

УДК 614.84:621.313

МОДЕЛЬ ИНТЕРНЕТ-СИСТЕМЫ ТЕРМОЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Белозеров В.В., Кальченко И.Е., Прус Ю.В.

Научный производственно-технологический центр ОКТАЭДР, Академия государственной противопожарной службы МЧС РФ, E-mail: octaedr@list.ru, prus.yurii@gmail.com

Предложена концепция мониторинга эксплуатационной устойчивости материалов и огнезащитных покрытий на основе метода их термоэлектроакустической диагностики. Статистика по Югу России за последние 30 лет свидетельствует, что пожары и социально-экономические потери от них неуклонно возрастают, в том числе независимо от смены в 2002 году ведомственной принадлежности государственной противопожарной службы. Утверждается, что существующие международные и национальные стандарты, а также методические и нормативные материалы устанавливают качественные методы и средства определения надежности, долговечности, устойчивости, старения и горючести веществ и материалов, не позволяют количественно оценивать опасность изделий из них, оборудования, транспортно-энергетических средств и систем, объектов, зданий и сооружений, что требует разработки и применения новых методов и средств диагностики и контроля. В частности, разработана модель макросистемы, реализующей предлагаемую концепцию, состоящую из трех систем – испытательной, контрольной и информационной, и приведены структуры и алгоритмы функционирования каждой системы, подтверждающие возможность реализации предлагаемой концепции. Показаны большие потенциальные возможности реализации предлагаемой концепции в области унификации надзора за безопасностью объектов.

Ключевые слова: термоэлектроакустическая диагностика, система, устойчивость материалов, надежность, безопасность, огнезащитные покрытия.

MODEL OF INTERNET SYSTEM OF THERMOELECTRO-ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF MATERIALS AND FIREPROOF COVERINGS

Belozеров V.V., Kalchenko I.E., Prus Y.V.

*Scientific industrial and technological center OCTAEDR, State fire Academy of Emercom of Russia
E-mail: octaedr@list.ru, prus.yurii@gmail.com*

The concept of monitoring of operational stability of materials and fireproof coverings on the basis of a method of their thermoelectro-acoustic diagnostics is offered. The statistics on the South of Russia for the last 30 years testifies that fires and social and economic losses of them steadily increase, irrespective of change in 2002 of departmental accessory of the state fire service. It is claimed that existing international and national standards, and also methodical and standard materials, establish qualitative methods and means of determination of reliability, durability, stability, aging and combustibility of substances and the materials, not allowing quantitatively to estimate danger of products from them, the equipment, transport and power means and systems, objects, buildings and constructions, it is demand of development and application of new methods and diagnostic aids and control. In particular, the model of the macrosystem realizing the offered concept, consisting of three systems – test is developed, control and information and structures and algorithms of functioning of each system, implementation of the offered concept confirming possibility are given. Great potential opportunities for the offered concept in the field of unification of control of safety of objects are shown.

Keywords: thermoelectro-acoustic diagnostics, system, stability of materials, reliability, safety, fireproof coverings

Основная проблема пожарной безопасности техносферы заключается в том, что существующие международные и национальные стандарты, а также методические и нормативные материалы устанавливают качественные методы и средства определения надежности, долговечности, устойчивости, старения и горючести веществ и материалов, не позволяющие количественно оценивать опасность изделий из них, оборудования,

транспортно-энергетических средств и систем, объектов, зданий и сооружений, что требует разработки и применения новых методов и средств диагностики и контроля [1].

В то же время и в производстве, и в быту не во всех случаях удастся использовать пожаровзрывобезопасные материалы и изделия. Поэтому получил широкое распространение метод обработки материалов и изделий из них специальными средствами – огнезащитными покрытиями (ОЗП), обеспечивающими защиту от опасных факторов пожара [2], а также от эксплуатационных воздействий (влаги, температуры и т.д.).

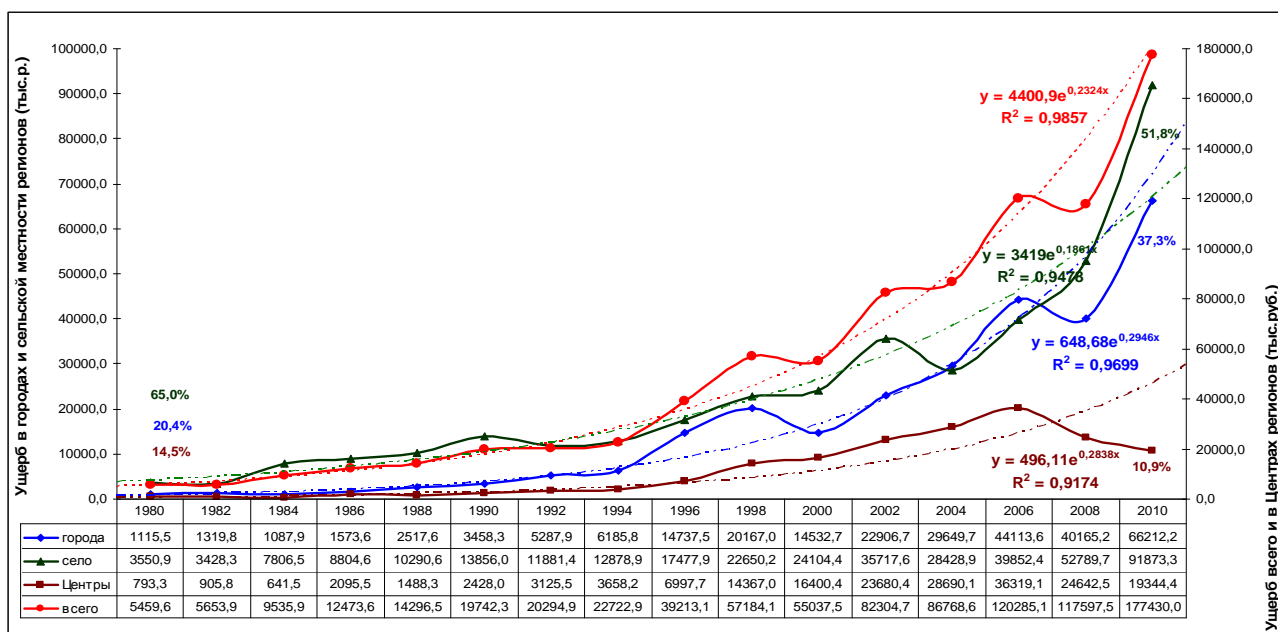
Однако существующие методы и средства испытаний ОЗП не унифицированы (НПБ 236-97 ОЗП – для стальных конструкций; НПБ 251-98 ОЗП – для древесины; НПБ 238-97 ОЗП – для кабелей и т.д.), а также не дают необходимых характеристик для объективной оценки изменений пожарной опасности защищаемых материалов и изделий [1], что создает трудности, например, в оценке пожарной опасности объектов и расчете деклараций о пожарной опасности, сводя на нет их объективность и достоверность [3].

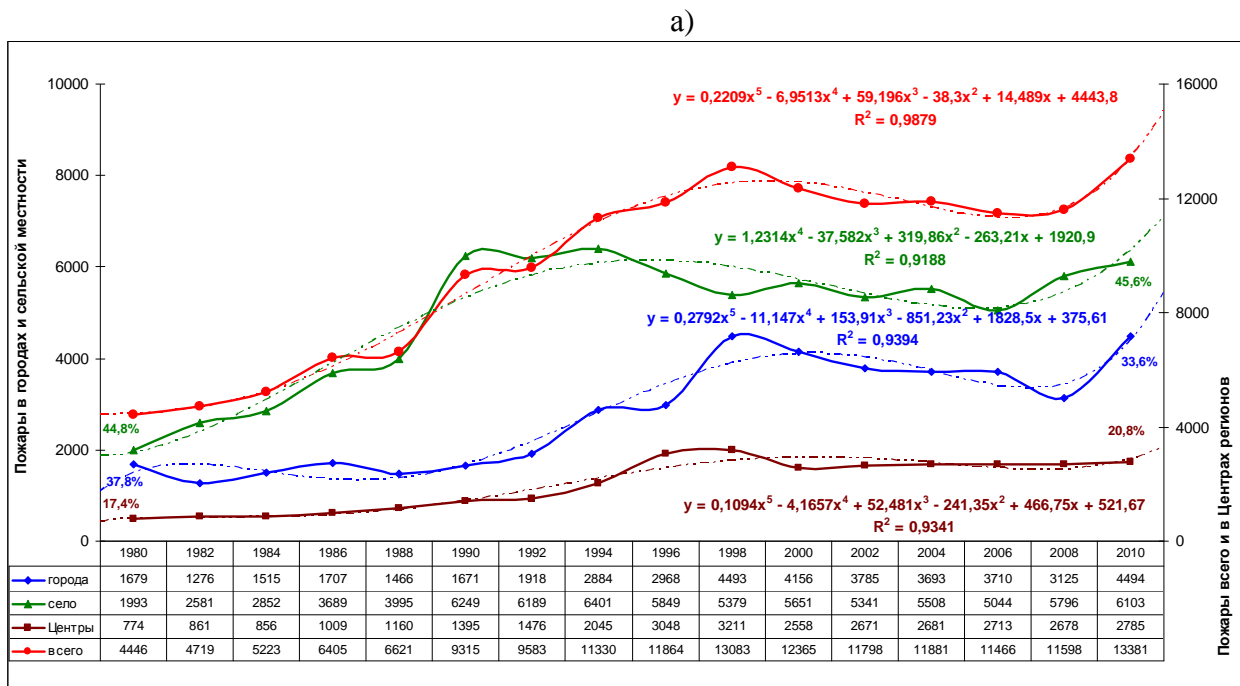
Состояние проблемы

Актуальность проблемы сокращения потерь общества от пожаров очевидна, а Российская статистика из года в год фиксирует тот факт, что на протяжении последних десятков лет пожары и социально-экономические потери от них неуклонно возрастают (рис. 1 «а» и «б»), независимо от смены (МВД на МЧС) в 2002 году ведомственной принадлежности государственной противопожарной службы [4].

В нашей стране ежедневно, *каждые 15 минут погибает или травмируется в пожаре 1 россиянин*. «Мировая картина ещё более мрачная» – *погибает или травмируется в пожарах 1 житель планеты каждые 2 минуты*, т.е. получается, что каждый 8-й пострадавший в пожарах – из России.

По Югу России за последние 30 лет получены следующие результаты (рис. 1):





б)

Рис. 1. Пожары и ущерб в Ростовском, Краснодарском и Ставропольском регионах.

- в течение года, в среднем, **пожар возникает каждые 40 минут**,
- **в каждом пожаре, в среднем, уничтожается 4,5 кв. м. и повреждается 10,7 кв. м. жилых и производственных площадей**,
- **каждые 40 минут возникает прямой материальный ущерб в 9,5 тыс. руб., а косвенный – 54,3 тыс. руб., что составляет – 1,5 тыс. руб. в минуту**,
- **в каждом 6-м пожаре, т.е. каждые 4 часа, погибает или травмируется 1 житель Юга России.**

Это происходит, на наш взгляд, потому, что до настоящего времени проблемами пожарной безопасности жизнедеятельности в России занимались в основном сами пожарные, т.е. МВД РФ, а с 2002 года – МЧС РФ, практически не привлекая к решению «пожарных проблем» Академический и ВУЗовский научный потенциал (достаточно взглянуть на списки разработчиков основных «пожарных» стандартов: 12.1.004, 12.1.044 и новых НПБ). Мало чем отличаются в этом от Российских международные и национальные методы, средства и стандарты других стран. Именно поэтому, несмотря на «богатый опыт» страхования за рубежом, в т.ч. противопожарного, все мировое сообщество «продолжает сжигать в пожарах, произведенные публичные, коллективные и частные блага», периодически направляя своим Президентам доклады [1]: «Горящая Америка» (США, 1973 г.), «Горящая Россия» (РФ, 1991 г.).

Результаты статистического анализа профилактируемых и непрофилактируемых причин пожаров в городах и селах Юга России (Ростовская область, Краснодарский и

Ставропольский края) за последние десятилетия (рис. 1) показали, что **существующая система управления пожарной безопасностью достигла «насыщения»** и, релаксируя вблизи установившихся трендов (рис.2), не может остановить рост числа пожаров и социально-экономических потерь от них [1, 4].

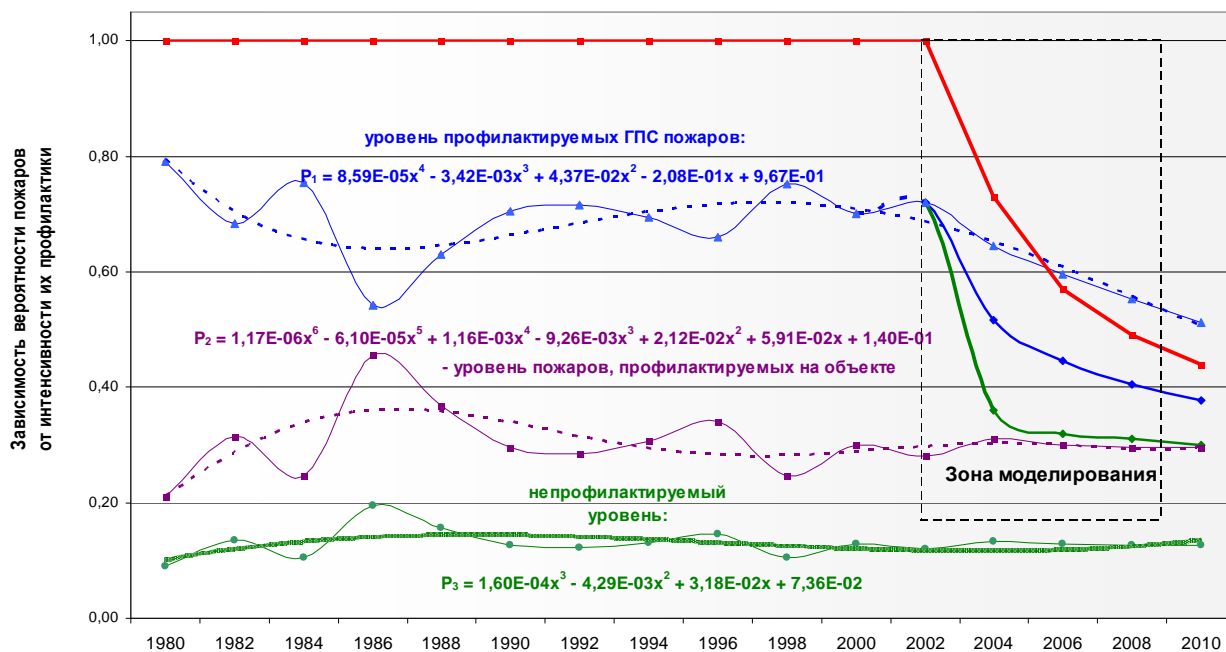


Рис. 2. Релаксация профилируемых и непрофилируемых пожаров

Следовательно, «международный огневой опыт» не может помочь возрождающейся России ни в области профилактики пожаров, ни в области противопожарной защиты и обороны от них.

Цель и методы синтеза модели

Предлагаемая модель Интернет-системы термоэлектроакустической диагностики огнезащиты и материалов (ИС ТЭАДОМ) позволит, по нашему мнению, «развязать» образовавшийся «клубок противоречий».

Макросистема ТЭАДОМ будет являться автоматизированной лабораторно-оперативной Интернет-системой, состоящей из 3-х отдельных, но функционально связанных систем – *испытательной, контрольной и информационной*.

Испытательная система будет состоять из лабораторных установок «ОКТАЭДР», которые дополняются модифицированным тиглем-термоэлектродилатометром, Для исследований и испытаний жидких и вязких материалов, включая ОЗП, и используются в Испытательных пожарных лабораториях (ИПЛ) МЧС России и Центрах сертификации и метрологии (ЦСМ) Ростехрегулирования.

Контрольная система будет состоять из переносных приборов ТЭА-диагностики, которые с помощью ТЭА-зондов позволят измерять, обрабатывать и осуществлять на

компьютере или ноутбуке, подключаемых через стандартный порт (С2, USB и т.д.), диагностику состояния материалов и ОЗП в условиях эксплуатации на объектах.

Информационная система будет состоять из серверов и сайтов (ВНИИПО и Академии ГПС) с банком ТЭА-данных веществ и материалов, наполняемых ВНИИПО, ИПЛ и ЦСМ, и базой данных текущей ТЭА-диагностики ОЗП на объектах, наполняемых в «on-line» режиме через указанный сайт объектами и органами надзора.

Результаты исследований и их обсуждение



1 – файл-сервер (ФС); 2 – гравиакустико-электрометрический модуль (ГАЭМ); 3 – предметный стол (ПС); 4 – измеритель иммитанса E7-20; 5 – модифицированный термокриостат-электропечь (МТКСЭ); 6 – измеритель иммитанса E7-20; 7 – модули управления МТКСЭ, РКТХ, компрессором и форвакуумным насосом (МКУБ); 8 – ИК фурье спектрометр «ФТ-801»; 9 – 1-й монитор ФС; 10 – цветной принтер; 11 – мастер-модуль М902Е МФК «TREI-5B-05»; 12 – монитор рабочей станции (РС); 13 – 2-й монитор ФС; 14 – рабочая станция (РС); 15 – реверсивный контур тепла/холода (РКТХ); 16 – форвакуумный насос; 17 – компрессор; 18 – рабочее место оператора с клавиатурой и мышью.

Рис.3. Внешний вид «ОКТАЭДРа»

Синтез модели испытательной системы осуществлён с помощью комплекса ОКТАЭДР (рис.3), созданного в рамках проекта № 5823 программы «СТАРТ», который синхронно сопрягает следующие методы [5]:

термобарогравиметрию (ТБГ) – реализуемую магнитометрическими весами WZA-224CW (фирмы Sartorius) со встроенной поверочной гирей 200 г., управляемые компьютером, позволяющими провести их поверку с восстановлением массы тары (тигляр-термоэлектродилатометра на термоакустическом шток-волноводе – ТЭД ТАШВ) в любой

момент времени (что особенно важно при изменениях давления), с разрешающей способностью измерения массы образца (до 50 г.) – m в 10 мкг., а в режиме двойной точности – *дифференциальную термобарограмметрию* (ДТБГ) с разрешающей способностью dm – до 1 мкг./сек.;

ёмкостную термобародилатометрию (ТБД и ДТБД) – реализуемую ТЭД ТАШВ и двумя измерителями иммитанса (Е7-20), управляемыми компьютером, который вычисляет (у диэлектрика через ёмкость, а у проводника через сопротивление) ℓ - линейный размер и α – коэффициент линейного расширения образца с разрешающей способностью ТКЛР ТЭД (~1 мкм./град.), с соответствующей калибровкой измеряемых параметров 25мм – эталонами (из проводника, диэлектрика и полупроводника с точностью 1 нм.), вставляемыми в «пустой» ТЭД ТАШВ до проведения испытаний;

определение теплопроводности и температуропроводности – реализуемую ТЭД ТАШВ, имеющим встроенные тепловые сенсоры с двух сторон образца, по данным которых и результатам измерений ТБГ и ТБД определяются ρ , λ , C_p , C_v и α -коэффициент температуропроводности, а также вычисляются критерии подобия: число Фурье - $Fo = a \cdot t / \ell^2$ и число Био - $Bi = \alpha \cdot \ell / \lambda$;

дифференциально-баротермический анализ (ДБТА) – реализуемый в том же ТЭД ТАШВ «секцией с тепловыми сенсорами с двух сторон без образца» (в качестве эталона – вакуум или воздух), в результате которого корректно определяется энтальпия из уравнения теплового баланса: $\Delta m \cdot dH/dt + \lambda(T_0 - T_m) = m C_p(T_m' - T_m)$, а в совокупности с предыдущими методами – остальные калорические и термические коэффициенты: $\xi = dQ_T/dV$, $h = dQ_T/dP$, $\chi = dQ_P/dV$, $\psi = dQ_V/dP$, $\beta = -(\partial V/\partial P)/V$, $\gamma = (\partial P/\partial T)/P$, после получения которых, вычисляются термодинамические потенциалы и параметры образца;

диэлектрический анализ (ДЭА) – реализуемый для диэлектриков ТЭД ТАШВ и измерителями иммитанса (Е7-20), управляемыми компьютером, который вычисляет функции (спектры) диэлектрической и магнитной проницаемости образца, измеряя ёмкость, комплексное сопротивление и находя экстремумы тангенса угла потерь в диапазоне 25 – 10^6 Гц., после чего, решая уравнения импеданса, представляет их в «3-х мерной комбинации» координат (T, P, ω) , вычисляя в точках экстремумов критерии гомохронности ($Ho_3 = \epsilon\rho/t$, $Ho_2 = \mu\ell^2/\rho t$ и $Ho_5 = C/Gt$);

электрический и магнитный анализ (ЭМА) – реализуемый для проводников и полупроводников ТЭД ТАШВ и измерителями иммитанса (Е7-20), управляемыми компьютером, который определяет функции проводимости и вычисляет магнитную проницаемость образца, измеряя индуктивность, комплексное сопротивление и находя

экстремумы угла фазового сдвига и тангенса угла потерь в диапазоне 25 – 10⁶Гц., после чего решая уравнения импеданса, представляет их в «3-х мерной комбинации» координат (Т,Р,ω), вычисляя в точках экстремумов критерии гомохронности ($Ho_2 = \mu \ell^2 / \rho t$ и $Ho_4 = L/Rt$);

динамический и термический механический анализ (ДМА и ТМА) – реализуемые использованием данных ТБД и ДБТА и связи β с модулем объемной упругости ($K=1/\beta$), по которым вычисляются остальные модули упругости $E = P \cdot \ell / \Delta \ell$, $G = 3E/(9-\beta \cdot E)$, $\nu = (E-2G)/2G$, $\mu_c = G$, $\lambda_\lambda = (1-2\beta \cdot \mu)/3\beta$, а также определяется второй критерий подобия упругих деформаций, равный $\rho g \ell / E$, и тангенс угла механических потерь;

акустико-эмиссионный анализ (АЭ) – реализуемый 2-мя датчиками АЭ, установленными на акустических волноводах (в керамическом штоке ТЭД), контактирующих с образцом в ТЭД ТАШВ, подключенными в осциллографический модуль, который по двум независимым каналам определяет интенсивность потока (количества в единицу времени) актов АЭ – dNa/dt , их общее количество – Na , амплитуды – U , а также спектральный состав излучения – $G(f)$, что позволяет исследовать кинетику изменений в образце и диагностировать самые ранние стадии происходящих процессов, а также осуществлять калибровку измерительных трактов АЭ, периодически переключая один из датчиков в режим излучения импульса от эталонного генератора;

ИК Фурье-спектрометрию продуктов нано-, микро- и макродеструкции образца в рабочем объеме термостата, реализуемую сопряжением ИК Фурье-спектрометра («Инфралюм ФТ-801») с термостатом, через «окно» в нём в режиме «переотражения ИК-луча от зеркальной обкладки» ТЭД ТАШВ;

термодинамического и акустоэмиссионного эталонирования (ТДАЭ), реализуемого, встроенными в ТЭД ТАШВ, ТДАЭ-микроэталонами, имеющими практически безгистерезисные характеристики обратимых фазовых переходов первого рода (энергии и температуры), позволяющие (статически и динамически) калибровать по энергии ФП, температуре и давлению измерительные каналы и вычислительные процедуры электрометрии, ТА и АЭ методов в ходе испытаний.

Испытания материалов на «ОКТАЭДРе» позволяют получить вектор-функцию их жизненного цикла – $F [P, T, m_i, \ell_i, \rho_i, \lambda_i, a_i, C_{pi}, C_{vi}, \beta_i, \gamma_i, \zeta_i, h_i, \chi_i, \psi_i, H_i, F_{oi}, B_i, E_i, K_i, G_i, \nu_i, \rho_i g \cdot \ell_i / E_i, \sigma_i, |Z_i|, C_i(R_i), tg \sigma_i, \varepsilon_i, \mu_i; \mu_i \cdot \ell_i^2 / \sigma_i t, L_i / R_i t, \varepsilon_i \cdot \sigma_i / t, C_i / \sigma_i t, Na_i, U_i, G_i, \eta_i]$, по которой в многомерном пространстве фазовых состояний материалов в условиях эксплуатации осуществляется идентификация стадий этого цикла.

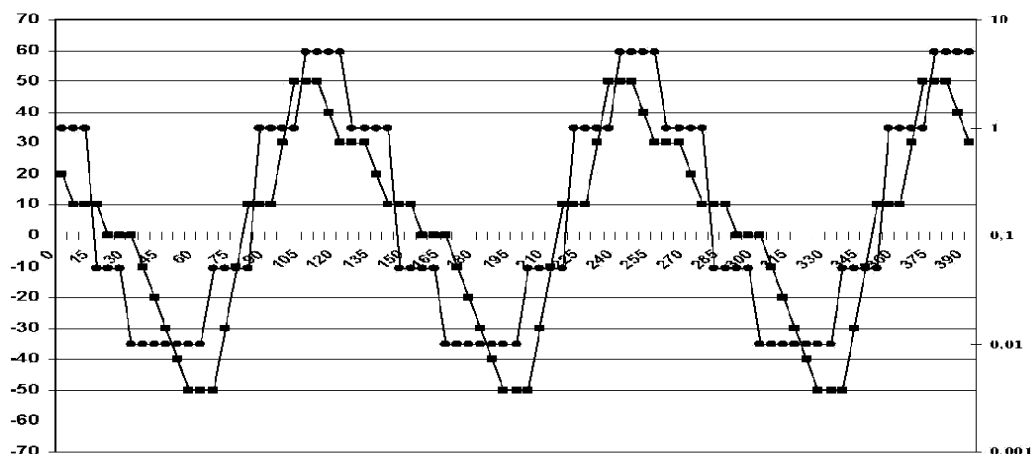
Существенным при этом является то, что все ведущие фирмы мира выпускают установки ТА, которые реализуют различные методы при линейном изменении температуры,

что не позволяет корректно и точно получать термодинамические параметры образца, определяемые, например, в изотермическом режиме:

$$\beta = -(\partial V/\partial P)/V; \quad \xi = dQ_T/dV; \quad h = dQ_T/dP; \quad (1)$$

где dQ_T – изменение тепла при постоянной температуре; dV , dP – изменение объема и давления; β – изотермический коэффициент сжатия; ξ – коэффициент изотермического изменения внутренней энергии; h – теплота изотермического возрастания давления;

Поэтому при создании «ОКТАЭДРа» был разработан метод термобароциклирования и термокриостат, его реализующий, на который подана заявка на изобретение [7].



■ – циклограмма температуры ● – циклограмма давления

Рис.4. Адаптивный термобароцикл

Это позволяет в течение нескольких циклов сформировать адаптивный термобароцикл испытания (рис. 4) любого материала с квазиизотермическими и квазиизобарическими участками в окрестностях особых точек его фазовых состояний (плавления, испарения и т.д.).

Основное назначение «ОКТАЭДРа» – применение его одного вместо 15 установок, определяющих пожаровзрывоопасность твердых материалов по ГОСТ 12.1.044 [8], что позволяет связать параметры образцов и изделий из них с вероятностью пожара по ГОСТ 12.1.004 [9]. Поэтому разработка ТЭА-методологии и модифицированного ТЭД ТАШВ для жидких сред позволит определять характеристики пожаровзрывоопасности всех твердых и жидких веществ и материалов, а также материалов с ОЗП на одной автоматизированной установке (ОКТАЭДРе) вместо 22-х по ГОСТ 12.1.044 (и 3-х существующих в НПБ по ОЗП).

Единая методология испытаний позволит перейти от качественных характеристик к критериям Семенова, Зельдовича, Франк-Каменецкого, используемых в физико-химических теориях горения и взрыва, и применить их в оценке пожарной опасности изделий, техпроцессов и объектов, в т.ч. при подаче декларации о пожарной безопасности [1-6].

Так, в частности, в электро- и радиотехническом оборудовании, дополнительное тепловыделение пожароопасного отказа, нагревая материал отказавшего электрорадиоэлемента, воспламеняет его при переходе процессов деструкции и пиролиза в самоускоряющуюся фазу по критерию Семёнова или «зажигает соседа» по критерию Зельдовича, если собственная температура воспламенения выше «соседней», а плотность теплового потока равна критической. Тогда решая систему (2) неравенств Семёнова, Зельдовича и Франк-Каменецкого в точке воспламенения ($T_{вс}$), т.е. при $Se=0,368$, $F_k=2,00$ и $Ze=Q/S$, определяются: E_a – энергия активации воспламенения образца (3), K – предэкспонент (4) и H – тепловой эффект реакции в газовой фазе (5), после чего вычисляются энергии и теплоты - E_{Di} и H_{Di} стадий деструкции по формулам (3,5), при температурах ($T_p, T_{пл}, T_{мл}$) этих стадий [4]:

$$\begin{cases} Ze = \sqrt{2\lambda_B \frac{RT_{п}^2}{E_a} \cdot H \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{п}}\right)}; \\ Se = \frac{Q \cdot V}{S \cdot \alpha} \cdot \frac{E_a}{RT_{по}^2} \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_{по}}\right); \\ F_k = \frac{Q \cdot r^2}{\lambda_o} \cdot \frac{E_a}{RT_o^2} \cdot K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT_o}\right); \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{Di} = \frac{(\ln T_o^2 - \ln T_{по}^2) \cdot R \cdot T_o \cdot T_{по}}{T_{по} - T_o} \quad (3)$$

$$K = \frac{2\lambda_o \cdot RT_{по}^2 \cdot \exp\left(\frac{T_{по}(\ln T_o^2 - \ln T_{по}^2)}{T_{по} - T_o}\right)}{Q \cdot r^2 \cdot \frac{(\ln T_o^2 - \ln T_{по}^2) \cdot R \cdot T_o \cdot T_{по}}{T_{по} - T_o}} \quad (4)$$

$$H_{Di} = \frac{Q^3 \cdot r^2 \cdot T_o^2 \cdot (\ln T_o^2 - \ln T_{по}^2)^2 \cdot \exp\left(\frac{T_o T_{по} \cdot (\ln T_o^2 - \ln T_{по}^2)}{T_{по} (T_{по} - T_o)}\right)}{2 \cdot F_k \cdot \lambda_B \cdot S^2 \cdot \lambda_o \cdot T_{п}^2 \cdot (T_{по} - T_o)^2 \cdot \exp\left(\frac{T_{по} \cdot (\ln T_o^2 - \ln T_{по}^2)}{(T_{по} - T_o)}\right)} \quad (5)$$

где Ze – критерий Зельдовича; λ – коэф. теплопроводности газовой фазы; R – газовая постоянная; $T_{п}$ – температура печи; E_a – энергия активации деструкции образца; H – тепловой эффект реакции в газовой фазе; K – предэкспонент; Se – критерий Семенова; Q – теплота, подведенная к образцу; V – объём образца; S – площадь поверхности образца; α – коэф. теплоотдачи образца; $T_{по}$ – температура поверхности образца; F_k – критерий Франк-Каменецкого; r – линейный размер образца; λ_o – коэф. теплопроводности образца; T_o – температура образца.

Синтез модели информационной системы базируется на требованиях ГОСТ 12.1.004, по которым вероятность пожаров должна быть не выше 10^{-6} , а безопасность населения не ниже 0,999999 [9]. Эти требования устанавливают для 140-ти миллионного населения России

уровень гибели на пожарах не более 140 человек ежегодно, в то время как на протяжении последних 30 лет этот уровень в 100 раз выше!

Очевидно, поэтому при разработке Технического регламента МЧС РФ «решило избавиться от постоянного невыполнения» требований ГОСТ 12.1.004, введя в ФЗ-123 указанные ниже **«пожарные риски», научной теории возникновения которых, не существует**. Так, в соответствии со статьёй 6 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»: ...пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной, если ... пожарный риск не превышает допустимых значений». При этом использованные термины имеют следующие определения:

«Пожарный риск – мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей»;

«Допустимый пожарный риск – пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий»;

«Индивидуальный пожарный риск – пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара»;

«Социальный пожарный риск – степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара».

При таких трактовках сводится на нет возможность их однозначной количественной оценки [3].

Конечно, отечественный ГОСТ 12.1.004 «Пожарная безопасность. Общие требования», построенный на теории вероятностей, имеет существенные недостатки, которые «появились при его рождении» в 1974 году и были обусловлены, во-первых, некорректностью методологии экспериментальных исследований пожарной опасности (материалов и электроприборов в частности), а во-вторых, неправильной интерпретацией понятий теории надежности и теории вероятностей применительно к процессам возникновения и развития пожаров в техносфере [3, 9].

В связи с тем, что введенные ФЗ-123 «пожарные риски» используют методологию ГОСТ 12.1.004, **покажем эти ошибки и докажем необходимость и возможность их устранения, а также достаточность** теории вероятностей **для** корректного применения в методиках и ИКТ, предназначенных для **оценки пожарной опасности любого объекта** и формирования декларации о пожарной безопасности без введения дополнительных и «размытых» понятий «пожарных рисков».

Во-первых, вероятность события является безразмерной величиной, а ГОСТ 12.1.004, как и Технический регламент, фиксирует допустимый уровень вероятности пожара в

оборудовании или объекте 10^{-6} в год, что с точки зрения теории надежности и теории вероятностей относится к интенсивности событий λ , т.е. $1,14 \cdot 10^{-10}$ 1/час, которая имеет общепринятую размерность.

Эта ошибка устраняется путем введения понятия «пожаробезопасный ресурс» и требования его равенства техническому ресурсу, т.е. сроку эксплуатации, материала, оборудования, помещения и объекта. Тогда в случае общепринятого экспоненциального распределения время наступления «пожароопасного срока эксплуатации» ($t_{ПБР}$) корректно определится логарифмированием уравнения [4]:

$$10^{-6} = 1 - \exp(-1,14 \cdot 10^{-10} t_{ПБР})$$

Если же возникло желание ввести понятие «пожарный риск», чтобы, например, уйти от «неблагозвучности» понятий интенсивности пожаров и интенсивности гибели, то в *рамках теории вероятности существует функция риска – $h(x)$, которая определена, как отношение функции плотности вероятности – $f(x)$, к функции выживания – $S(x)$ в точке x* , и в нашем случае (экспоненциального распределения) она равна именно λ_d [10]:

$$h(t_{ПБР}) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{\lambda_d \exp(-\lambda_d \cdot t_{ПБР})}{\exp(-\lambda_d \cdot t_{ПБР})} = \lambda_d \quad (6)$$

Во-вторых, необходимо исключить методологию внесения неисправностей при испытаниях на пожарную опасность радиоэлектронного и электротехнического оборудования и приборов, в связи с тем, что она требует применения сложного раздела теории надежности – теории зависимых отказов, т.к. искусственное «выключение», т.е. замыкание или обрыв какого-либо элемента изделия вызывает аварийный режим не в нем, а в схемотехнически связанном другом элементе. Поэтому дальнейший расчет вероятности пожара является некорректным, т.к. при этом нарушаются условия применимости формул распределения вероятностей, требующих независимости событий [9, 10].

Эта ошибка устраняется путем применения вероятностно-физической методологии – *модели дополнительного тепловыделения каждого элемента при пожароопасном отказе*, полученная в виде логнормальных функций распределения для электрорадиоэлементов (ЭРЭ) [4]:

$$F_{\text{Э}}(Q) = 1 - v_{\text{Э}} \cdot [1 - G_{\text{Э}}(z)], \quad (7)$$

где $F_{\text{Э}}(Q)$ – вероятность дополнительного тепловыделения, $v_{\text{Э}}$ – доля пожароопасных отказов (короткое замыкание, пробой, обрыв), $G_{\text{Э}}(z)$ – условная функция распределения (при возникновении пожароопасного отказа ЭРЭ) случайной величины $z = \lg Q$, $Q = k \cdot U \cdot I \cdot t$ – Джоулево тепло пожароопасного отказа ЭРЭ.

Дополнительное тепловыделение пожароопасного отказа, нагревая материал отказавшего ЭРЭ, воспламеняет его при переходе процессов деструкции и пиролиза в

самоускоряющуюся фазу по критерию Семёнова или «зажигает соседа» по критерию Зельдовича, если собственная температура воспламенения выше «соседней», а плотность теплового потока равна критической, в соответствии с вышеприведенными уравнениями (2-5). Такая математическая модель позволяет определить интенсивности пожароопасных отказов элементов ($\lambda_{ПО}=\lambda_{Н,Г}\cdot\nu\varepsilon$) и интенсивности их воспламенений ($\lambda_B=\lambda_{ПО}\cdot F\varepsilon$), зафиксировав критические теплоты каждого элемента – $Q\varepsilon$, после чего интегрированием вычисляет вероятности их воспламенений ($F\varepsilon$). При этом, расчеты по системе неравенств (2) и модели дополнительного тепловыделения (7) проводятся для каждого элемента пожарной нагрузки объекта и его «соседей», для чего необходима их топология, т.е. геоинформационная среда, а для вероятностной оценки «превращения воспламенения в пожар», вводится функция «маятник события» (8), формирующая из топологии элементов пожарной нагрузки на объекте (в частности, из матрицы вероятностей воспламенений) «матрицу распространения огня» (Fp), позволяющую вычислить вероятность пожара ($Fn=F\varepsilon\cdot Fp$) и визуализировать его наиболее вероятное распространение/затухание.

$$U = \begin{cases} 1, & \text{если загорание произошло} \\ 0, & \text{если загорание не произошло} \end{cases}, \quad (8)$$

Таким образом, устраняется методологическая и логическая незавершенность оценки пожарной опасности любого изделия или объекта (ГОСТ 12.1.004 в своих вероятностных параметрах и формулах практически не использует ни одного из 20 значений номенклатуры показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, приведенных в ГОСТ 12.1.044) путем использования методов термического анализа для определения параметров горючести веществ и материалов, из которых изготовлены изделия и объекты, по критериям Семёнова и Зельдовича, и с помощью вероятностно-физических уравнений, описывающих тепловыделение пожароопасного отказа, корректно связывающих горючесть с вероятностью пожара [2-6].

Отечественный стандарт с вероятностной оценкой пожаров существует более четверти века, за которые введены четыре его редакции, и, естественно, за это время накопилось достаточное количество и новых методов, и замечаний к действующим документам, т.е. наступила очередная стадия переосмысления проблемы. И если мы хотим реально оценить пожарную опасность и снизить количество пожаров и социальные потери от них, то надо не «выдумывать» новые понятия и вводить их Федеральными Законами, как это произошло с ФЗ-123, а обратиться к научному сообществу, чтобы корректно и грамотно решить междисциплинарную научно-техническую и социально-экономическую проблему, коей является «пожарная проблема» техногенной сферы [3,4].

Решение задач в информационной системе будет осуществляться с помощью имеющихся серверов и сайтов ВНИИПО (<http://www.vniipo.ru/>) и Интернет-портала Академии ГПС (<http://ipb.mos.ru/>) МЧС России, путем разработки специального программного обеспечения БД и соответствующих «online-режимов».

Модель контрольной системы синтезирована на основе переносных комплексов, которые включают в себя следующие приборы и модули (рис. 5):

- ноутбук (например, Acer Aspire 7741ZG),
- осциллографическую плату (например, BORDO В-222 с полосой 150 МГц и чувствительностью 10 мВ/дел, с функциями частотомера и спектроанализатора,
- измеритель иммитанса (например, Е 7-25), подключаемый к ноутбуку через USB-порт,
- ТЭА-зонды, содержащие термодатчик (например, DS18B20 – цифровой термодатчик DALLAS, $-55^{\circ}\text{C}..+125^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), пьезодатчик (ЦТС-19) и электросенсор (корпуса наконечников зонда), соединяемые экранированным 6-ти жильным кабелем с комплексом.



Рис. 5 . Составные части переносного комплекса

Решение задач в контрольной системе будет осуществляться органами государственного пожарного надзора и добровольными пожарными формированиями, которые будут оснащены указанными комплексами, путем периодического обследования объектов надзора и экспресс-диагностики их термоэлектроакустических параметров.

Выводы

В статье представлена концепция мониторинга эксплуатационной устойчивости материалов и огнезащитных покрытий на основе метода их термоэлектроакустической диагностики.

Предложена модель Интернет-системы, реализующей предлагаемую концепцию, состоящую из трех систем – испытательной, контрольной и информационной.

Приведены структуры и алгоритмы функционирования каждой системы, подтверждающие возможность реализации предлагаемой концепции.

Список литературы

1. Богуславский Е.И., Белозеров В.В., Богуславский Н.Е. Прогнозирование, оценка и анализ пожарной безопасности /Учебное пособие. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2004. – 151с.
2. Белозеров В.В., Босый С.И., Кальченко И.Е., Нестеров А.А., Прус Ю.В. О термоэлектроакустическом методе определения характеристик пожароопасности твердых и жидких веществ и материалов // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – Вып. 6 (34). – 2010. – 5 с. –<http://ipb.mos.ru/ttb/>.
3. Белозеров В.В., Прус Ю.В., Топольский Н.Г. Информационно-компьютерные технологии в реализации технического регламента о требованиях пожарной безопасности //Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – Вып. 2 (30). – 2010. – 13 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb>.
4. Белозеров В.В. Методы, модели и средства автоматизации управления техносферной безопасностью: Автореф. дис. д-ра. техн. наук. – Ростов н/Д., 2012. – 46 с.
5. Белозеров В.В., Босый С.И., Буйло С.И., Видецких Ю.А., Викулин В.В., Прус Ю.В. ОКТАЭДР: метод и комплекс термоакустотрии с синхронным термическим анализом веществ и материалов. – «Современные наукоемкие технологии». - № 11. – 2005. – С. 26-27.
6. Белозеров В.В., Босый С.И. Диагностика пожарной опасности материалов с помощью комплекса «Октаэдр» // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – Вып. 6 (16). – 2007. – 12 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb>.
7. Белозеров В.В., Босый С.И., Мазурин И.М. Способ адаптивного термоциклирования и система его реализации. – Заявка на изобретение № 2009121080 от 03.06.2009, опубли. 10.12.2010. – Бюл. № 34.
8. ГОСТ 12.1.044 (МЭК 79-4; ИСО 1182 и др.) Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М: Издательство стандартов, 1990. – 143с.
9. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд. стандартов, 1992.
10. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. – М., 1980. – 95 с.

Рецензенты:

Коган В.А., д.х.н., профессор, зав. кафедрой физической и коллоидной химии Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

Панченко Е.М., д.ф.-м.н, профессор, генеральный директор группы компаний «Кордон», г.Ростов-на-Дону.