

*Управление в социальных и
экономических системах*

*Математическое моделирование,
численные методы и комплексы
программ*

*Системы автоматизации
проектирования*

*Автоматизация и управление
технологическими процессами и
производствами*

*Методы и системы защиты
информации*

Транспорт

Управление процессами перевозок

*Эксплуатация автомобильного,
воздушного, водного транспорта*

*Строительные конструкции, здания и
сооружения*

*Основания и фундаменты, подземные
сооружения*

Строительные материалы и изделия

*Гидравлика и инженерная
гидрология*

Строительная механика

*Экологическая безопасность
строительства и городского
хозяйства*

*Технология и организация
строительства*

Архитектура зданий и сооружений

Безопасность деятельности человека

Охрана труда

*Безопасность в чрезвычайных
ситуациях*

*Пожарная и промышленная
безопасность*

Ядерная и радиационная безопасность

*Химическая, биологическая и
бактериологическая безопасность*

ISSN 2226-700X

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

**Вестник
Воронежского института
ГПС МЧС России
(Современные проблемы
гражданской защиты)**

Журнал включен в
«Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук ВАК при
Минобрнауки России»

№ 4 (25), 2017



||

**Вестник
Воронежского института
ГПС МЧС России
(Современные проблемы
гражданской защиты)**

Издается с 2011 года

Выходит 4 раза в год

Научный журнал

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Территория распространения — Российская Федерация.

Журнал индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU / РИИЦ (Россия), Международном каталоге периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory» (США), размещается на платформе научной электронной библиотеки «КиберЛенинка» (Россия).

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: Калач Андрей Владимирович, д-р хим. наук, профессор,
Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)

Члены редколлегии:

Андронов Владимир Анатольевич, д-р техн. наук, проф., Национальный университет гражданской защиты Украины (Украина, г. Харьков)

Барбин Николай Михайлович, д-р техн. наук, проф., Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Екатеринбург)

Бутман Михаил Федорович, д-р физ.-мат. наук, проф., Ивановский государственный химико-технологический университет (Россия, г. Иваново)

Валуев Николай Прохорович, д-р техн. наук, проф., Академия гражданской защиты МЧС России (Россия, г. Химки)

Дешевых Юрий Иванович, д-р техн. наук, МЧС России, Департамент надзорной деятельности (Россия, г. Москва)

Камлюк Андрей Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доц., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Минск)

Ковтун Вадим Анатольевич, д-р техн. наук, проф., Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Гомель)

Корневский Николай Алексеевич, д-р техн. наук, проф., Юго-Западный государственный университет (Россия, г. Курск)

Лопанов Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет (Россия, г. Белгород)

Манохин Вячеслав Яковлевич, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, г. Воронеж)

Меньших Валерий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, проф., Воронежский институт МВД России (Россия, г. Воронеж)

Овсяник Александр Иванович, д-р техн. наук, проф., Научно-техническое управление МЧС России (Россия, г. Москва)

Платонов Игорь Артемьевич, д-р техн. наук, проф., Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (Россия, г. Самара)

Прус Юрий Витальевич, д-р физ.-мат. наук, проф., Академия ГПС МЧС России (Россия, г. Москва)

Полевой Василий Григорьевич, канд. воен. наук, доц., Академия гражданской защиты МЧС России (Россия, г.о. Химки)

Ресснер Франк, д-р естеств. наук, проф., Ольденбургский университет (ФРГ, г. Ольденбург)

Рудаков Олег Борисович, д-р хим. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, г. Воронеж)

Sumets Pavel PhD in Engineering, The University of Auckland, New Zeland

Селеменов Владимир Федорович, д-р хим. наук, проф., Воронежский государственный университет (Россия, г. Воронеж)

Стожко Наталия Юрьевна, д-р хим. наук, проф., Уральский государственный экономический университет (Россия, г. Екатеринбург)

Сумина Елена Германовна, д-р хим. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского (Россия, г. Саратов)

Тростянский Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доц., Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина (Россия, г. Воронеж)

Федянин Виталий Иванович, д-р техн. наук, проф., Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)

Шаранов Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, г. Санкт-Петербург)

Редакторы: Дьякова Юлия Михайловна

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 94015.

Подписано в печать __.12.2017. Усл. печ. л. 11,6. Тираж 500 экз. Заказ №70.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-56856 от 29.01.2014.

Адрес редакции: 394052, г. Воронеж, ул. Красная, д. 231, ком. 1214;
тел.: (473) 242-12-63; e-mail: vestnik_vi_gps@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Управление в социальных и экономических системах.....	9
Математическая формализация общей научной концепции детерминированного процесса пожаротушения мобильными средствами <i>Денисов А.Н.</i>	9
Принципы оптимизации для оценки состояний безопасного и устойчивого (антикризисного) развития экономически важных и экологически опасных объектов <i>Жидко Е.А., Леонов П.М.</i>	15
О разработке специального программного обеспечения для автоматизации административно-управленческих функций руководства пожарно-спасательных подразделений <i>Малютин О.С.</i>	24
Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.....	35
.	
Применение методов математического моделирования для оценки эффективности функционирования поста РХБ-наблюдения в системе МЧС России <i>Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б.</i>	35
Моделирование паводковой ситуации на территории Тамбовской области <i>Швецова О.Ф., Кочегаров А.В., Воронин М.А.</i>	40
Транспорт.....	45
Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей <i>Короткевич С.Г., Ковтун В.А.</i>	45
Подъемно-транспортное оборудование в технологии ремонта и обслуживания пожарной техники <i>Печурин А.А., Брусянин Д.В., Ситников А.И., Куприенко П.С.</i>	52
Диагностирование дизелей пожарной техники по соотношению концентраций продуктов изнашивания в моторном масле <i>Скрипка А.В., Брусянин Д.В., Ситников А.И., Куприенко П.С.</i>	56
Ствол для тушения торфяных пожаров	

<i>Широбоков С.В., Скоробогатова Р.И., Садриев Р.И., Загуменов С.Ю.....</i>	60
БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА.....	64
Исследование огнетушащей эффективности прямых микроэмульсий, содержащих ингибиторы горения 1,2-дибромтетрафторэтан и 2-иодгептафторпропан <i>Батов Д.В., Мочалова Т.А., Сторонкина О.Е.....</i>	64
Экспериментальное определение и расчет температур вспышки бинарных (1-деканол – н-декан) и тройных (1-деканол – н-декан – метилизобутилкетон) смесей <i>Батов Д.В., Мочалова Т.А., Сторонкина О.Е.....</i>	70
Загорание утечек бытового газа, инициированное электрическими аварийными режимами <i>Чешко И.Д., А.С. Смирнов, Тумановский А.А.....</i>	77
Способ получения полимерного композитного материала с инкапсулированными углеродными нанотрубками методом электроформования <i>Шутова А.Г., Соловых С.Н.....</i>	87
Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	93
Актуальные проблемы обеспечения безопасности технологических процессов и производств для предупреждения техногенных чрезвычайных ситуаций <i>Федоров А.В., Бармашев В.А., Марков В.Н., Тагиев Ш.К.....</i>	93
Разработка и применение специализированных информационно-обучающих порталов <i>Кузьмина Т.А., Бобров А.И., Степанов И.М., Кузьмин А.А.....</i>	101
Обобщённый анализ и методы управления рисками чрезвычайных ситуаций <i>Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б.....</i>	106
Особенности оказания медицинской помощи пострадавшим при пожарах на территории воронежской области <i>Сапронов Г.И., Склярва Т.П., Полубояринов П.А.....</i>	113
Пожарная и промышленная безопасность.....	117
Повышение взрывобезопасности окрасочных камер <i>Гавриленков А.М., Каргашилов Д.В., Потапова С.О.....</i>	117
О перспективах создания автономных источников электропитания радиотехнических устройств с использованием электрохимических систем на основе структурированных тонких пленок алюминия	

<i>Жуков М.М., Кудряш В.И., Шалимов Ю.Н., Мальцев А.В.....</i>	121
Пожары на нефтеперерабатывающих заводах и анализ их последствий <i>Мальцев А.В., Кочегаров А.В., Зубков Д.В.....</i>	128
Моделирование процесса функционирования экстренных оперативных служб в рамках системы-112 <i>Мальцев А.В., Шокаров А.А., Дзгоев А.Р.....</i>	132
Расчет режимов прогрева несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса в условиях внутреннего пожара с применением программного комплекса ELCUT 6.2 <i>Минкин Д.Ю., Кузьмин А.А., Романов Н.Н., Минкин Д.А.....</i>	136
Адаптация рентгеновского фотоэлектронного времяпролётного спектрометра к решению задач пожарной безопасности <i>Широбоков С.В., Русских Е.В., Макарова Л.Г., Кулагин А.В., Булдакова Т.В...</i>	146
Методы и системы защиты информации.....	152
Анализ патентно-ассоциированных документов в мире по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров (2005–2014 гг.) <i>Евдокимов В.И., Горячкина Т.Г., Эриванцева Т.Н.....</i>	152
Охрана труда.....	163
Магнитожидкостный амортизатор для гашения колебаний <i>Колбашов М.А., Сизов А.П., Еловский В.С., Комельков В.А., Бочкарев А.Н.</i>	163
Оценка дисперсного и элементного состава пыли при обработке отливок на участках дробеструйных аппаратов и выбивных решеток <i>Манохин В.Я., Головина Е.И., Иванова И.А.....</i>	167
Химическая, биологическая и бактериологическая безопасность.....	172
Результаты исследований свойств волокнистого полуфабриката для производства трудновоспламеняемых древесноволокнистых плит <i>Иванов Д.В., Петрушева Н.А., Алашкевич Ю.Д.....</i>	172
Учет неизотермичности течения вязкой среды при моделировании на основе вариационных принципов аналитической механики потокораспределения в гидравлических системах с присоединенными устройствами пожаротушения <i>Сазонова С.А., Сушко Е.А., Николенко С.Д.....</i>	179
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ.....	185

CONTENTS

Management in social and economic systems.....	9
Mathematical formalization of the general scientific concept of the deterministic fire-fighting process by mobile means <i>Denisov A.N.</i>	9
Principles of optimization for assessing the states of safe and sustainable (anti-crisis) development of economically important and environmentally hazardous facilities <i>Zhidko E.A., Leonov P.M.</i>	15
On the development of special software for the automation of administrative and management functions of the management of fire and rescue units <i>Malyutin O.S.</i>	24
Mathematical modeling, numerical methods and program complexes.....	35
Application of mathematical modeling methods to assess the effectiveness of the operation of the RCB surveillance post in the EMERCOM of Russia system <i>Kamenetskaya N.V., Medvedeva O.M., Hitov S.B.</i>	35
Modeling of the flood situation in the Tambov region <i>Shvetsova O.F., Kochegarov A.V., Voronin M.A.</i>	40
Transport.....	45
Investigation of the stress-strain state of the construction of tanks of fire trucks <i>Korotkevich S.G., Kovtun V.A.</i>	45
Hoisting-and-conveying equipment in the technology of repair and maintenance of fire equipment <i>Pechurin A.A., Brusyanin D.V., Sitnikov A.I., Kuprienko P.S.</i>	52
Diagnosis of diesel engines by the ratio of the concentration of wear products in engine oil <i>Skripka A.V., Brusyanin D.V., Sitnikov A.I., Kuprienko P.S.</i>	56
Trunk for suppression of the peat fires <i>Shirobokov S.V., Skorobogatova R.I., Sadriev R.I., Zagumenov S.Yu</i>	60
Safety of human activities.....	64

Investigation of the fire-extinguishing efficiency of direct microemulsions containing flame retardants 1,2-dibromotetrafluoroethane and 2-iodoheptafluoropropane <i>Batov D.V., Mochalova T.A., Storonkina O.E.</i>	64
Experimental determination and calculation of flash points of binary (1-decanol-n-decane) and ternary (1-decanol-n-decane-methylisobutyl ketone) mixtures <i>Batov D.V., Mochalova T.A., Storonkina O.E.</i>	70
Heating of household gas leaks triggered by electrical emergency conditions <i>Cheshko I.D., A.S. Smirnov, Tumanovsky A.A.</i>	77
Method for the preparation of a polymer composite material with encapsulated carbon nanotubes by the method of electromaking <i>Shutova A.G., Solovy S.N.</i>	87
Safety in emergency situations	93
Actual problems of ensuring the safety of technological processes and industries to prevent man-made emergencies <i>Fedorov A.V., Barmashev V.A., Markov V.N., Tagiev Sh.K.</i>	93
Development and application of specialized information and training portals <i>Kuzmina T.A., Bobrov A.I., Stepanov I.M., Kuzmin A.A.</i>	101
Generalized analysis and methods of emergency risk management <i>Raimbekov K.Zh., Kusainov A.B.</i>	106
Features of rendering medical care to victims in fires in the Voronezh region <i>Sapronov G.I., Sklyarova T.P., Poluboyarinov P.A.</i>	113
Fire and industrial safety	117
Increase explosion safety of paint chambers <i>Gavrilentov A.M., Kargashilov D.V., Potapova S.O.</i>	117
On the prospects of creating autonomous power supplies for radio engineering devices using electrochemical systems based on structured thin aluminum films <i>Zhukov M.M., Kudryash V.I., Shalimov Yu.N., Maltsev A.V.</i>	121
Fires in oil refineries and analysis of their consequences <i>Maltsev A.V., Kochegarov AV, Zubkov DV</i>	128

Modeling the process of functioning of emergency operational services within the system-112 <i>Maltsev A.V., Shokarov A.A., Dzgoev A.R</i>	132
Calculation of the modes of heating of load-bearing structures of oil and gas complex objects in the conditions of internal fire with the use of the program complex ELCUT 6.2 <i>Minkin D.Yu., Kuzmin AA, Romanov NN, Minkin D.A.</i>	136
Adaptation of the X-ray photoelectron time-of-flight spectrometer to solving fire safety problems <i>Shirobokov S.V., Russkikh E.V., Makarova L.G., Kulagin A.V., Buldakova T.V...</i>	146
Methods and systems of information security	152
Analysis of patent-associated documents in the world for the prevention and liquidation of emergencies and fires (2005-2014) <i>Evdokimov V.I., Goryachkina T.G, Erivantseva T.N</i>	152
Occupational Safety and Health	163
Magneto-liquid shock absorber for vibration damping <i>Kolbashov M.A., Sizov A.P., Elovskiy V.S., Komelkov V.A., Bochkarev A.N</i>	163
Evaluation of the dispersed and elemental composition of dust in the processing of castings on sections of shot blasting machines and knockout gratings <i>Manokhin V.Ya., Golovina E.I., Ivanova I.A.</i>	167
Chemical, biological and bacteriological safety	172
Results of studies of the properties of a fibrous semifinished product for the production of flame-retardant fibreboard slabs <i>Ivanov D.V., Petrusheva N.A., Alashkevich Yu.D</i>	172
The account of non-isothermicity of viscous environment visibility by modeling based on variational principles of the analytical mechanics of flow determination in hydraulic systems with accelerated fire extinguishing devices <i>Sazonova S.A., Sushko E.A., Nikolenko S.D</i>	179
GUIDELINES FOR AUTHORS	185

АДАПТАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО ВРЕМЯПРОЛЁТНОГО СПЕКТРОМЕТРА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С.В. Ширококов, Е.В. Русских, Л.Г. Макарова, А.В. Кулагин, Т.В. Булдакова

В данной статье приводится описание метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Описан способ адаптации рентгеновского фотоэлектронного времяпролетного спектрометра авторской конструкции к решению задач пожарной безопасности. Приведено краткое описание основных узлов времяпролетного спектрометра, включающих рентгеновскую трубку, времяпролетный энергоанализатор, технологическую приставку чистки образца в условиях вакуума и принципов их работы. Применение принципа агрегатирования элементов спектрометра позволяет улучшить характеристики прибора и упрощает адаптацию метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии к решению задач в области пожарно-технической экспертизы.

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

При расследовании причин пожаров назначение пожарно-технической экспертизы относится к числу первоначальных следственных действий, поскольку ее производство нередко связано с экспертным осмотром места пожара и необходимостью быстрого исследования некоторых объектов. Указанная экспертиза требуется в подавляющем большинстве случаев, особенно когда причина пожара неизвестна. Эксперты в своей работе используют различные химические и физические методы. Среди методов, нашедших широкое применение в различных областях, - метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). 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].

Способы исследования твердых тел продуктов горения.

Одной из возможных причин возникновения пожаров является короткое замыкание (КЗ) узлов электрической цепи, которое приводит к возгоранию находящейся в непосредственной близости от точки возникновения короткого замыкания контактной группы вследствие существенного локального перегрева проводника электрического тока и (или) возникновения электрической дуги.

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 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 изъятые 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.

Применение метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

Реализация метода РФЭС на фотоэлектронных спектрометрах позволяет

проводить эксперимент от момента препарации образца до расшифровки 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

Получение высокого и сверхвысокого вакуума довольно длительный, энергозатратный процесс, проведение эксперимента по исследованию образцов и подготовительные к

эксперименту операции для рентгеновского фотоэлектронного спектрометра требуют высокой квалификации узконаправленного специалиста. 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 ($\sim 1c$) 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 источника ионизирующего излучения используется авторская рентгеновская трубка с длительностью импульса рентгеновского излучения - $10^{-10} - 10^{-3}$ с. [8] Чистка образца осуществляется технологической приставкой, описанной далее. 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. Во времяпролетных энергоанализаторах с беспольным пространством время пролета фотоэлектронов рассчитывается по формуле

$$T = 1.69 * 10^{-6} * E^{-1/2} \quad (3)$$

где E – кинетическая энергия фотоэлектронов измеряется в электрон-вольтах, а пролетная база равна 1 м. Фотоэлектроны, обладающие энергией от 0 до 1000 эВ, прилетают на коллектор во временном интервале

$$T = (1.69 \div 0.053) * 10^{-6} \text{ с}$$

Таким образом, 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.

На рисунке 1 схематически представлены основные компоненты энергоанализатора, не содержащего указанного недостатка. В нем образец и коллектор находятся под одинаковым потенциалом, отличным от потенциала стенки пролетной трубы при такой конфигурации потенциалов электроны не поглощаются стенками прибора [6].

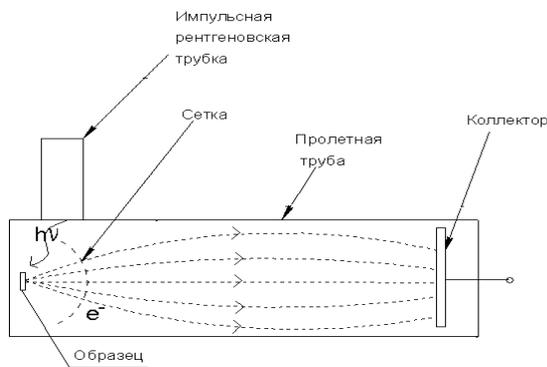


Рис. 1. Схема рентгеновского фотоэлектронного времяпролетного спектрометра с полемым пространством

Рентгеновская трубка.

На рисунке 2 приведен схематичный вид рентгеновской трубки в разрезе. Внутри кожуха 1 размещен анод 2, имеющий углубление в виде сферического пояса на внутренней стороне, катод в виде кольца 3, помещенный в торроидальный, прямоугольного сечения, бокс 4, напротив образцедержателя 5, внутри которого на керамическом изоляторе зафиксирован образец 6. Образцедержатель закреплен металлическими винтами через керамические трубчатые изоляторы 7 внутри анода.

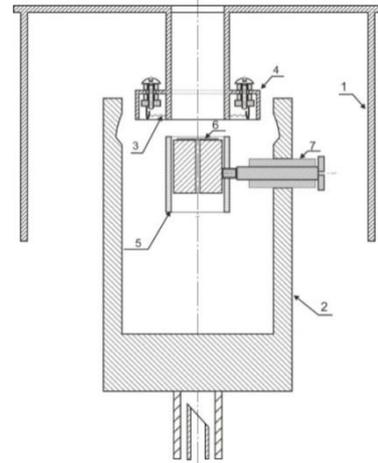


Рис. 2. Схематичное изображение рентгеновской трубки в разрезе: 1 – кожух; 2 – анод; 3 – катод в виде кольца; 4 – торроидальный бокс прямоугольного сечения; 5 – образцедержатель; 6 – образец; 7 – керамические трубчатые изоляторы

Рентгеновская трубка работает следующим образом. Электроны, испускаемые катодом в результате термоэмиссии, ускоряются электростатическим полем и, бомбардируя анод 2, вызывают как характеристическое, так и тормозное излучение. Основная часть тормозного излучения отсекается щелью, созданной образцедержателем и боксом катода, в то время как большая часть характеристического излучения проходит через эту щель и, благодаря особой геометрии углубления на внутренней поверхности анода, направляется на образец. При этом образцедержатель и бокс катода предотвращают движение фотоэлектронов образца на анод, экранируя электростатическое поле анода, не уменьшая тем самым регистрируемый фототок с поверхности образца. Особенность формы поверхности анода, взаимное расположение образцедержателя и бокса катода обеспечивают повышение интенсивности характеристического излучения, направленного на образец, а также уменьшению фонового тока [9].

Технологическая приставка

Основное назначение технологической приставки – фиксация образца с последующей периодической чисткой его поверхности.

Устройство технологической приставки схематично приведено на рисунке 3. Вся конструкция помещается внутри цилиндрического анода и крепится к образцедержателю (см. элемент 5 на рисунке 2). Твёрдосплавный резец (1) приводится во вращение посредством стержня (2) и спаренного кардана (5), состоящих из нержавеющей стали 9Х18Н10Т. Среднее звено изготовлено из керамики для электрической развязки корпуса вакуумной камеры и образца. Ввод вращения в вакуумную камеру производится через фторопластовое уплотнение. Образец (3) фиксируется полый развальцованной трубкой из меди, которая создаёт пару трения с нержавеющей сталью с коэффициентом трения 0,3. К трубке прикреплено устройство для подачи напряжения – высоковольтный коннектор (4).

Использование предложенного способа позволяет уменьшить время анализа на

фотоэлектронном спектрометре до 60 минут без ухудшения спектральных характеристик [9].

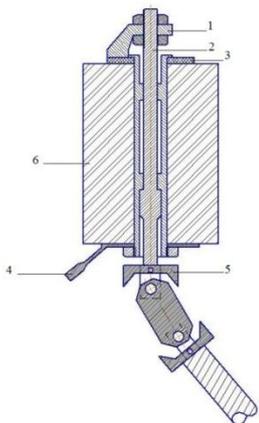


Рис. 3. Схематическое изображение технологической приставки: 1 - твердосплавный резец; 2- стальной стержень; 3- образец; 4- высоковольтный коннектор; 5- двойной (спаренный) кардан; 6- керамический изолятор

Библиография

1. Зигбан К. 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 (Обзорная глава): Дисс. ... к-та техн. наук: 01.04.01: защищена 27.12.03: утв. 14.05.04 / Ширококов Сергей Валентинович. - 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 / И.Д. Чешко – 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.

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 выявить химический состав образцов с места пожара и определить причинно-следственные 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.

References

1. Zigban K. EHlektronnaya spektroskopiya / K. Zigban, K. Nordling, A. Fal'man, i dr.; Per. s angl. pod red. I.B. Borovskogo. – М.: Mir, 1971. – 493 s.
2. SHirobokov S.V. Impul'snaya rentgenovskaya trubka dlya 100-sm rentgenoehlektronnogo magnitnogo spektrometra (Obzornaya glava): Diss. ... k-ta tekhn. nauk: 01.04.01: zashchishchena 27.12.03: utv. 14.05.04 / SHirobokov Sergej Valentinovich. - Izhevsk, Udmurtskij universitet, 2004. - 114 s.
3. Trapeznikov V.A. Novye avtomatizirovannye magnitnye spektrometry: spektrometry s tekhnologicheskimi pristavkami i manipulyatorami i spektrometr dlya issledovaniya rasplavov. / Trapeznikov V.A., SHabanova I.N., Varganov D.V. i dr.; - Izvestiya AN SSSR. Ser. fizicheskaya, 1986, t.50, №9, s.1677-1682.
4. CHeshko I.D. Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov: metod. posobie / I.D. CHeshko – М.: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2002. – 330 s.
5. Metod rentgenovskoj fotoehlektronnoj spektroskopii dlya ustanovleniya prichinno-sledstvennoj svyazi vozniknoveniya korotkogo zamykaniya i vozgoraniya ehlektricheskoy provodki / E.S. Korlyakov, E.V. Russkih, S.V. SHirobokov // Preduprezhdenie. Spasenie. Pomoshch' (sovremennost' i innovacii): materialy XXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. nauch.-ped. sostava i obuchayushchihya, 9 marta 2011 g.: (sb. tez.). - Himki: AGZ MCHS Rossii. 2011. - S. 73-75.
6. Avtomatizaciya obrabotki vremyaproletnyh rentgenoelektronnyh spektrov, poluchennyh v polevom prostranstve. / SHirobokov S.V., Ivkov M.A., Russkih E.V. i dr. // Aktual'nye problemy ehkonomicheskoy i social'no-ehkonomicheskoy bezopasnosti Povolzhskogo regiona: Sb. st. po materialam mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. / Pod red. N.N. Dayanovoj. – М.: RGOTUPS, 2008. - S. 79-83.
7. Harada T., 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. Pat. 2603846 Rossijskaya Federaciya, MPK H01J 35/22. Rentgenovskaya trubka / Zozulya O.V., Russkih

7. Harada T., 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. заявитель и патентообладатель ООО «ИжРapid». - 2015124995/07 заявл. 24.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.

9. Корляков Е.С. 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.

Е. В., Ширококов С. В. заявитель и патентообладатель ООО «ИжРapid». - 2015124995/07 заявл. 24.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34.

9. Korlyakov E.S. Analiz vozmozhnyh prichin iskazheniya fotoelektronnoy spektra, poluchennogo s pomoshch'yu rentgenovskogo vremyaproletnogo fotoelektronnoy spektrometra / E.S. Korlyakov, E.V. Russkikh, S.V. SHirobokov // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2011. - № 1. - S. 94-96.

ADAPTATION OF THE X-RAY PHOTOELECTRONIC TIME-OF-FLIGHT SPECTROMETER FOR THE SOLUTION OF FIRE SAFETY OBJECTIVES

This article describes the method of X-ray photoelectron spectroscopy. The method of adaptation of the X-ray photoelectron time-of-flight spectrometer of the author's design to solving fire safety problems is described. A brief description of the main components of the time-of-flight spectrometer, including an X-ray tube, a time-of-flight energy analyzer, a technological attachment for cleaning a sample under vacuum conditions and the principles of their operation are given. The application of the principle of aggregation of the elements of the spectrometer makes it possible to improve the characteristics of the instrument and simplifies the adaptation of the method of X-ray photoelectron spectroscopy to solving problems in the field of fire and technical expertise.

Keywords: *x-ray spectrometer, X-ray tube, photoelectron spectrum, vacuum system, short circuit, fire-technical examination, time-of-flight energy analyzer*

Ширококов Сергей Валентинович,

*к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой,
Удмуртский государственный университет,
Россия, г. Ижевск,
тел. 89127636113,
e-mail: sergirt@mail.ru,
Shirobokov S.V.,
Ph.D., Associate Professor,
Head of the Department,
Udmurt State University,
Russia, Izhevsk.*

Русских Евгений Валерьевич,

*Старший преподаватель,
Удмуртский государственный университет,
Россия, г. Ижевск,
тел. 89127527654,
e-mail: rev3@list.ru,
Russkikh E.V.,
Senior Lecturer,
Udmurt State University,
Russia, Izhevsk.*

Макарова Людмила Геннадьевна,

к.ф.-м.н., доцент,

*Удмуртский государственный университет,
Россия, г. Ижевск,
тел. 89501771601,
e-mail: lyuda_izh@mail.ru
Makarova L.G.,
Ph.D.,
Udmurt State University,
Russia, Izhevsk.*

***Кулагин Андрей Владимирович,**
к.т.н., доцент,
Удмуртский государственный университет,
Россия, г. Ижевск,
тел. 89199065795,
e-mail: rekfuby2@rambler.ru
Kulagin A.V.,
Ph.D.,
Udmurt State University,
Russia, Izhevsk.*

***Булдакова Татьяна Владимировна,**
Удмуртский государственный университет,
Россия, г. Ижевск,
тел. 89120550252,
e-mail: tatjanka-18@mail.ru
Buldakova T.V.,
Udmurt State University,
Russia, Izhevsk.*