

Наука Удмуртии

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ИЗДАНИЕ
Учреждено в 2005 году.

Nauka Udmurtii
ISSN 1818-4030

УЧРЕДИТЕЛИ:
Удмуртский научный центр УрО РАН,
Удмуртская республиканская общественная организация
«Союз научных и инженерных
общественных отделений»

№ 4 (90), декабрь 2019

Журнал включен
в реферативную базу РИНЦ
договор №729-11/2015

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

А.М. Липанов,
академик РАН, председатель
научно-редакционного совета;
В.Б. Дементьев, д-р т.н., профессор,
заместитель председателя научно-редакционного совета;
И.И. Рысин, д-р геогр.н., профессор,
заместитель председателя
научно-редакционного совета;
П.Б. Акмаров, к.э.н., профессор;
В.Ю. Войтович, д-р ю.н., профессор;
Н.Г. Ильминских, д-р б.н., профессор;
В.И. Кодолов, д-р х.н., профессор;
А.И. Коршунов, д-р т.н., профессор;
А.К. Осипов, д-р э.н., профессор;
А.Л. Ураков, д-р м.н., профессор;
О.И. Шаврин, д-р т.н., профессор.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

И.И. Рысин, д-р геогр.н., профессор,
главный редактор;
А.М. Пономарев, д-р филос.н.,
зам. главного редактора;
Г.В. Гребнева, ответственный секретарь,
корректор.

Адрес редакции:
426003, Удмуртская Республика,
г. Ижевск, ул. К. Маркса, 130, к.709;
тел: (3412) 52-80-28, факс: 52-68-60.
Адрес эл. почты: v@snioo.izhnet.ru

Подписано в печать 20.12.2019.
Тираж 100 экз. Заказ №354.
Оригинал-макет подготовлен и отпечатан:
ООО «Издательство «Шелест»
Адрес: 426060, Удмуртская Республика,
г. Ижевск, ул. Энгельса, 164
тел: 8 963 548 51 43, 8 904 317 76 93
malotirazhka@mail.ru

Полное или частичное воспроизведение материалов,
содержащихся в настоящем издании,
допускается с письменного разрешения редакции.
Ссылка на журнал «Наука Удмуртии»
обязательна.

В НОМЕРЕ:

Акмаров П.Б., Алытова Е.Л., Князева О.П.
Оценка эффективности реализации целевых
программ развития села..... 4

Алексеева Н.А.
Оценка ресурсов техники
в сельскохозяйственных производственных
кооперативах..... 8

*Бадретдинова И.В., Касаткина Н.Ю.,
Касаткин В.В., Сергеев А.А.*
Математическая модель плотности
ультразвукового излучения в процессе
производства льняной тресты..... 11

Варламова Д.М., Колодкин В.М.
Категорирование помещений по пожарной
опасности в здании образовательного
учреждения..... 15

Гавшина Е.И., Касаткина Н.Ю., Касаткин В.В.
Перспективы использования облепихи
в производстве продуктов специального
назначения для людей с повышенной физической
нагрузкой, в том числе работников служб
чрезвычайных ситуаций..... 18

Дементьев В.Б., Засыткин А.Д.
О некоторых методах улучшения качества
проката в металлургии и машиностроении..... 22

Дементьев В.Б., Стерхов М.Ю., Ломаева Т.В.
О калибровке трубных заготовок винтовым
обжатием..... 27

Закирова Р.Р., Свинцова Н.Ф.
Проблемы безопасности продуктов питания..... 30

<i>Иванов А.Г., Гадлгареева Р.Р., Файзуллин М.И.</i> Обработка отходов продукции животноводства искусственной аэрацией.....	34
<i>Иванов А.Г., Закирова Р.Р., Шкляев М.В.</i> Экструдер для обработки отходов птицеводства и животноводства.....	38
<i>Игнатъев С.П.</i> Негативное влияние отходов птицеводства на окружающую среду.....	41
<i>Калентьев Е.А., Тарасов В.В.</i> Применение методов машинного обучения при прогнозировании износостойкости материалов.....	44
<i>Каракулов М.Н., Дячук Н.И.</i> Опыт использования программ для обработки растровых графических изображений в анализе работы машин и механизмов.....	49
<i>Каракулов М.Н., Идиатуллина В.Р.</i> Комплексный подход к техническому обоснованию выбора привода газораспределительной арматуры.....	52
<i>Каракулов М.Н., Пилипчук Е.О., Каракулова Е.В.</i> Метод определения скорости скольжения в зацеплении плунжерной передачи.....	55
<i>Каракулов М.Н., Сурнина Е.С., Калмыков А.И.</i> Учет контактной выносливости рабочей поверхности плунжеров при прочностном расчете передачи.....	57
<i>Касаткин В.В., Ильин А.П., Касаткина Н.Ю.</i> Пропитка древесины.....	60
<i>Касаткин В.В., Касаткина Н.Ю.</i> Направления совершенствования обучения инженерных направлений подготовки в новом времени.....	66
<i>Макарова Л.Г., Ширококов С.В., Зозуля О.В.</i> Оценка осознанности техногенных рисков разными категориями посетителей торговых центров.....	71
<i>Морозов В.И.</i> Медицинские аспекты обеспечения безопасности в условиях воздействия вредных и опасных факторов.....	76
<i>Мухина И.А.</i> Технологические факторы экономической безопасности региона.....	79
<i>Свинцова Н.Ф., Закирова Р.Р.</i> Профилактика негативного воздействия вредных производственных факторов посредством специализированных рационов питания.....	83
<i>Скворцов А.Н.</i> Исследование тепловых полей при термомеханической обработке.....	88
<i>Тарасов В.В.</i> Применение кинематической интенсификации в технологии обработки отверстий дорнованием.....	96
<i>Файзуллин М.И., Иванов А.Г.</i> Исследование микробиологии навоза в ходе аэробного компостирования.....	100

<i>Шляев А.И., Багманов А.Р., Меньшикова Е.А.</i> Критерии выбора сырья для производства волокон из силикатов природного происхождения.....	104
<i>Широбоков С.В., Русских Е.В.</i> Перспективы применения метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии в пожарно-технической экспертизе.....	111
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «НАУКА УДМУРТИИ».....	115

Широбоков С.В., Русских Е.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

Аннотация. В статье приводится описание метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Описан способ возможного применения метода РФЭС в пожарно-технической экспертизе. Приведено краткое описание основных узлов времяпролетного спектрометра, включающих рентгеновскую трубку, времяпролетный энергоанализатор и принципы их работы. Применение принципа агрегатирования элементов спектрометра позволяет упростить адаптацию метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии к решению задач в области пожарной безопасности.

Ключевые слова: рентгеновский спектрометр, рентгеновская трубка, фотоэлектронный спектр, вакуумная система, короткое замыкание, пожарно-техническая экспертиза, времяпролетный энергоанализатор.

Пожарно-техническая экспертиза при расследовании причин пожаров относится к числу первоначальных следственных действий. Экспертиза необходима в большинстве случаев для определения причины пожара. Эксперты в своей работе используют различные химические и физические методы.

Данная работа посвящена анализу перспективы использования метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) в пожарно-технической экспертизе. Метод основан на физическом явлении - внешнем фотоэффекте, суть которого состоит в том, что под действием излучения из вещества выбиваются фотоэлектроны, имеющие определенную кинетическую энергию $E_{кин}$, величина которой зависит от энергии квантов возбуждающего излучения $h\nu$ [1,2,3]. Он предназначен для исследования элементного состава, химического и электронного состояния атомов, на поверхности изучаемого материала.

Практика пожарно-технической экспертизы

Один из вопросов, на который отвечает пожарно-техническая экспертиза - каким было состояние электрической проводки на момент возгорания. Причиной возникновения пожаров может стать, в частности, короткое замыкание (КЗ) узлов электрической цепи, которое приводит к возгоранию находящихся в непосредственной близости от точки возникновения короткого замыкания контактной группы вследствие существенного локального перегрева проводника электрического тока и (или) возникновения электрической дуги.

Для инструментальной экспертизы с места пожара изымаются дефектные провода. К дефектам проводов, представляющим интерес при осмотре места пожара и потому требующим выявления и фиксации, относятся механические повреждения, повреждения, возникающие под воздействием

более легкоплавкого металла (растворение металла в металле) и оплавления.

Исследование химического состава дефектного места позволяет сделать вывод о первичном, явившемся причиной пожара, или вторичном, возникшем в результате пожара, коротком замыкании. Если электрическая дуга возникает до пожара или на начальной его стадии, то в условиях содержания в окружающей атмосфере кислорода, близкого к нормальному (первичное КЗ), в зоне оплавления медного проводника образуется преимущественно диоксид меди (Cu_2O). На стадии же развившегося пожара, при относительном недостатке кислорода и в присутствии в атмосфере окислов углерода (вторичное КЗ), в значительном количестве образуется оксид меди (CuO). В случае алюминиевой проводки известно, что при вторичном КЗ, расплавленный дугой алюминий активно взаимодействует с окислами углерода, в результате чего содержание углерода в зоне оплавления алюминия в 2-5 раз больше, чем при первичном КЗ. Существует критерий оценки первичности-вторичности КЗ на медных проводниках - величина соотношения концентрации меди и оксида меди в двух зонах - непосредственно рядом с оплавлением и на определенном расстоянии от него [4].

В испытательных пожарных лабораториях для рентгеноструктурного анализа используются в основном рентгеновские дифрактометры. Анализу подвергаются два участка изъятого на пожаре провода: непосредственно рядом с оплавлением (участок 1) и на расстоянии 30-35 мм от него (участок 2).

В обоих случаях определяется площадь дифракционных максимумов соответствующих фаз J_{Cu} и J_{Cu_2O} . Затем рассчитывается их соотношение на участке 1 и участке 2.

$$\frac{J_{Cu_2O}}{J_{CuO}} > 2 \frac{J_{Cu_2O}}{J_{CuO}} \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется, то это свидетельствует о первичном КЗ. При обратном соотношении считается, что оплавление имеет признаки вторичного КЗ. Менее существенные различия не являются достаточно надежным дифференцирующим признаком. В этом случае образцы подвергаются металлографическому исследованию.

Анализ возможностей метода РФЭС

Реализация метода РФЭС на фотоэлектронных спектрометрах позволяет проводить эксперимент от момента препарации образца до расфировки фотоэлектронного спектра и определения парциальных концентраций присутствующих на исследуемой поверхности атомов химических элементов и их соединений за 1-2 часа. Таким образом, используя метод РФЭС можно определить отношение концентраций диоксида меди к чистой меди $C[Cu_2O]/C[Cu]$ на участках 1 и 2:

$$\frac{C[Cu_2O]}{C[Cu]} > 2 \frac{C[Cu_2O]}{C[Cu]} \quad (2)$$

Условие (2) является эквивалентным условию (1) что, в свою очередь, позволяет применять данную оценку в качестве критерия для определения типа КЗ. Как уже было отмечено, в случае менее существенных различий в условии (1) или (2) необходимо проводить дополнительные исследования. Эмпирически определено, что для вторичного КЗ характерно наличие газовых пор и взрывов; при первичном КЗ они, как правило, отсутствуют. Эти данные позволяют отличить первичное и вторичное КЗ и по содержанию кислорода в меди в месте оплавления. При первичном КЗ оно составляет 0,06-0,39 %, при вторичном КЗ – менее 0,06 %. При использовании метода РФЭС определяются концентрации всех химических элементов, присутствующих в поверхностном слое исследуемого образца.

В случае алюминиевой электрической проводки метод РФЭС не имеет привилегий над методом рентгеноструктурного анализа, так как в обоих случаях для определения первичности-вторичности КЗ необходимо производить сравнительный анализ концентраций углерода на исследуемом и эталонном образцах.

В случае медной электрической проводки применение метода РФЭС позволяет одновременно определить физические величины для проверки выполнения двух условий (соотношение концентраций двуокиси меди и меди в точке возникновения КЗ и на расстоянии от нее; концентрация кислорода в месте оплавления контакта) для установления причинно-следственной связи между возникновением короткого замыкания и возгоранием электрической проводки. Применение метода РФЭС освобождает процедуру экспертизы установления первичности-вторичности КЗ от

проведения трудоемкого металлографического анализа.

Реализация метода РФЭС для установления причинно-следственной связи возникновения короткого замыкания и возгорания электрической проводки возможна на разработанном рентгеновском времяпролетном фотоэлектронном спектрометре [5].

Методика проведения эксперимента

Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии сильно чувствителен к атомарному загрязнению, и потому его невозможно реализовать без эффективной вакуумной чистки поверхности образца. В условиях сравнительно невысокого вакуума поверхность образца за короткий промежуток времени (~1с) покрывается несколькими монослоями адсорбированных частиц, которые существенно искажают фотоэлектронный спектр [6].

Возникает задача упрощения исследовательской работы для реализации экспертизы причин возгораний. Авторская идея заключается в реализации метода РФЭС в импульсном режиме получения спектров на времяпролетном энергоанализаторе.

Для регистрации спектров предлагается использовать способ импульсной регистрации спектров [7]. В данном способе поверхность образца облучается наносекундным (10^{-9} с) импульсом рентгеновского излучения и полученный при этом пучок фотоэлектронов сепарируется по энергиям во времяпролетном анализаторе. Через 20 мкс самые медленные из них достигают микроканальной пластины, используемой в качестве детектора. В результате общая продолжительность второго этапа исследовательского цикла составляет доли миллисекунды. При этом давление остаточной атмосферы в спектрометре поддерживается на уровне 10^{-9} Торр, что необходимо для стабильной работы микроканальной пластины.

Недостатком данного способа является то, что он не устраняет необходимость в механической обработке образца, прогрев и откачку исследовательской камеры до 10^{-10} – 10^{-9} Торр, что ограничивает дальнейшее сокращение продолжительности подготовительного этапа.

Авторская идея реализуется следующим образом:

После подготовки образца и помещения его в прибор проводится откачка до давления 10^{-6} Торр. Поверхность образца в течение 0,1 секунды очищается механическим скребком. Сразу после окончания чистки образец подвергается воздействию импульсов ионизирующего излучения. Чувствительность фотоэлектронного спектрометра к наличию примесей, составляющая доли монослоя, заметно не ухудшится, если длительность импульса будет не более 0,03 секунды.

В качестве источников ионизирующего излучения используется авторская рентгеновская трубка с длительностью импульса рентгеновского излучения – 10^{-10} - 10^{-3} с. [8]. Чистка образца осуществляется технологической приставкой авторской конструкции [10]. Для сепарации фотоэлектронов по энергиям используется времяпролетный энергоанализатор [9] с металлическим коллектором, обладающим развитой изохронной поверхностью. Получение спектров осуществляется с помощью времяпролетного энергоанализатора авторской конструкции. Беспольные энергоанализаторы позволяют достаточно просто установить связь между кинетической энергией электронов и временем их прилета на коллектор. Но, они не позволяют использовать большую апертуру вследствие отражения и поглощения электронов стенками пролетной трубы.

Заключение

Применение метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для решения задач пожарно-технической экспертизы является оправданным. Предложенный авторами способ адаптации рентгеновского фотоэлектронного времяпролетного спектрометра позволяет с высокой точностью и достаточно быстро определить химический состав образцов с места пожара и сделать вывод о причинно-следственной связи возникновения короткого замыкания и возгорания электрической проводки.

Приведена методика проведения эксперимента, использование метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии может позволить уменьшить экономические затраты на проведение экспертизы для выявления причин пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронная спектроскопия / К. Зигбан, К. Нордлинг, А. Фальман и др.; Пер. с англ. под ред. И. Б. Боровского. М.: Мир, 1971. 493 с.
2. Ширококов С.В. Импульсная рентгеновская трубка для 100-см рентгеноэлектронного магнитного спектрометра: Дисс. На соискание ученой степени к-та техн. наук. Ижевск: Удмуртский университет, 2004. 114 с.
3. Трапезников В.А. Новые автоматизированные магнитные спектрометры: спектрометры с технологическими приставками и манипуляторами и спектрометр для исследования расплавов. / Трапезников В.А., Шабанова И.Н., Варганов Д.В. и др.; Известия АН СССР. Сер. физическая, 1986, т. 50, № 9, С. 1677–1682.
4. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2002. 330 с.
5. Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии для установления причинно-следственной связи возникновения короткого замыкания и возгорания электрической проводки / Е. С. Корляков, Е. В. Русских, С. В. Ширококов // Предупреждение. Спасение. Помощь (современность и инновации) : материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. науч.-пед. состава и обучающихся, 9 марта 2011 г. : (сб. тез.). Химки : АГЗ МЧС России., 2011. С. 73–75.
6. Автоматизация обработки времяпролетных рентгеноэлектронных спектров, полученных в полевом пространстве. / Ширококов С.В., Ивков М.А., Русских Е.В. и др. // Актуальные проблемы экономической и социально-экономической безопасности Поволжского региона: Сб. ст. по материалам межвузовской научно-практической конференции. / Под ред. Н.Н. Даяновой. М.: РГОТУПС, 2008. С. 79–83.
7. Development of Time-of-Flight X-ray Photoelectron Spectrometer. / Harada T., Iwamoto T., Morihisa Y., etc. // Analytical sciences, 2001. Vol. 17, pp.1269–1272.
8. Пат. 2603846 Российская Федерация, МПК H01J 35/22. Рентгеновская трубка / Зозуля О.В., Русских Е. В., Ширококов С. В.
9. Анализ возможных причин искажения фотоэлектронного спектра, полученного с помощью рентгеновского времяпролетного фотоэлектронного спектрометра / Е. С. Корляков, Е. В. Русских, С. В. Ширококов // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2011. № 1. С. 94–96.
10. Адаптация рентгеновского фотоэлектронного времяпролетного спектрометра к решению задач пожарной безопасности / С. В. Ширококов, Е. В. Русских, Л. Г. Макарова и др. // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). 2017. № 4. С. 146–151.

Shirobokov S.V., Russkikh E.V.

PROSPECTS FOR USING THE X-RAY PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY METHOD IN FIRE TECHNICAL EXPERTISE

Annotation. The article describes the method of x-ray photoelectron spectroscopy. The method of possible application of the XPS method in fire-technical expertise is described. A brief description of the main nodes of the time-of-flight spectrometer, including the x-ray tube, time-of-flight energy analyzer and the principles of their operation is given. Application of the principle of aggregation of spectrometer elements allows to simplify the adaptation of the x-ray photoelectron spectroscopy method to solving problems in the field of fire safety.

Keyword X-ray spectrometer, x-ray tube, photoelectron spectrum, vacuum system, short circuit, fire-technical expertise, time-of-flight energy analyzer.

Широбоков Сергей Валентинович,
заведующий кафедрой, кандидат технических наук,
доцент, Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Удмуртский государственный университет»,
г. Ижевск, ул. Университетская, 1
Email: sergirt@mail.ru

Shirobokov Sergey Valentinovich, Head of the
Department, candidate of technical Sciences, associate
Professor, Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education «Udmurt State University»,
Izhevsk, Universitetskaya str., 1,
Email: sergirt@mail.ru

Русских Евгений Валерьевич, старший преподаватель,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Удмуртский государственный университет»,
г. Ижевск, ул. Университетская, 1
Email: rev3@list.ru

Russkikh Evgeny Valerievich, Senior Lecturer, Federal
State Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Udmurt State University», Izhevsk,
Universitetskaya str., 1,
Email: rev3@list.ru