

DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184

УДК 697.97+614.844: 614.838

Тип статьи: Оригинальная статья



## Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1

В.В. Белозеров<sup>1</sup> , А.И. Голубов<sup>2</sup>, И.Е. Кальченко<sup>2\*</sup>, Т.А. Нгуэн<sup>3</sup> , Н.Г. Топольский<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», г. Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт пожарной безопасности, г. Ханой, Вьетнам

\* Контакты: ivanrnd@mail.ru

**РЕЗЮМЕ: Введение.** Целью исследования являлась оптимизация контроля качества огнезащитных покрытий (ОЗП) при их производстве и использовании. Результаты сравнительного анализа последствий пожаров и их причин с параметром огнестойкости объектов свидетельствуют о том, что количество пожаров и ущерба от них в зданиях I степени огнестойкости практически на порядок меньше, чем в зданиях II степени огнестойкости. Следовательно, повышение огнестойкости строительных материалов и конструкций – путь кардинального сокращения пожаров и потерь от них. **Методы и материалы.** На основе системного анализа существующих технологий противопожарной защиты строительных материалов из дерева, металлов, резины и полимеров были разработаны нанотехнологии для определения стабильности образцов с ОЗП на баро-электро-термо-акустическом (БЭТА) анализаторе и создания их «образов» для дальнейшей диагностики их старения на объекте строительства и эксплуатации. Новизна исследования защищена патентами Российской Федерации. **Результаты и обсуждение.** Полученные результаты заключаются в доработке вычислительных алгоритмов для ОЗП в БЭТА-анализаторе, а также в разработке портативного автоматизированного комплекса, позволяющего определить этап «старения» ОЗП на этих материалах, а следовательно, их долговечность и срок обновления. Такой вывод основан, во-первых, на результатах разработки авторами «поплавковой конструкции» тигля термо-электро-дилатометра для контроля жидких и вязких материалов, что позволит осуществить контроль характеристик ОЗП при их производстве, во-вторых, осуществить экспресс-контроль после расфасовки их в тару (полимерную, металлическую, стеклянную) без ее вскрытия и, в-третьих, благодаря распознаванию указанных «образов» с помощью термо-электро-измерений ОЗП с использованием специальных зондов, подключенных к портативному автоматизированному комплексу. **Заключение.** Полученные результаты позволяют «вооружить» портативными автоматизированными комплексами не только органы строительного и пожарного надзора, но и производителей ОЗП. Это позволит, по мнению авторов, в корне решить проблемы качества и долговечности ОЗП, но главное – гарантировать устойчивость защищаемых материалов и конструкций из них.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** огнезащитные покрытия, степень огнестойкости, материалы и конструкции, качество огнезащитных покрытий, долговечность огнезащитных покрытий, термо-электро-акустический метод, теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, старение огнезащитных покрытий.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Белозеров В.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Нгуэн Т.А., Топольский Н.Г. Нанотехнологии испытаний и диагностики материалов, конструкций и элементов инженерных систем зданий с огнезащитными покрытиями. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 174–184. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-174-184.

### ВВЕДЕНИЕ

Последние 15 лет каждый год в России регистрируется [1], в среднем, 200 тысяч пожаров, в результате которых погибает около 13 тыс. человек и почти столько же травмируется (табл. 1).

© Белозеров В.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е., Нгуэн Т.А., Топольский Н.Г., 2020

Таблица 1

## Статистика пожаров и последствий от них в России

Показатели	Годы									Среднее
	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	
Пожары, тыс.	239,2	229,8	212,6	187,5	168,5	153,5	145,6	132,4	471,1	215,6
Погибли, чел.	19303	18412	16066	13946	12019	10601	9377	7782	8507	12890
Травмированы, чел.	14032	13362	13688	13269	12516	11132	10920	9305	9474	11966
Ущерб от пожаров, млрд руб.	4,2	6,7	8,7	12,2	18,2	14,9	18,8	14,1	13,6	12,9

Среднее значение погибших и травмированных составляет почти 25000 россиян, что для 145 миллионного населения страны более чем в 170 раз превышает требования стандарта, требующего безопасности населения не ниже 0,999999 [2].

При этом среднегодовые процентные показатели причин пожаров и объектов, на которых они произошли, таковы [1]:

- жилые здания – 69,7% пожаров, в т. ч. из-за неисправности и нарушения правил эксплуатации электроприборов, газового и печного отопления – 40,1%, из-за неосторожного обращения с огнем – 33%, поджоги – 10%, прочие – 13,6%;
- транспортные средства – 14%,
- общественные здания – 4,2%,
- производственные объекты – 2,1%,
- склады – 0,9%,
- сельскохозяйственные объекты – 0,4%.

Оставляя за рамками настоящей статьи анализ, «сокращения» числа пожаров и пострадавших от них, из-за изменения методик учета и основываясь на данных «роста» прямых материальных потерь, согласимся со следующими причинами ухудшения пожарной безопасности [3]:

- во-первых, из-за «старения» основных фондов и нарушения технических регламентов, требующих периодического контроля и работ по восстановлению параметров безопасности объектов и оборудования,
- во-вторых, из-за появления новых пожароопасных технологий, техники и оборудования, требующих применения адекватных методов и средств диагностики и подавления их пожаровзрывоопасности,
- в-третьих, широким использованием легковоспламеняющихся и горючих веществ и материалов в быту и на производстве, что повышает риск возникновения аварий, взрывов и пожаров.

В связи с тем, что и в производстве, и в быту не всегда можно обойтись без использования горючих материалов, изделий и продукции из них, полу-

чили применение методы их обработки специальными средствами – красками и покрытиями, включая нанокomпозиционные и полимеризующиеся составы, которые обеспечивают их защиту от эксплуатационных воздействий (влаги, колебаний температур и т.д.) и в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) – молний, пожаров, взрывов.

В данной статье рассматриваются огнезащитные покрытия (ОЗП), которые призваны обеспечить защиту строительных материалов, конструкций и изделий из них для инженерных систем зданий от опасных факторов пожара (ОФП).

Дело в том, что существующие методы и средства диагностики и контроля свойств ОЗП дифференцированы (для стальных конструкций – НПБ 236-97; для древесины – НПБ 251-98; для кабелей – НПБ 238-97 и т.д.) и не используют характеристики защищаемых материалов и изделий для объективной оценки изменений их свойств при воздействии условий ЧС, что порождает несоответствие фактической пожарной опасности объектов и их расчетов в декларациях об их пожарной безопасности [4, 5].

Такое положение образовалось потому, что инструментальных средств контроля эксплуатационной устойчивости объектов, в т.ч. использующих ОЗП, практически нет. В связи с этим **возникла научно-техническая задача** – разработка методов и средств объективного контроля, во-первых, качества ОЗП при их производстве, т.е. в жидкой фазе, а во-вторых, и это главное – диагностики долговечности и пожарной устойчивости изделий и конструкций с ОЗП при их эксплуатации на различных объектах (жилых, административных, торговых и т.д.) [5, 6].

Различные строительные материалы, элементы конструкций и инженерных систем, здания в целом по-разному ведут себя в условиях ЧС, в связи с чем возникла необходимость в специальном показателе, с помощью которого можно было бы сравнивать способность объектов сопротивляться воздействию огня. В качестве такого показателя и **было введено**

понятие о степенях огнестойкости объектов (от I до V), которые являются международными пожарно-техническими характеристиками, отличающимися временами, в течение которых материалы, конструкции и здания могут сопротивляться ОФП [7].

Результаты сравнительного анализа последствий пожаров (гибели, травм, материальных потерь, уничтоженных и поврежденных площадей) и их причин с параметром огнестойкости объектов свидетельствуют (рис. 1 и 2) о том, что количество пожаров

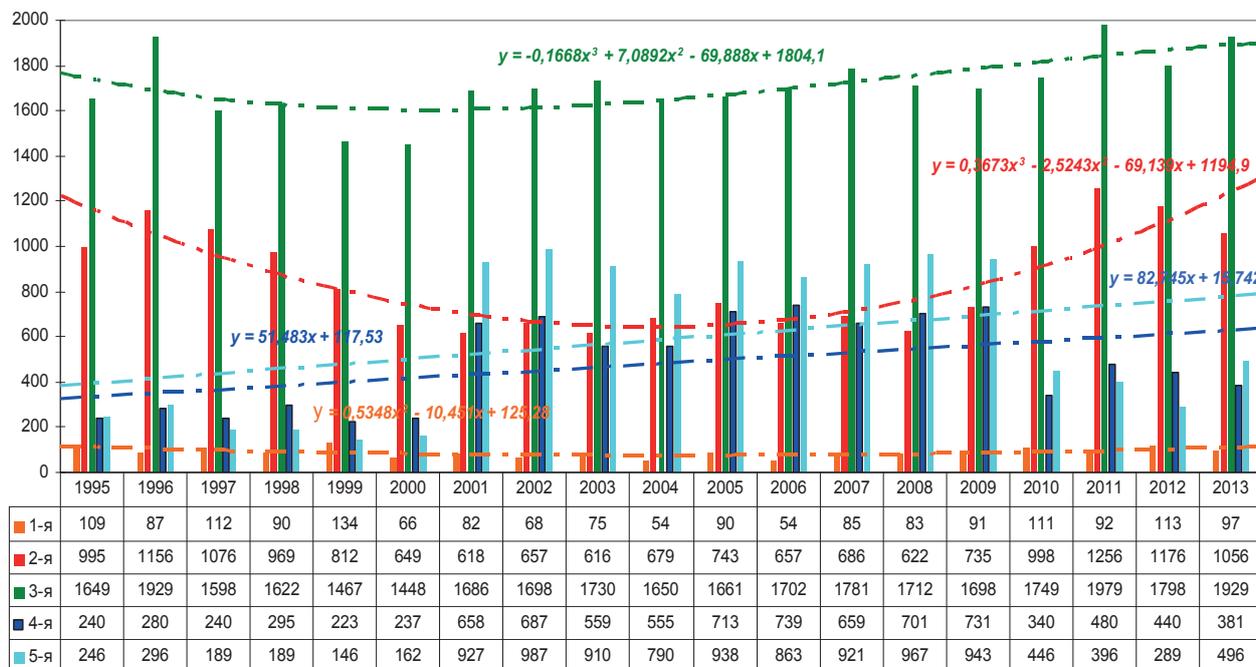


Рис. 1. Гистограммы числа пожаров в зданиях I–V степени огнестойкости

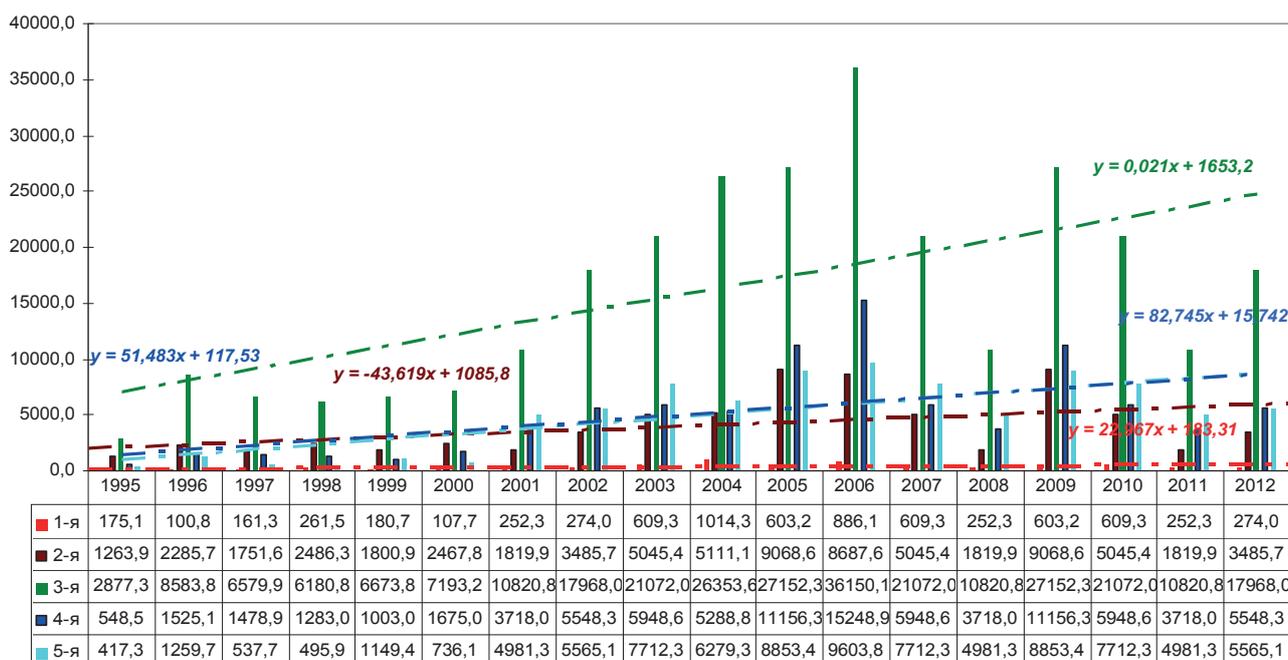


Рис. 2. Гистограммы ущерба от пожаров в зданиях I–V степени огнестойкости

и ущерба от них в зданиях I степени огнестойкости практически на порядок меньше, чем в зданиях II степени огнестойкости. Следовательно, повышение огнестойкости строительных материалов и конструкций – путь кардинального сокращения пожаров и потерь от них [4, 8].

Однако такая латентная форма параметра огнестойкости не позволяет использовать их в уравнениях Семенова, Зельдовича и Франк-Каменецкого, на которых построена теория горения и взрыва, в связи с чем и возникла необходимость разработки новых методов и средств диагностики и контроля устойчивости строительных материалов и конструкций из них, в т.ч. с ОЗП, которые позволили бы осуществить объективный контроль их проектной и эксплуатационной устойчивости, в т.ч. в условиях ЧС [6, 8].

### МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Как показали наши исследования и разработки, наиболее приемлемым для испытаний любых строительных материалов является метод и комплекс баро-электро-термо-акустометрии (БЭТА), который

реализует комбинированное воздействие на образец материала (рис. 3, 4) [6, 8].

БЭТА-анализатор позволяет получить все необходимые характеристики, а также определить существующие и дополнительные показатели их пожарной опасности, т.к. регистрирует и вычисляет 38-ми параметрическую вектор-функцию «жизненного цикла» (ВФЖЦ) материала в условиях эксплуатации –  $F [P, T, m_i, l_p, \rho_p, \lambda_p, a_p, C_{p,p}, C_{v,p}, \beta_p, \gamma_p, \xi_p, h_p, \chi_p, \psi_p, H_p, F_{o,p}, B_p, E_p, K_p, G_p, v_p, \rho g \cdot l/E_p, \sigma_p, [Z]_p, C_i(R)_p, tg\sigma_p, \varepsilon_p, \mu_p; \mu_i \cdot l_i^2/\sigma_i t, L/R_t, \varepsilon_i \cdot \sigma_i t, C/\sigma_i t, Na_p, U_p, G_p, \eta]$  [9, 10].

БЭТА-анализатор был создан в рамках проекта № 5823 программы «СТАРТ» [10] и, в отличие от известных установок синхронного термического анализа (СТА), которые применяют линейные режимы изменения температуры и давления, использует метод адаптивного термо-баро-цикла (АТБЦ), работающий ступенчато (рис. 5) [11].

Это дает возможность получить «квазистационарные» участки (температуры и давления) в окрестностях «особых точек» (фазовых переходов и т.д.), и, следовательно, корректно вычислить термодинамические характеристики материала, что обеспечивает достоверность их расчетов, а также позволило

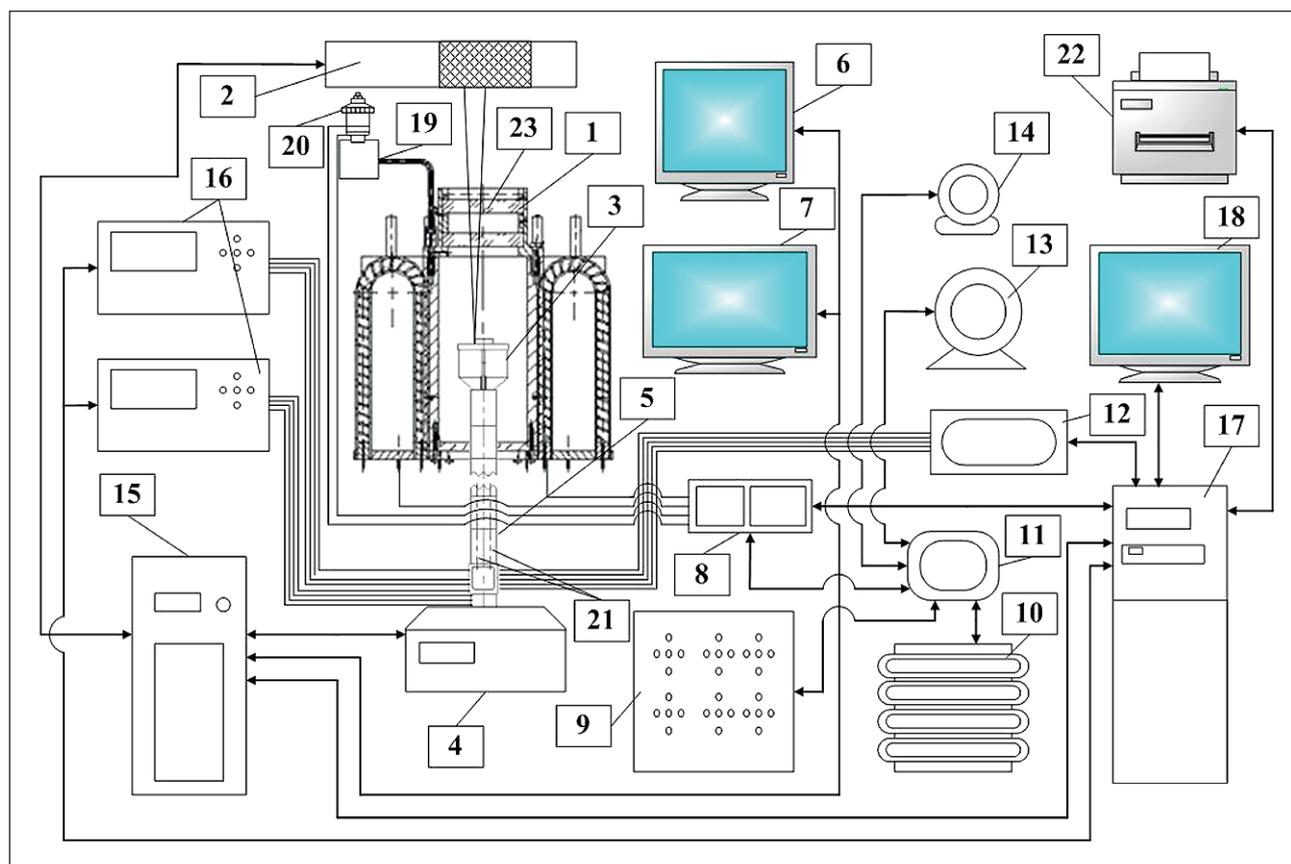


Рис. 3. Блок-схема БЭТА-анализатора



Рис. 4. Внешний вид БЭТА-анализатора:

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, компрессором и форвакуумным насосом (МКУБ); 8 – ИК фурье спектрометр «ФТ-801»; 9 – 1-й монитор ФС; 10 – цветной принтер; 11 – мастер-модуль M902E 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

поставить и решить задачу «ускоренного старения материалов» в условиях эксплуатации [10, 11].

Для реализации метода АТБЦ был разработан термо-криостат-электропечь (рис.6), в котором процессы нагревания и охлаждения были совмещены путем применения нихромового электронагревателя в качестве охладителя-элегаза (R-510) в каждой из 8-ми секций, управляемых контроллером (TREI-5B-05), что позволило с высокой точностью обеспечить «квазистационарность температурных участков». Аналогичным образом (компрессором и форвакуумным насосом с электромагнитными клапанами) была обеспечена «квазистационарность участков давления» [10, 11].

Помимо ускоренного старения образца материала при испытаниях **такой подход позволил модифицировать и синхронизировать десять разных методов термического анализа и один – метрологический**, а именно:

- **термобарограмметрию (ТБГ)**, реализуемую магнитометрическими весами WZA-224CW (фирмы Sartorius) со встроенной поверочной гирей 200 г, управляемыми компьютером, позволяющим провести их поверку с восстановлением массы тары (тигля термо-электро-дилатометра на термо-акустическом шток-волноводе – ТЭД ТАШВ) в любой момент времени (что особенно важно при термо-баро-циклах) с разрешающей способностью измерения массы образца (до 50 г) – *m* в 10 микрограмм, а в режиме

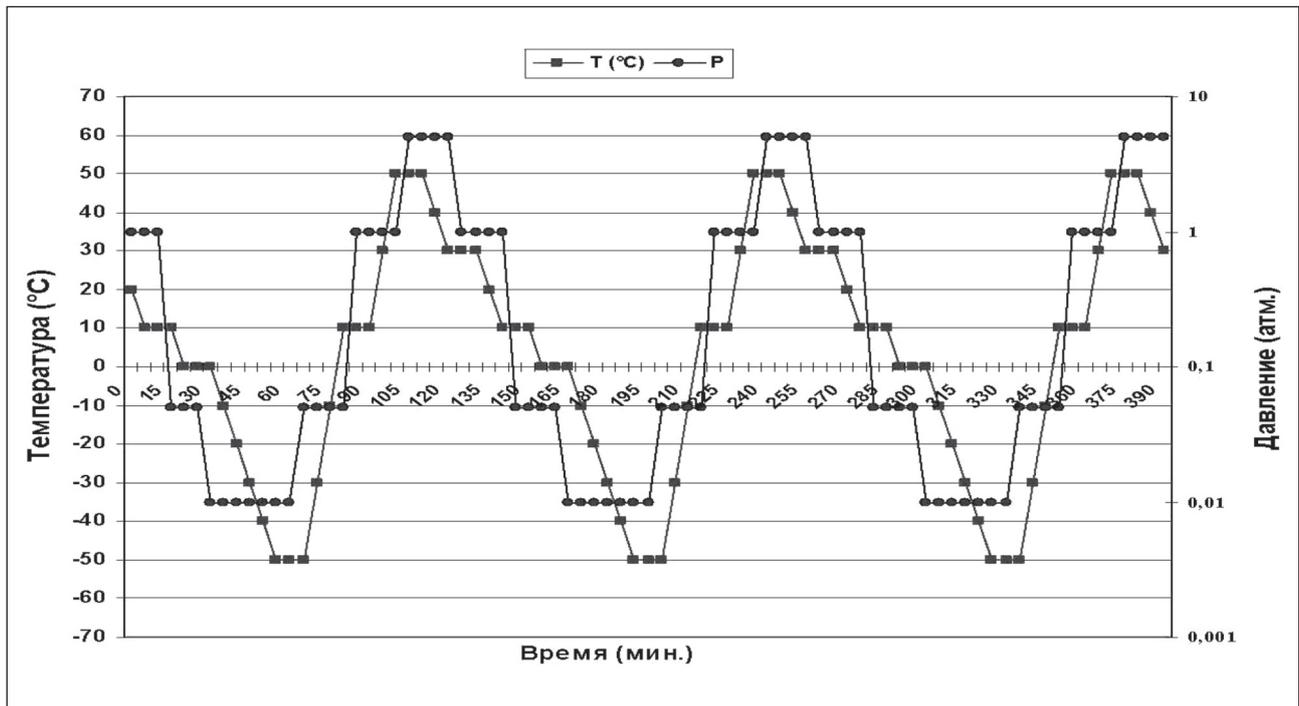


Рис. 5. Адаптивный Термо-Баро-Цикл

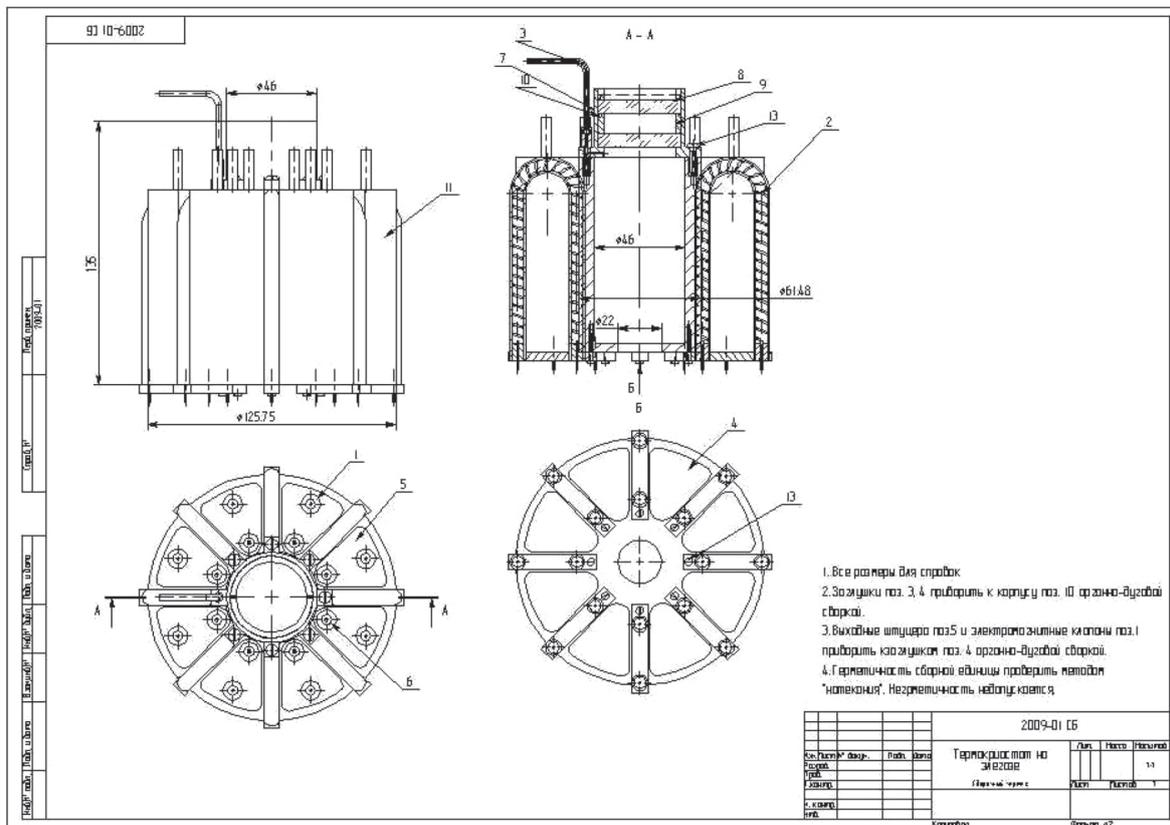


Рис. 6. Сборочный чертеж термо-криостата-электропечи (ТКСЭ)

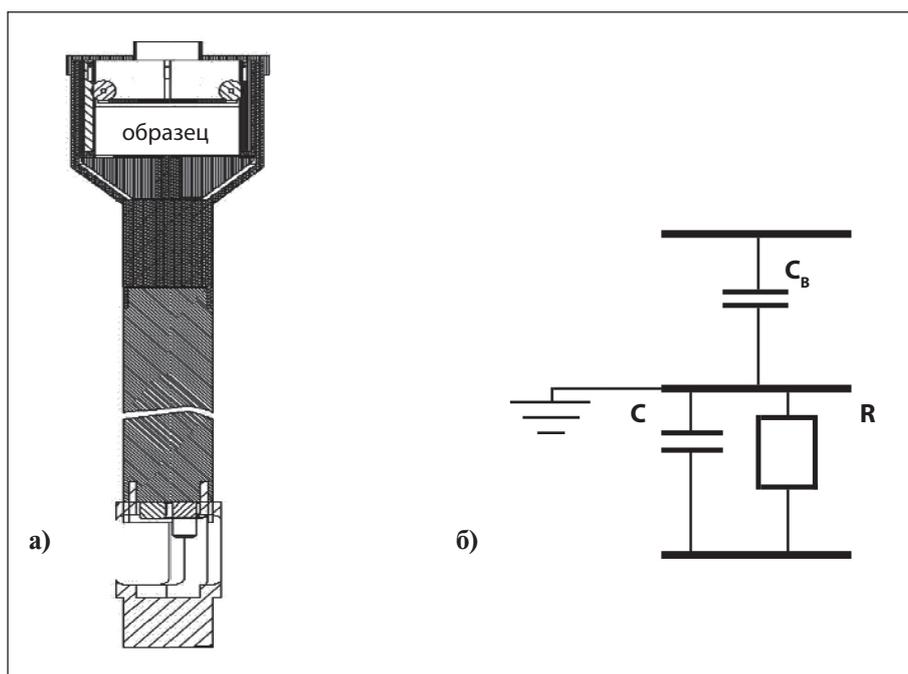


Рис. 7. Тигель термо-электро-дилатометр (ТЭД) и его эквивалентные схемы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ell_A = \frac{\varepsilon_A \cdot \varepsilon_0 \cdot \pi D^2}{4C_A} \\ \ell = h_{TED} - h_{mp} - \ell_A \\ \varepsilon = \frac{4\ell \cdot C}{\varepsilon_0 \cdot \pi D^2} \\ r = \frac{R \cdot \pi D^2}{4\ell} \end{array} \right. , \quad (1)$$

где  $l$  – линейный размер образца в ТЭД;  $D$  – диаметр передвигной обкладки ТЭД;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;  $C$  – емкость между передвигной обкладкой и дном ТЭД;  $l_A$  – расстояние от передвигной обкладки до крышки ТЭД;  $C_B$  – емкость между передвигной обкладкой и крышкой ТЭД;  $\varepsilon_B$  – диэлектрическая проницаемость воздушной среды между передвигной обкладкой и крышкой ТЭД;  $R$  – сопротивление образца;  $h_{TED}$  – высота ТЭД (от дна до крышки);  $h_{по}$  – толщина передвигной обкладки.

двойной точности – дифференциальную термобарогравиметрию (ДТБГ) с разрешением  $dm/dT$  – до 1 микрограмм/град [9,10];

• **термобародилатометрию (ТБД) и дифференциальную термобародилатометрию (ДТБД)**, которая реализуется тиглем (рис. 7 а) термо-электро-дилатометром (ТЭД) и двумя измерителями иммитанса (E7-20), управляемыми компьютером, который вычисляет линейный размер образца –  $l$  и его изменения –  $dl/dT$  и  $dl/dP$  независимо от типа материала (диэлектрик, проводник, полупроводник), благодаря конструкции ТЭД и наличия его точных параметров

(диаметр, высота от дна до крышки, толщина передвигной обкладки), по унифицированной эквивалентной схеме и общей математической модели (1) [9, 10];

• **термо-баро-денсиметрию (ТБД)**, которая является новым методом термического анализа, т.к. вычисляет плотность образца –  $\rho$  и его изменения –  $d\rho/dT$  и  $d\rho/dP$  (по данным изменения массы и объема образца) благодаря синхронизации термогравиметрии и термодилатометрии (ТГ, ДТГ, ТД и ДТД), несопрягаемые до настоящего времени ни в одной установке термического анализа [10];

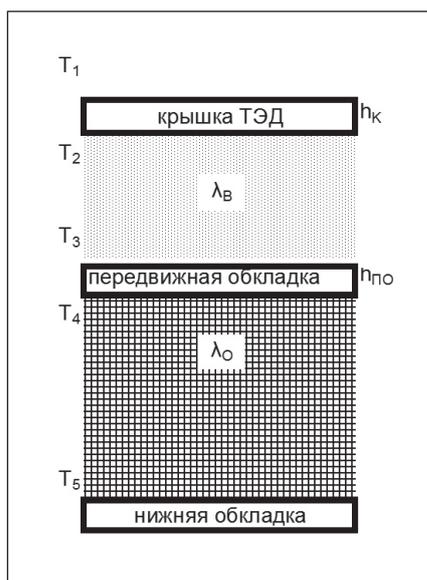


Рис. 8. Схема измерения теплового потока и теплопроводности образца в ТЭД:

$T_1$  — температура поверхности крышки ТЭД (среды в ТКСЭ);  
 $T_2$  — температура в «секции с воздушной средой» ТЭД;  
 $\lambda_v$  — теплопроводность воздушной среды в секции;  
 $T_3$  — температура передвижной обкладки ТЭД;  
 $T_4$  — температура поверхности образца;  
 $\lambda_o$  — теплопроводность образца;  
 $T_5$  — температура дна ТЭД;  
 $h_k$  — толщина молибденовой крышки ТЭД;  
 $h_{по}$  — толщина передвижной обкладки ТЭД;  
 $\lambda_m$  — теплопроводность молибдена

- **дифференциально-сканирующую калориметрию (ДСК) и метод калиброванного теплового потока** (практически по ГОСТ 25380-2014), реализуемые в том же ТЭД с помощью «эталонной секции с воздушной средой» (рис. 8), позволяющие помимо теплопроводности —  $\lambda$ , температуропроводности —  $a$  и теплоемкости образца —  $C$  (при постоянной температуре и при постоянном давлении) определить все калорические и термические коэффициенты:  $\xi = dQ_T/dV$ ,  $h = dQ_T/dP$ ,  $\chi = dQ_p/dV$ ,  $\psi = dQ_v/dP$ ,  $\beta = -(\partial V/\partial P)/V$ ,  $\gamma = (\partial P/\partial T)/P$ , благодаря адаптивным термо-баро-циклам (рис. 5) и конструкции ТЭД, создающим калиброванные тепловые потоки в образец ( $Q$  и  $q$ ), т.к. рассеяние тепла циркониевой керамикой стенок ТЭД (1,3 Вт/м·К) на два порядка ниже (1%), чем молибдена (118–138 Вт/(м·К)) в рабочем интервале температур (можно снизить рассеяние тепла и погрешность до 0,1%, если ТЭД изготовить из наноструктурированной или волластонитовой керамики [12], имеющих теплопроводность 0,035–0,5 Вт/м·К);

- **дифференциально-баротермический анализ (ДБТА)** — реализуемый в том же ТЭД «эталонной секцией воздушной среды» (в качестве эталона — вакуум или воздух), в результате которого корректно определяется энтальпия из уравнения теплового баланса:  $\Delta m dH/dt + \lambda(T_0 - T_m) = m C_p \Delta T [5]$ ;

- **электрометрию**, в т.ч. **диэлектрический анализ (ДЭА)** и **электромагнитный анализ (ЭМА)**, реализуемые ТЭД и измерителями иммитанса (E7-20), управляемыми компьютером, который вычисляет функции диэлектрической ( $\epsilon$ ) и магнитной проницаемости образца ( $\mu$ ), измеряя емкость, комплексное сопротивление и находя экстремумы тангенса угла потерь в диапазоне 25–10<sup>6</sup> Гц, после чего, решая

уравнения импеданса, представляет их в «3-х мерной комбинации» координат ( $T, P, \omega$ ), вычисляя в точках экстремумов критерии гомохронности ( $Ho_2 = \epsilon\rho/t$ ,  $Ho_3 = \mu^2/\rho t$  и  $Ho_5 = C/Gt$ ) [13];

- **динамический и термический механический анализ (ДМА и ТМА)** — реализуемые с использованием данных ТБД и ДБТА и связи  $\beta$  с модулем объемной упругости ( $K = 1/\beta$ ), по которым вычисляются остальные модули упругости  $E = P \cdot l/\Delta l$ ,  $G = 3E/(9 - \beta \cdot E)$ ,  $\nu = (E - 2G)/2G$ ,  $\mu = G$ ,  $\lambda = (1 - 2\beta \cdot \mu)/3\beta$ , а также определяется второй критерий подобия упругих деформаций, равный  $\rho g l/E$ , и тангенс угла механических потерь [6, 10];

- **акустико-эмиссионный анализ (АЭ)**, реализуемый 2-мя датчиками АЭ, установленными на 2-х термо-акустических шток-волноводах, расположенных в керамической «ножке» ТЭД, сегменты которых образуют «дно» в ТЭД, контактирующее с образцом, которые подключены в модуль ALine-32 PCI8 (фирмы «Интерюнис»), определяющий по двум независимым каналам 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, переключая один из датчиков в режим излучения от эталонного генератора [5, 14];

- **ИК Фурье-спектрометрию продуктов деструкции и горения** в рабочем объеме ТКСЭ через кварцевое окно в нем (рис.3 и 7) с помощью ИКФ-спектрометра ФТ-801 [15] позволило реализовать в реальном масштабе времени определение коэф-

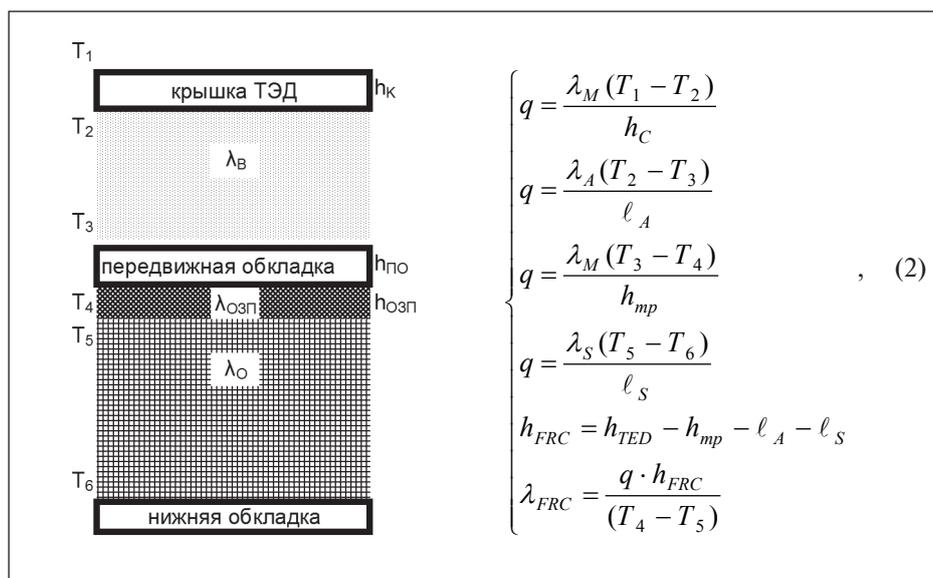


Рис. 9. Схема измерения образца с ОЗП в ТЭД:

$l_0$  – линейный размер защищаемого образца (1);  $h_{OЗП}$  – толщина ОЗП;  $T_1$  – температура в ТКСЭ (поверхности крышки ТЭД);  $T_2$  – температура в «секции с воздушной средой»;  $\lambda_B$  – теплопроводность воздушной среды в секции (1);  $T_3$  – температура передвижной обкладки ТЭД;  $T_4$  – температура поверхности ОЗП;  $\lambda_{OЗП}$  – теплопроводность ОЗП;  $T_5$  – температура поверхности образца;  $T_6$  – температура дна ТЭД;  $h_K$  – толщина молибденовой крышки ТЭД;  $h_{ПО}$  – толщина передвижной обкладки ТЭД;  $\lambda_M$  – теплопроводность молибдена;  $\lambda_O$  – коэффициент теплопроводности образца

фициента дымообразования указанных продуктов и их токсичности по формулам В.Н. Павлова [16, 17];

- метрологическую аттестацию измерительных каналов БЭТА-анализатора с помощью встроенных в ТЭД термодинамических акустико-эмиссионных эталонов (ТДАЭ-запаянные в дно ТЭД «капельки» ртути и воды), которые, имея безгистерезисные характеристики фазовых переходов I рода, позволяют калибровать измерительные каналы в ходе испытаний, что было защищено патентом РФ [18].

Полученные таким образом точные значения параметров образца позволяют определить его критерии подобия (число Фурье –  $Fo = a \cdot t / l^2$  и число Био –  $Bi = \alpha \cdot l / \lambda$ ) и построить кривые их изменения от температуры и времени на предмет регистрации и идентификации нано-, микро- и макроструктурных изменений в образце, в т.ч. при его «старении» [8, 9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная методика для любых ОЗП отличается от методики БЭТА-анализа образцов твердого тела [10] как подготовительным этапом [8], так и новыми алгоритмами расчета параметров ОЗП.

На подготовительном этапе изготавливаются по два одинаковых цилиндрических образца из стали, дерева, резины и полимера, после чего фик-

сируются их размеры и вес, и одно из оснований цилиндров покрывается ОЗП в соответствии с ТУ на них [8].

После высыхания (полимеризации) производится взвешивание образцов с ОЗП для определения массы ОЗП на каждом, и начинается следующий этап – «экспресс-анализ образца», который представляет собой размещение их в ТЭД и «прогон» первых образцов при линейном охлаждении/нагреве от минус 60°C до плюс 200°C в ТКСЭ в вакууме (0,01 атм) с определением ВФЖЦ образца, защищенного ОЗП (рис. 9), а решением системы уравнений Фурье (2) с учетом результатов термодилатометрии (1) определяются функции теплопроводности –  $\lambda_{OЗП}$  и толщины –  $h_{OЗП}$  ОЗП.

Далее давление в ТКСЭ поднимается до атмосферного, и при температуре плюс 200°C осуществляется выдержка в течение 5 минут (для определения изменения группы горючести образца с ОЗП по убыли массы), после чего нагревание продолжается до температуры плюс 835°C. При этом регистрируются и оцениваются не только фактические времена огнестойкости образцов [19] за счет «вспучивания» ОЗП (изменение его толщины и коэффициента теплопроводности), но и контролируются ВФЖЦ самих образцов под защитой ОЗП, по критическим значениям которых делается вывод об эффектив-

ности ОЗП для каждого образца из стали, дерева, резины и полимера [8].

Заключительный этап – «старение образцов» – по планам испытаний для «вторых образцов» (сформированных по результатам «экспресс-анализа» первых образцов) с нанесенными на них ОЗП, по адаптивным термо-баро-циклам, с обеспечением квази-изотермических и квази-изобарических режимов в окрестностях полученных особых точек, для уточнения «ВФЖЦ старения ОЗП» на образцах, до критического повреждения ОЗП [8, 19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход не только наиболее полно отражает характеристики и поведение ОЗП в процессе производства и эксплуатации на объектах, но и до-

полняет широко известные методы определения огнезащитной эффективности, которые отражены в соответствующих нормативных документах [20, 21] и исследованиях, в т.ч. методами термического [22, 23] и термо-электроакустического анализа [24], создавая «образ ОЗП» для последующей идентификации стадий его «старения», а следовательно, и для определения фактического времени его обновления на любых объектах надзора [8].

Более того, разработка «поплавковой конструкции» тигля термо-электро-дилатометра для контроля жидких и вязких материалов позволит осуществить контроль характеристик ОЗП при их производстве [24], включая экспресс-контроль после расфасовки их в тару (полимерную, металлическую, стеклянную) без ее вскрытия, что гарантирует их качество при применении на объектах защиты [25].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный банк данных «ПОЖАРЫ» [Электронный ресурс]. – <http://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny>.
2. ГОСТ 12.1.004 Пожарная безопасность. Общие требования – М.: Изд. стандартов, 1992. – 77с.
3. Белозеров В.В., Загускин С.Л., Прус Ю.В., Самойлов Л.К., Топольский Н.Г., Труфанов В.Н. Классификация объектов повышенной опасности и вероятностно-физические модели оценки их устойчивости и безопасности // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 8. – С. 34–41.
4. Кальченко И.Е. Анализ объективности оценки огнестойкости и эффективности огнезащиты конструкций объектов инфраструктуры различного назначения // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 3-1. – С. 64–72.
5. Белозеров В.В., Топольский Н.Г., Голубов А.И. Многопараметрическая оценка свойств и пожаровзрывоопасных характеристик жидких веществ и материалов // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности. – СБ-2012: мат-лы 21-й науч.-тех. конф. – М: АГПС МЧС РФ, 2012. – С. 30–31.
6. Белозеров В.В., Марченко А.В., Прус Ю.В. БЭТА-анализ в диагностике безопасности и прочности конструкционных материалов // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности. – СБ-2008: матер. 17-й междунар. конф. – М: АГПС МЧС РФ, 2008. – С. 54–57.
7. Белозеров В.В., Блудчий Н.П., Кальченко И.Е., Олейников С.Н. Философско-филологические аспекты безопасности // Международный журнал экспериментального образования – 2016. – № 2 (ч.1). – С. 170–175.
8. Прус Ю.В., Голубов А.И., Кальченко И.Е. Термо-электро-акустический метод и система диагностики качества и долговечности огнезащитных покрытий // Электроника и электротехника. – 2016. – № 1. – С. 146–160. – DOI: 10.7256/2453-8884.2016.1.21075.
9. Белозеров В.В. Вектор-функция жизненного цикла материалов // «Фундаментальные и прикладные аспекты новых высокоэффективных материалов»: сб. мат-лов II Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием. – Казань: ИП Синяев Д.Н., 2014. – С. 11–13.
10. Белозеров В.В. Автоматизированная система испытаний материалов электротехнической и радиоэлектронной промышленности с контролем их пожарной опасности: дис... канд. тех. наук: – М.: АГПС МЧС РФ, 2008. – 153 с.
11. Белозеров В.В., Босый С.И., Мазурин И.М. Способ адаптивного термоциклирования и система его реализации. – Заявка на изобретение № 2009121080, опубл. 10.12.2010, бюл. № 34.
12. Алексеев М.К., Бизин И.Н., Горчакова Л.И. и др. Способ получения керамических изделий на основе волластонита. – Патент РФ на изобретение № 2524724, опубл. 10.08.2014, бюл. № 22.

13. Босый С.И., Буйло С.И. О синхронизации термического анализа с акустической эмиссией и электрометрией // Электроника и электротехника. – 2016. – № 1. – С. 1–20.
14. Белозеров Вл.В., Буйло С.И., Прус Ю.В. Совмещенный термогравиметрический и акустико-эмиссионный способ определения стадий термодеструкции веществ и материалов и устройство для его осуществления. – Патент РФ на изобретение № 2324923. – Оpubл. 20.05.2008, бюл. № 14.
15. Ежевская Т.Б., Бубликов А.В. История и перспективы применения инфракрасных фурье-спектрометров «инфралюм» ФТ-801 в лабораториях судебных экспертиз при Минюсте России // Теория и практика судебной экспертизы. – 2008. – № 1 (9). – С. 219–227.
16. ГОСТ 12.1.044 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 195 с.
17. Павлов В.Н. Обобщенное уравнение зависимости концентрация (доза) - время-эффект вредного действия химических веществ на организм // Ежегодная международная научно-техническая конференция «Системы безопасности-97». – М.: МИПБ МВД РФ, 1997. – С. 80–81.
18. Белозеров В.В., Босый С.И., Буйло С.И., Прус Ю.В., Удовиченко Ю.И. Способ термодинамического акустико-эмиссионного эталонирования и система его реализующая. – Патент РФ на изобретение № 2399910, опубл. 20.09.2010, бюл. № 26.
19. Кальченко И.Е. Имитационные методы оценки качества огнезащитных покрытий // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 1 (59). – С. 5. – URL: <http://academygps.ru/ttb>.
20. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. – М.: Стандартинформ, 2018. – 9 с.
21. ГОСТ Р 53311-2009. Покрытия кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности. – М.: Стандартинформ, 2018. – 9 с.
22. ГОСТ Р 53293-2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. – М.: Стандартинформ, 2018. – 23 с.
23. Голубов А.И. Метод термоаналитического определения основных характеристик горючих жидкостей // Электроника и электротехника. – 2018. – № 1. – С. 1–7.
24. Голубов А.И. Термоэлектроакустический метод анализа жидких сред и огнезащитных покрытий // Студенческий научный форум. – 2017: Материалы IX Международной студенческой научной конференции. – URL: <http://scienceforum.ru/2017/article/2017030353>.
25. Способ экспресс-анализа жидких фасованных продуктов и установка для его осуществления / В.В. Белозеров, А.Д. Лукьянов, П.С. Обухов, Д.В. Абросимов, А.Ю. Любавский, Вл.В. Белозеров. – Патент на изобретение RU 2696810, опубл. 06.08.2019, бюл. 22.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Белозеров Валерий Владимирович**, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», г. Ростов-на-Дону, Россия, ORCID: 0000-0001-6999-7804, e-mail: [safeting@mail.ru](mailto:safeting@mail.ru)

**Голубов Андрей Иванович**, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия, ORCID: нет, e-mail: [andreasen@yandex.ru](mailto:andreasen@yandex.ru)

**Кальченко Иван Евгеньевич**, соискатель, кафедра автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия, ORCID: нет, e-mail: [ivanmd@mail.ru](mailto:ivanmd@mail.ru)

**Нгуэн Туан Ань**, к.т.н., доцент, Институт пожарной безопасности, г. Ханой, Вьетнам, ORCID: 0000-0002-0230-9066, e-mail: [tuan\\_moskva@mail.ru](mailto:tuan_moskva@mail.ru)

**Топольский Николай Григорьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России, академик РАЕН, г. Москва, Россия, ORCID: 0000-0002-0921-4764, e-mail: [ntopolskii@mail.ru](mailto:ntopolskii@mail.ru)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

*Статья поступила в редакцию: 18.04.2020.*

*Статья поступила в редакцию после рецензирования: 22.05.2020.*

*Статья принята к публикации: 04.06.2020.*