires) : textbook / A. I. Kolmakov et al. M. : ECC of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1993. 104 p.
5. Diagnosis of the causes of destruction of metal conductors taken from fire scenes : methodical recommendations / A. I. Kolmakov et al. M. : ECC MVD RF, 1992. 32 p.
6. Investigation of copper and aluminum conductors in the zones of short circuit and thermal influence : methodical recommendations / L. S. Mitrichev et al. M. : VNII OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF THE USSR, 1986. 40 p.
7. Mokryak A. V. Development of the methodology of differentiation of aluminum wires and cables damage after fire // Research publications. 2024. № 2. pp. 27–29.
8. Mokryak A. Y., Mokryak A. V., Bukatkin A. S. Morphology of copper conductor damage in short-circuit // Problems of risk management in the technosphere. 2022. № 1 (61). pp. 135–143.
9. Mokryak A. V. Morphological features of aluminum conductors damaged by electric arc processes // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2022. Т. 11, № 4 (60). pp. 143–147. DOI: <https://doi.org/10.46548/21vek-2022-1160-0022>.
10. Mokryak A. Y., Cheshko I. D., Belshina Y. N. Metallographic and morphological studies of metal objects of forensic fire-technical examination : textbook / ed. by E. N. Chizhikov. SPb. : St.-Petersburg State University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2016. 159 p.
11. Metallographic and morphological atlas of microstructures of objects removed from fire scenes / A. Y. Moryak et al. SPb. : VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2008. 185 p.

12. Mokryak A. V. Review and fire hazard of the aluminum conductors // Naukosphere. 2023. № 8–2. pp. 67–70.
13. Expert examination after the fire of copper conductors: methodical recommendations / A. Yu. Mokryak et al. SPb. : St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019. 149 p.
14. Mokryak A. Y., Mokryak A. V., Bukatkin A. S. Assessment of temperature impact on the copper conductor by its microstructure // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2022. T. 11, № 1 (57). pp. 100–103.
15. Parijskaya A. Yu., Mokryak. A. V. Investigation of phase composition of copper-plated aluminum conductors subjected to thermal influence by X-ray phase analysis // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2022. T. 11, № 1 (57). pp. 137–140.
16. Mokryak A. V. Peculiarities of the copper-coated aluminum conductors destruction at heating // Naukosphere. 2023. № 9 (1). pp. 199–204.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Глухих Павел Александрович, старший преподаватель кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 814811; e-mail: glukhikhpa@uigps.ru

Ефимов Иван Александрович, канд. юрид. наук, доц., доцент кафедры надзорной деятельности и права Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 799824; e-mail: efimovia@uigps.ru

Белявский Николай Васильевич, магистрант Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22).

Головина Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры надзорной деятельности и права Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Сафронова Ирина Геннадьевна, канд. пед. наук, доцент Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 850838; e-mail: safronovaig@uigps.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pavel A. Glukhikh, Senior Lecturer, the Department of Forensic Science and Engineering and Technical Expertise Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 814811; e-mail: glukhikhpa@uigps.ru

Ivan A. Efimov, Cand. Sci. (Juridical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervisory Activity and Law Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 799824; e-mail: efimovia@uigps.ru

Nikolay V. Belyavsky, Postgraduate student of the Ural Institute of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation).

Ekaterina V. Golovina, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervisory Activity and Law Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RSC ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Irina G. Safronova, Cand. Sci. (Pedagogic), Associate Professor, Ural Institute of the State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RINC ID: 850838; e-mail: safronovaig@uigps.ru

Поступила в редакцию 07.03.2025

Одобрено после рецензирования 08.04.2025

Принята к публикации 15.06.2025