

**И. В. ГРИГОРЬЕВ**, магистр информационных систем, автор изобретения, главный конструктор, ведущий разработчик изделия (e-mail: grigoryev.igor.com)

**В. В. КУТУЗОВ**, канд. техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: kutuzov-w@mail.ru)

**В. А. БЕЗРУКОВ**, канд. техн. наук, доцент, доцент факультета безопасности информационных технологий, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО) (Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49; e-mail: bezrukov.1950@mail.ru)

**А. П. КОРОЛЬКОВ**, канд. техн. наук, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: akorolkov@ro.ru)

**Ш. А. ОСМАНОВ**, инспектор отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: 28029005@mail.ru)

УДК 614.842.435

## ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АЭРОДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ И РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ И ДРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

Обоснована необходимость применения электроиндукционного метода контроля параметров аэродисперсной системы среды для решения задач раннего обнаружения пожароопасной ситуации. Предложено для решения задачи раннего обнаружения потенциального загорания обеспечить круглосуточный мониторинг наличия (появления) в воздухе аэродисперсной системы — газодымовых аэрозолей электроиндукционным методом контроля ее параметров, который позволяет анализировать изменения в широком диапазоне фракций аэрозольных частиц. Подтвержден факт обнаружения извещателем ИП 216-М5 газодымовых аэрозолей в аэродисперсной системе при нагреве среды и конструктивных элементов в районе возможного очага пожара.

**Ключевые слова:** термическое разложение; газодымовая аэрозоль; аспирационный пожарный извещатель; предотвращение загорания; датчик “запаха гари”; частицы дыма; анализ дисперсной среды.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.12.37-48

### Введение

Раннее обнаружение потенциального очага загорания дает возможность предотвратить пожар, а в случае его возникновения ликвидировать его последствия с минимальными затратами. Это возможно, если признаки горения обнаруживаются автоматическими системами пожарной сигнализации на стадии начального термического разложения горючих материалов. Известно, что основными информационными характеристиками пожара являются такие параметры, как температура, электромагнитное излучение пламени, дымообразование и выделение токсичных газов. Задача обнаружения перегрева

электроизоляционных материалов, возникающего вследствие перегрузки оборудования при температурах менее 200 °С (т. е. задолго до температуры их самовоспламенения), может быть решена с помощью пожарных извещателей, работающих на принципе электроиндукционного метода обнаружения частиц дыма. К таким приборам относится извещатель пожарный ИП 216-М5, селективная чувствительность которого к высокодисперсным частицам дыма позволяет сократить время обнаружения медленно развивающегося загорания и принять необходимые меры по его предупреждению на самом раннем этапе развития пожароопасной ситуации [1].

© Григорьев И. В., Кутузов В. В., Безруков В. А., Корольков А. П., Османов Ш. А., 2018

Этот метод ориентирован, в первую очередь, на работу в системах предупреждения аварий электротехнического и энергетического оборудования, так как он дает возможность обнаружить потенциальный очаг загорания до возникновения открытого пламени и перехода процесса загорания в первую стадию пожара.

Основная цель применения электроиндукционного метода обнаружения частиц дыма с использованием извещателя ИП 216-М5 — дополнить набор существующих средств пожарной автоматики высокочувствительными извещателями раннего обнаружения пожароопасной ситуации и обеспечить импортозамещение дорогостоящего оборудования иностранных производителей.

### **Электроиндукционный метод исследования параметров аэродисперсной системы и обнаружения пожароопасной ситуации**

#### **Постановка задачи**

Анализ процесса, приводящего к возгоранию, показывает, что развитие пожара зачастую начинается с появления слабых изменений физических характеристик среды рядом с местом возгорания.

Полагается, что для раннего обнаружения потенциального пожара на объекте защиты, где в качестве основной пожарной нагрузки выступают материалы с высокой дымообразующей способностью, достаточно контролировать состояние воздушной среды на предмет наличия в ней аэрозольных продуктов термоокислительной деструкции — частиц дыма, появляющихся при низкотемпературном термическом разложении различных горючих материалов, в том числе полимеров. Эти продукты достаточно быстро распространяются воздушными потоками и могут быть зарегистрированы пожарными извещателями, установленными на защищаемом объекте [1–5].

Аэрозоль (дым) — это аэродисперсная система, представляющая собой совокупность твердых или жидких частиц, взвешенных в газовой среде. Дисперсионные аэрозоли образуются в результате измельчения или распыления исходного материала и перевода его во взвешенное состояние, конденсационные аэрозоли — вследствие объемной конденсации насыщенных паров либо газовых реакций, ведущих к образованию нелетучих продуктов. Дисперсионные аэрозоли содержат значительно более крупные частицы, чем конденсационные, и в силу особенностей образования представляют собой полидисперсные системы. В конденсационных аэрозолях твердые частицы состоят из большого количества первичных частиц шарообразной или правильной кристаллической формы. Для аэродис-

персных систем характерен процесс коагуляции, под которым понимается объединение мелких частиц в более крупные под влиянием сил сцепления. При коагуляции жидких капелек образуются капли с шарообразной или эллипсоидной формой. В случае коагуляции твердых частиц образуются различные агрегаты неправильных форм с сильно развитой поверхностью, иногда их называют кластерами. В атмосфере встречаются как конденсационные, так и дисперсионные аэрозоли [1–4, 6–8].

Аэродисперсная система никогда не бывает устойчивой, поскольку в ней протекают процессы переноса воздушных масс, дисперсионные и конденсационные процессы, возникают вихревые потоки, происходит коагуляция частиц, седиментация под действием силы тяжести, испарение и пр. Все это приводит к тому, что аэрозольные измерения носят статистический характер.

Для раннего обнаружения продуктов термоокислительной деструкции наиболее перспективны дымовые пожарные извещатели, поскольку выход дымового аэрозоля на ранней стадии термического разложения материалов (до воспламенения) в 2–5 раз превышает по массе выход газообразных продуктов, а химический состав аэрозольных (дымовых) частиц не влияет на работу извещателей [1–4, 7, 9].

Газовые пожарные извещатели также могут оказаться весьма эффективным средством для раннего обнаружения пожароопасной ситуации. Однако они имеют существенный недостаток: они в состоянии зарегистрировать в воздушной среде лишь один или несколько конкретных газов, выделяющихся при термическом разложении материалов. Вместе с тем нет никакой гарантии, что термоокислительная деструкция в начальной стадии будет сопровождаться выделением именно тех газов, на которые реагирует конкретный газовый пожарный извещатель [1]. В связи с отсутствием выверенной методики применения газовых пожарных извещателей возникают проблемы при их эксплуатации, в частности большое количество ложных срабатываний.

Наиболее широкое распространение в настоящее время получили оптические дымовые пожарные извещатели [1–3, 6–8, 10]. Однако их технические характеристики не позволяют обнаружить дымовые частицы размером менее 0,2 мкм (из-за дифракции), в результате чего из анализа выпадает более 95 % аэрозольных частиц из диапазона от 0,01 до 1 мкм. Именно поэтому применение оптических пожарных извещателей для обнаружения потенциальных загораний на ранней стадии развития, а также для идентификации пожароопасной ситуации не представляется возможным [1].

Для раннего обнаружения пожароопасной ситуации можно использовать ионизационные дымовые

пожарные извещатели, так как они способны анализировать широкий спектр частиц дыма. Их действие основано на том, что дым, попадая в ионизационную камеру, уменьшает электрическую проводимость газов за счет осаждения части легких газовых ионов на частицы дыма, электрическая подвижность которых значительно меньше, чем у первых [4, 6, 11]. Однако они имеют ограничения по чувствительности и возможности регистрации субмикронных частиц дыма, которые по подвижности близки к газовым ионам. Кроме того, применение закрытых радиоактивных источников требует контроля радиационной безопасности и учета радиоактивных веществ. В связи с этим использование этих извещателей существенно ограничено [1].

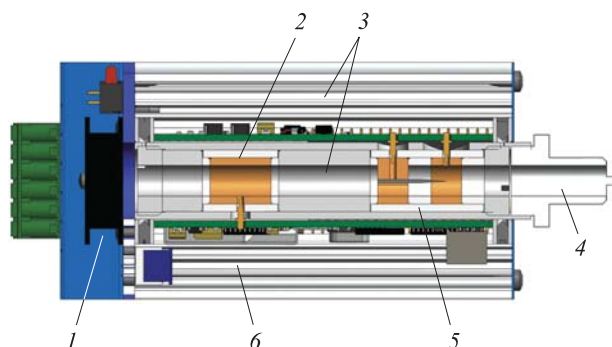
Применение аспирационных систем обнаружения пожаров, несомненно, показало их высокую эффективность, однако их чувствительным элементом является оптопара. Кроме того, эти системы в основном зарубежного производства либо большинство их компонентов изготовлены за рубежом, что обуславливает их высокую стоимость. Исходя из взятого нашей страной курса на импортозамещение в секторе промышленности и экономики, применение данных систем в настоящее время неэффективно.

### Материалы и методы

Выбор материалов для проведения экспериментов по применению электроиндукционного метода для обнаружения начала их термического разложения проводился исходя из того, что изоляция электротехнических материалов может подвергаться перегреву в связи с увеличением силы тока, протекающего по жилам кабельной продукции, из-за аварийной ситуации, возникшей при работе электрооборудования.

Электроиндукционный метод контроля параметров аэродисперсной системы позволяет непрерывно анализировать изменения в широком диапазоне спектра аэрозольных частиц и обладает высокой чувствительностью.

Электроиндукционный метод обнаружения пожароопасной ситуации заключается в том, что измеряется объемный электрический заряд исследуемого аэрозоля, который прокачивается побудителем расхода через измерительную линию, состоящую из зарядной и измерительной камер. В зарядной камере аэрозольные частицы получают электрический заряд, пропорциональный их размеру. В дальнейшем заряженные частицы, проходя через измерительную камеру, наводят на нее заряд, величина которого зависит от их размера и счетной концентрации. Величина заряда, получаемого в измерительной камере, усиливается и подвергается последу-



**Рис. 1.** Конструкция электроиндукционного автоматического пожарного извещателя ИП 216-М5: 1 — вентилятор; 2 — измерительная камера; 3 — высоковольтная плата; 4 — штуцер забора воздуха; 5 — зарядная камера; 6 — плата обработки

**Fig. 1.** Schematic of an electro-inductive automated fire detector IP 216-M5: 1 — fan; 2 — metering chamber; 3 — high voltage board; 4 — air inlet fitting; 5 — charging chamber; 6 — processing board

ющей обработке. В результате формируется тот или иной полезный сигнал.

Конструкция пожарного извещателя ИП 216-М5, реализующего электроиндукционный метод обнаружения загораний, приведена на рис. 1.

Достоверность контролируемых параметров аэродисперсной системы тем выше, чем шире диапазон размеров анализируемых аэрозольных частиц и больше объем анализируемой пробы. Эти два критерия являются очень важными для аэрозольных (дымовых) пожарных извещателей, так как они напрямую влияют на помехозащищенность от случайных сигналов и на время обнаружения пожароопасной ситуации.

Исследования естественных фоновых изменений спектров распределения аэрозольных частиц по размеру показали, что в воздушной среде постоянно присутствуют мельчайшие аэрозольные частицы размером от 0,01 мкм и менее до единиц мкм [1–3, 6, 12–15]. В 1 дм<sup>3</sup> атмосферы может находиться около 2 миллионов таких частиц (табл. 1).

Естественные изменения фоновых фракционных концентраций незначительны и представлены в табл. 2 и 3.

В случае нестандартных (нештатных) ситуаций (дым от сигареты, перегоревшего двигателя и т. п.) изменения фракционных концентраций начинают проявляться сначала в области высокодисперсных (из самых мелких фракций) аэрозолей, а затем плавно (в течение десятков минут) сдвигаются к фракциям с размером частиц 1 мкм [1].

Таким образом, для раннего обнаружения нестандартной или пожароопасной ситуации необходимо следить за высокодисперсной (с размером частиц менее 0,1 мкм) частью спектра распределения частиц. Это позволит на десятки минут и более сократить

**Таблица 1.** Распределение аэрозольных частиц, содержащихся в 1 дм<sup>3</sup> воздушной среды, по 8 фракциям в диапазоне от 0,01 до 1 мкм

**Table 1.** The distribution of aerosol particles in 8 fractions within the range of 0,01 to 1 μm contained within 1 dm<sup>3</sup> cubic decimeter

Параметр Parameter	Номер фракции / Fraction number							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Средний диаметр частиц, мкм / Average particle diameter, μm							
	0,0133	0,0237	0,0422	0,075	0,133	0,237	0,422	0,75
Среднее число частиц в 1 дм <sup>3</sup> Average particle amount within 1 dm <sup>3</sup>	556000	556000	450000	262000	148000	60000	12000	2000
Доля фракции в общем объеме частиц, % масс. Proportion of fraction in total volume, % by mass	27	27	22	12,8	7,2	2,9	0,58	0,1

**Таблица 2.** Собственные колебания фоновых фракционных концентраций при отсутствии источников, выделяющих аэрозоль (значения пронормированы по № 8 ( $N_{8cp}$ ))

**Table 2.** Background fractional concentrations' fluctuation when aerosol-distribution sources are absent (values are normalized by No. 8 ( $N_{8avg}$ ))

Параметр Parameter	Номер фракции $N_i$ / Fraction number $N_i$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$N_{i min} / N_{8cp} / N_{i min} / N_{8avg}$	139	168	136	95	59	17	2	0,26
$N_{i cp} / N_{8cp} / N_{i avg} / N_{8avg}$	278	278	225	131	74	30	6	1
$N_{i max} / N_{8cp} / N_{i max} / N_{8avg}$	537	377	317	160	103	50	11,2	2,6

**Таблица 3.** Собственные колебания фоновых фракционных концентраций в относительных значениях при отсутствии источников, выделяющих аэрозоль

**Table 3.** Relative values of background fractional concentrations' fluctuation when aerosol-distribution sources are absent

Параметр Parameter	Номер фракции $N_i$ / Fraction number $N_i$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$N_{i min} / N_{i cp} / N_{i min} / N_{i avg}$	0,5	0,6	0,6	0,7	0,79	0,57	0,33	0,26
$N_{i cp} / N_{i cp} / N_{i avg} / N_{i avg}$	1	1	1	1	1	1	1	1
$N_{i max} / N_{i cp} / N_{i max} / N_{i avg}$	1,93	1,35	1,4	1,21	1,38	1,66	1,86	2,6

время обнаружения загорания дымовыми пожарными извещателями [1–3, 6, 16, 17].

Дымовые извещатели, работающие на основе электроиндукционного метода, обладают повышенной чувствительностью к высокодисперсным частицам. Это обусловлено тем, что мелкие частицы вносят самый значительный вклад в увеличение объемного суммарного электрического заряда при нестандартных или нештатных ситуациях за счет своего количества. Помимо этого, в увеличение заряда вносят свою долю и те частицы, размеры которых близки к размерам отдельных молекул. Правда, следует отметить, что зарядка их носит случайный характер, тем не менее их доля все равно значительна.

Социальный и экономический эффект от производства и внедрения электроиндукционного извещателя ИП 216-М5 обуславливается:

- невысокой стоимостью извещателя, которая в 5 раз ниже по сравнению с аспирационными извещателями аналогичного функционала;
- отечественным происхождением комплектующих извещателя.

### Определение начальных температур термического разложения изоляционных материалов

#### Результаты и их обсуждение

Для решения задачи обнаружения перегрева изоляционных материалов, возникающего вследствие перегрузки оборудования, и определения температуры, при которой начинается их термическое разложение, сопровождающееся выделением аэрозоля, проведена серия экспериментов с использованием электроиндукционного пожарного извещателя.



Граничные условия эксперимента:

- помещение площадью  $120 \text{ м}^2$ , с высотой потолка 3,5 м;
- температура воздуха в помещении  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ , атмосферное давление 754 мм рт. ст.;
- работа с выделением аэрозоля в помещении не проводится;
- в помещении работает система очистки воздуха, ведется постоянный контроль за его чистотой.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

Нагрев образцов осуществляется в паяльной ванночке СТ-11С (рис. 3), которая на рис. 2 обозначена как плита. Перед каждым экспериментом паяльная ванночка прокаливается для выжигания случайно попавших в нее материалов. Испытуемые материалы укладываются в ванночку в предварительно прокаленной алюминиевой фольге. Максимальная температура нагрева паяльной ванночки  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Средняя скорость нагрева  $45 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Расстояние от дна ванночки до воздухозаборного отверстия извещателя ИП 216-М5  $H = 7 \text{ см}$ .

Масса испытуемых образцов лежит в пределах от 0,1 до 3 г. После окончания каждого эксперимента

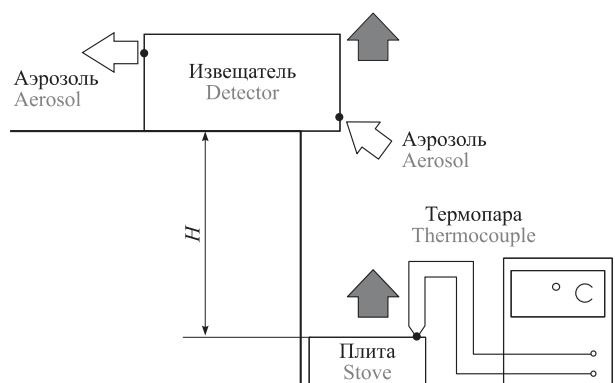


Рис. 2. Схема размещения оборудования

Fig. 2. Equipment placement scheme

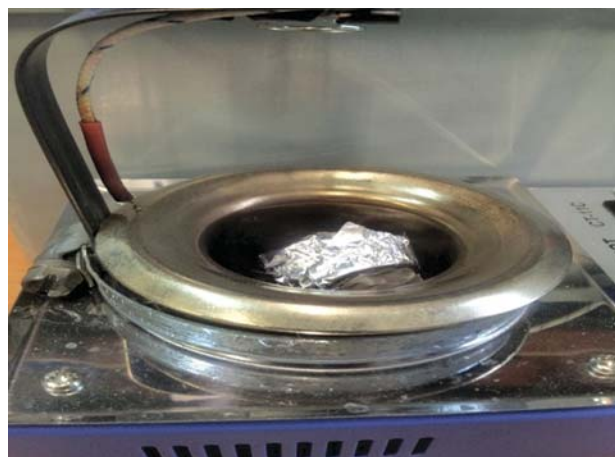


Рис. 3. Паяльная ванночка СТ-11С

Fig. 3. Soldering pot ST-11S

остатки образца утилизируются вместе с фольгой. Массовая фоновая концентрация аэрозоля в помещении поддерживается на уровне  $0,01 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

#### Используемое оборудование и приборы

Контроль температуры нагрева проводится с помощью мультиметра с термопарой в режиме измерения температуры с шагом  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Начало процесса термического разложения фиксируется электроиндукционным пожарным извещателем ИП 216-М5 (рис. 4).

Основные технические характеристики извещателя ИП 216-М5:

- размеры контролируемых частиц — от 0,01 до десятков мкм;
- рабочий диапазон по массовой концентрации аэрозоля — от 0,01 до десятков  $\text{мг}/\text{м}^3$ , погрешность метода — 20 %.

В извещатель ИП 216-М5 введены следующие настройки:

- первый порог (Alarm) — 1,5 фоновых значения ( $0,015 \text{ мг}/\text{м}^3$ );
- второй порог (Fire) — 3 фоновых значения ( $0,03 \text{ мг}/\text{м}^3$ );
- временные задержки по первому порогу — 3 с;
- временные задержки по второму порогу — 5 с.

Температура разложения испытуемого материала определяется по показаниям термопары, чувствительный элемент которой соприкасается с нагреваемой поверхностью паяльной ванночки.

В ванночку кладется в алюминиевой фольге обезжиренный испытуемый образец материала и включается нагрев. В процессе разогрева материала наступает момент, когда начинается его термическое разложение, сопровождающееся выделением в атмосферный воздух частиц разлагающегося материала, увеличивающих массовую концентрацию аэрозоля. Когда в зоне контроля извещателя ИП 216-М5 массовая концентрация аэрозоля увеличится до

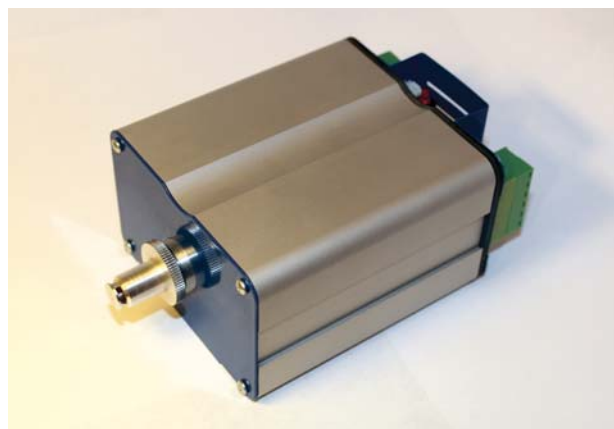


Рис. 4. Электроиндукционный пожарный извещатель ИП 216-М5

Fig. 4. Electrostatic induction fire detector IP 216-M5

**Таблица 4.** Температуры начала и стабилизации термического разложения материалов или образцов кабельной продукции, сопровождающегося выделением аэрозоля

**Table 4.** Temperatures, at which thermal decomposition begins, followed by aerosol discharge

Группа Group	Диапазон температур Alarm-Fire, °C Temperature range of Alarm-Fire, °C	Образец Sample
А А (100–140 °C)	100–134	Бумага термостойкая Heat resistant paper
	113–127	Хлопчатобумажная ткань Cotton fabric
	115–143	Древесина, сосна Wood, pine
	134–140	Воздухозаборная труба аспирационных извещателей Aspiration detectors' intake tube
Б В (140–180 °C)	140–170	Утеплитель ИЗОВЕР Heater IZOVER
	146–180	Поролон Foam rubber
	146–198	Провод КПСЗнг(А)-FRLS 2×2 Wire KPSZng(A)-FRLS 2×2
	150–180	Древесина, дуб Wood, oak
	154–187	Древесина, осина Wood, aspen
	155–162	Провод ШВВП Wire ShVVP
	156–190	Кабель КСРВнг(А)-FRLSLTx 1×2×0,80 Cable KSRVng(A)-FRLSLTx 1×2×0.80
	156–200	Кабель Parlans/ftcat 6а 4×2×0,57 Cable Parlans/ftcat 6a 4×2×0.57
	164–170	Картон Cardboard
	169–170	Резина Rubber
	170–173	Труба ПВХ армированная, прозрачная PVC pipe reinforced, transparent
	170–175	Провод Севкабель ПВС, внешняя изоляция PVS Sevkael wire, external insulation
	172–175	Винипласт Viniplast
	179–187	Кабель КПКРВнг(А)-FRLS 4×0,75 Cable KPKRVng(A)-FRLS 4×0.75

Окончание табл. 4 / End table 4

Группа Group	Диапазон температур Alarm-Fire, °C Temperature range of Alarm-Fire, °C	Образец Sample
В С (180–220 °C)	180–190	Кабель ВВГнг(А)-LS 3×2,5 Cable VVGng(A)-LS 3x2.5
	180–200	Пенопласт Styrofoam
	180–207	Провод TELECOM CRTSE FTR 24AW3 TIA/EIA Wire TELECOM CRTSE FTR 24AW3 TIA/EIA
	184–193	Полиэтилен, пленка Polyethylene
	190–198	Кабель канал Cablechannel
	190–205	Оргстекло Plexiglass
	190–226	Труба металлопластиковая Metal-plastic pipe
	194–200	Полипропилен Polypropylene
	198–203	Провод Севкабель ПВС, изоляция на проводниках PVS Sevkael wire, insulation on conductors
	200–220	Кабель Транскаб КМЭПнг(А)-HF 3×0,5 Cable Transkab KMEPng(A)-HF 3x0.5
	200–236	Кабель Транскаб DATABUSSF/UTRнг(А)-HF 1×2×0,90 Cable Transkab DATABUSSF/UTRng(A)-HF 1x2x0.90
	202–212	Труба гофрированная, серая Corrugated pipe, grey
	207–218	Труба ПВХ, прозрачная PVC pipe, transparent
	217–220	Кабель Транскаб DATABUSSF/UTRнг(А)-HF 1×4×0,9 Cable Transkab DATABUSSF/UTRng(A)-HF 1x4x0.9
Г Д (свыше 220 °C)	230–243	Труба гофрированная, черная Corrugated pipe, black
	302–325	Провод МГТФ-0,2 Wire MGTF-0.2

1,5 фоновых значений в течение не менее 3 с, извещатель срабатывает по первому порогу (Alarm). В этот момент фиксируется начало термического разложения испытуемого образца, а по показаниям термопары определяется начальная температура разложения.

**Таблица 5.** Температура начала термического разложения материалов  $t_{т.р}$  и температура их самовозгорания  $t_{с.в}$   
**Table 5.** Temperatures, at which thermal decomposition begins  $t_{th,d}$  and auto ignition temperatures for following materials  $t_{a,i}$

№ п/п No.	Образец Sample	Alarm-Fire $t_{т.р}, ^\circ\text{C}$ Alarm-Fire $t_{th,d}, ^\circ\text{C}$	$t_{с.в}, ^\circ\text{C}$ $t_{a,i}, ^\circ\text{C}$
1	Бумага термостойкая Heat resistant paper	100–134	230
2	Древесина, сосна Wood, pine	115–143	270
3	Поролон Foam rubber	146–180	450
4	Древесина, дуб Wood, oak	150–180	250–300
5	Древесина, осина Wood, aspen	154–187	275
6	Картон Cardboard	164–170	278
7	Резина Rubber	169–170	350
8	Винипласт Viniplast	172–175	> 600
9	Пенопласт Styrofoam	180–200	491
10	Полиэтилен, пленка Polyethylene, film	184–193	350–422
11	Оргстекло Plexiglass	190–205	280–300
12	Полипропилен Polypropylene	194–200	350
13	Труба ПВХ, прозрачная PVC pipe, transparent	207–218	454
14	Провод МГТФ-0,2 Wire MGTF-0.2	302–325	537–600

Затем, если продолжается рост массовой концентрации аэрозоля и когда она достигает не менее 3 фоновых значений в течение не менее 5 с, извещатель срабатывает по второму порогу (Fire), подтверждая положительную динамику роста термического разложения испытуемого образца. По показаниям термопары определяется второе значение температуры, которое предопределяет наличие устойчивого процесса термического разложения.

Температуры, при которых начинается термическое разложение материалов и образцов кабельной продукции, приведены в табл. 4–6.

Медленно развивающаяся пожароопасная ситуация может нести достаточно серьезную опасность, поскольку “нагрев любых материалов ниже температур их самовозгорания сопровождается выделением токсичных газов и подготовкой этих материалов к последующему интенсивному горению” [18–20].

Испытуемые материалы в табл. 4 расположены в порядке возрастания их начальной температуры термического разложения, определяемой по срабатыванию первого порога (Alarm). Это означает увеличение массовой концентрации аэрозоля в зоне, контролируемой извещателем ИП 216-М5, до 0,015 мг/м<sup>3</sup>. Срабатывание второго порога (Fire) при массовой концентрации аэрозоля 0,03 мг/м<sup>3</sup> определяет верхнюю границу начального температурного диапазона термического разложения.

Разница между этими температурами характеризует интенсивность термического разложения материала. Так, например, у образца воздухозаборной трубы аспирационных пожарных извещателей эта разница составляет 6 °C, резины — 1 °C, кабеля Транскаб PATCHSF/UTRCATSE 4×2×0.78 — почти 100 °C.

Это говорит о том, что одни материалы при нагреве сразу начинают интенсивно разлагаться, а у других интенсивность термического разложения растет только при значительном увеличении температуры нагрева [10, 21].

Анализируя данные, приведенные в табл. 5, приходим к следующему заключению: практически у всех материалов разница между температурой самовоспламенения и начальной температурой термического разложения превышает 200 °C, а значит, обнаружение потенциального очага пожара возможно задолго до появления открытого пламени.

Температуры начала термического разложения кабелей, сопровождающегося выделением аэрозоля  $t_{т.р}$ , приведены в табл. 6.

Результаты этой серии экспериментов и анализа данных, приведенных в табл. 5 и 6, показывают, что начальные температуры термического разложения некоторых кабелей настолько низкие, что их использование должно иметь ограниченный характер. Медленно разлагающийся кабель — это потенциальный источник пожара, поскольку неисправность электрической проводки является одной из основных причин загорания.

## Выводы

Практически все горючие материалы имеют разницу между температурой самовоспламенения и начальной температурой термического разложения более 200 °C. Следовательно, обнаружение потенциального очага пожара возможно заранее, до появления открытого пламени.

Практически все испытуемые материалы при нагреве от 100 до 200 °C подвергаются термическому разложению, сопровождающемуся выделением аэрозольных частиц, которые могут быть обнаружены электроиндукционным пожарным извещателем.

**Таблица 6.** Температуры начала термического разложения кабелей, сопровождающегося выделением аэрозоля

**Table 6.** Temperature of cables' initial thermal decomposition, followed by aerosol discharge

№ п/п No.	Образец Sample	$t_{т.р}, ^\circ\text{C}$ $t_{th.d}, ^\circ\text{C}$
1	Внутренняя оболочка КРЭнг(А)-FRHF Inner shell KREng(A)-FRHF	133–144
2	Внешняя оболочка КРЭнг(А)-FRHF Outer shell KREng(A)-FRHF	134–137
3	Изоляция проводника КРнг(А)-FRHF Conductor insulation KRng(A)-FRHF	144–158
4	Внешняя оболочка КРнг(А)-FRHF Outer shell KRng(A)-FRHF	145–149
5	Кабель КРнг(А)-FRHF Cable KRng(A)-FRHF	150–156
6	Изоляция проводника КРЭнг(А)-FRHF Conductor insulation KREng(A)-FRHF	154–160
7	Кабель КРЭнг(А)-FRHF Cable KREng(A)-FRHF	175–184
8	Кабель Транскаб DATABUSSF/ UTRнг(А)-HF 1×2×0,90 Cable Transkab DATABUSSF/ UTRng(A)-HF 1×2×0.90	60–83
9	Кабель КППВГнг(А)-FRLS 4×1,5(N) Cable KPRVGng(A)-FRLS 4×1.5(N)	80–82
10	Внешняя оболочка КПППГнг(А)-FRHF 2×1,5(N) Outer shell KPRPGng(A)-FRHF 2×1.5(N)	90–97
11	Кабель КПКРВГнг(А)-FRLS 4×0,75 Cable KPKRVGng(A)-FRLS 4×0.75	106–115
12	Изоляция проводника КСРВнг(А)-FRLSLTx 1×2×0,80 Conductor insulation KSRVng(A)-FRLSLTx 1×2×0.80	107–114
13	Провод одножильный многопроволоч- ный Транскаб КПМнг(А)-HF 1,50 Single corewire Transkab KMPng(A)-HF 1.50	110–119
14	Кабель Транскаб DATABUSSF/ UTRнг(А)-HF 1×4×0,9 Cable Transkab DATABUSSF/ UTRng(A)-HF 1×4×0.9	115–118
15	Внешняя оболочка Паракс РК 75-4,8-319нг(А)-HF Outer shell Paraks RK 75-4.8-319ng(A)-HF	117–123
16	Кабель Транскаб PATCHSF/ UTRCAT- SEZHнг(А)-HF 1×4×0,78 Cable Transkab PATCHSF/ UTRCATSEZHng(A)-HF 1×4×0.78	117–127
17	Кабель КПППГнг(А)-FRHF 2×1,5(N) Cable KPRPGng(A)-FRHF 2×1.5(N)	121–126
18	Изоляция проводника КПППГнг(А)-FRHF 2×1,5(N) Conductor insulation KPRPGng(A)-FRHF 2×1.5(N)	122–129
19	Внешняя оболочка Parlans/ftcat 6a 4×2×0,57 Outer shell Parlans/ftcat 6a 4×2×0.57	128–133

Окончание табл. 6 / End table 6

№ п/п No.	Образец Sample	$t_{т.р}, ^\circ\text{C}$ $t_{th.d}, ^\circ\text{C}$
20	Внутренняя оболочка КПППГнг(А)- FRHF 2×1,5(N) Inner shell KPRPGng(A)-FRHF 2×1.5(N)	134–140
21	Изоляция проводника Parlans/ftcat 6a 4×2×0,57 Conductor insulation Parlans/ftcat 6a 4×2×0.57	136–144
22	Изоляция проводника Паракс РК 75-4,8-319нг(А)-HF Conductor insulation Paraks RK 75-4.8-319ng(A)-HF	137–142
23	Внешняя оболочка КСРВнг(А)-FRLSLTx 1×2×0,80 Outer shell KSRVng(A)-FRLSLTx 1×2×0.80	140–145
24	Изоляция проводника Parlans/ftcat 5EZHнг(А)-FRHF 4×2×0,57 Conductor insulation Parlans/ftcat 5EZHng(A)-FRHF 4×2×0.57	148–164
25	Кабель Parlans/ftcat 6a 4×2×0,57 Cable Parlans/ftcat 6a 4×2×0.57	151–156
26	Кабель КСРВнг(А)-FRLSLTx 1×2×0,80 Cable KSRVng(A)-FRLSLTx 1×2×0.80	153–159
27	Внешняя оболочка Parlans/ftcat 5EZHнг(А)-FRHF 4×2×0,57 Outer shell Parlans/ftcat 5EZHng(A)-FRHF 4×2×0.57	166–172
28	Кабель Паракс РК 75-4,8-319нг(А)-HF Cable Paraks RK 75-4.8-319ng(A)-HF	174–176
29	Кабель ВВГнг(А)-LS 3×2,5 Cable VVGng(A)-LS 3×2.5	188–190
30	Кабель Parlans/ftcat 5EZHнг(А)-FRHF 4×2×0,57 Cable Parlans/ftcat 5EZHng(A)-FRHF 4×2×0.57	199–204

Целый ряд наименований электротехнических материалов и кабельной продукции имеет настолько низкие начальные температуры термического разложения, что в ряде случаев их использование должно носить ограниченный характер.

Электроиндукционные пожарные извещатели способны обнаруживать аэрозольные продукты термического разложения различных материалов при их массовой концентрации менее 0,1 мг/м<sup>3</sup>, что позволяет обеспечить качественно более высокий уровень пожарной безопасности.

Электроиндукционный метод контроля параметров аэродисперсной системы, реализованный в извещателе ИП 216-М5, следует рассматривать как эффективное дополнение к существующим методам и технологиям обнаружения пожаров, применяемым в системах пожарной сигнализации.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солонько В. А., Шабардин А. Н., Колесник В. А., Григорьев В. С., Григорьев И. В. Возможность раннего обнаружения пожароопасной ситуации на судах и береговых объектах флота // Морской вестник. — 2008. — № 3(27). — С. 57–61.
2. Григорьев В. С., Григорьев И. В., Михаленков С. В., Шабардин А. Н. Раннее обнаружение пожароопасной ситуации // Судостроение. — 2008. — № 3(778). — С. 44–47.
3. Григорьев В. С., Григорьев И. В. Аэрозоли и связь их физических параметров с пожароопасной ситуацией // Алгоритм безопасности. — 2017. — № 1. — С. 60–63.
4. Шаровар Ф. И. Пожаропредупредительная автоматика. — М.: Специнформатика-СИ, 2013. — 556 с.
5. Nematlidi S. M., Gupta D. Nonsubsampled contourlet domain visible and infrared image fusion framework for fire detection using pulse coupled neural network and spatial fuzzy clustering // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 101. — P. 84–101. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.012.
6. Пат. 2406155 Российская Федерация, МПК G08B 17/00 (2006.01). Способ обнаружения пожароопасной ситуации / Григорьев В. С., Григорьев И. В., Солонько В. А., Шабардин А. Н. — № 2007140204/08; заявл. 30.10.2007; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34.
7. Арутюнян Д. М. Новые технологии гарантированного предотвращения пожаров / Под общ. ред. Ф. И. Шаровара. — М.: Специнформатика-СИ, 2014. — 232 с.
8. Кузюзов В. В., Минкин Д. Ю., Терехин С. Н., Османов Ш. А., Талировский К. С. Методы и технологии обнаружения пожара: монография / Под общ. ред. В. С. Артамонова. — СПб.: Астерион, 2015.
9. Кузюзов В. В., Саратов Д. Н., Терехин С. Н., Филиппов А. Г. Производственная и пожарная автоматика. Установки и системы пожарной автоматики / Под общ. ред. В. С. Артамонова. — СПб.: Астерион, 2014. — 272 с.
10. A case study in security big data analysis/RSA Conference 2012. URL: <http://darkreading.com/monitoring-a-case-study-in-security-big-data-analys/232602339> (дата обращения: 10.05.2018).
11. Малинин В. Р., Климкин В. И., Аникеев С. В., Коробейникова Е. Г., Винокурова Н. Г., Кожеевникова Н. Ю., Мельник А. А., Родионов В. А. Теория горения и взрыва: учеб. / Под общ. ред. В. С. Артамонова. — СПб.: Астерион, 2009. — 280 с.
12. Magalie C., Anne-Sophie C., Rodolphe S., Laurent F., Emmanuelle G., Christian L. Fire behaviour of electrical cables in cone calorimeter: Influence of cables structure and layout // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 99. — P. 12–21. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.05.001.
13. Возман Л. П., Корольченко И. А., Хрюкин А. В. Определение условий самовозгорания отложенных паров горючих жидкостей в воздуховодах вентиляционных систем // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 8. — С. 34–41. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.34-41.
14. Барботько С. Л., Вольный О. С. Оценка тепловыделения при горении электрических кабелей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 11. — С. 35–44. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.35-44.
15. Смелков Г. И. Пожарная безопасность электропроводок. — М.: Кабель, 2009. — 328 с.
16. Lyon R. E., Fulmer M., Walters R., Crowley S. Effect of airflow and measurement method on the heat release rate of aircraft cabin materials in the Ohio State University apparatus // Technical Report DOT/FAA/TC-TN15/34. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2016. — 20 p.
17. Einhorn I. N., Chatfield D. A., Voorhees K. J., Hileman F. D., Mickelson R. W., Israel S. C., Futrell J. H., Ryan P. W. A strategy for analysis of thermal decomposition of polymeric materials // Fire Safety Journal. — 1977. — Vol. 1, Issue 1. — P. 41–56. DOI: 10.1016/0379-7112(77)90007-8.
18. Chow W. K., Han S. S. Heat release rate calculation in oxygen consumption calorimetry // Applied Thermal Engineering. — 2011. — Vol. 31, Issue 2-3. — P. 304–310. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.09.010.
19. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation // European Journal of Operational Research. — 2016. — Vol. 253, Issue 1. — P. 1–13. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.12.023.
20. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // International Journal of Disaster Risk Reduction. — 2013. — Vol. 6. — P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.
21. He H., Zhang Q., Wang X., Wang F., Zhao L., Zhang Y. The influence of currents on the ignition and correlative smoke productions for PVC-insulated electrical wires // Fire Technology. — 2017. — Vol. 53, Issue 3. — P. 1275–1289. DOI: 10.1007/s10694-016-0634-y.

Материал поступил в редакцию 24 мая 2018 г.

**Для цитирования:** Григорьев И. В., Кутузов В. В., Безруков В. А., Корольков А. П., Османов Ш. А. Электроиндукционный метод контроля параметров аэродисперсной системы и раннего обнаружения термического разложения кабельной продукции и других материалов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 12. — С. 37–48. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.37-48.

English

## ELECTROSTATIC INDUCTION METHOD IN CONTROLLING PARAMETERS OF AERO DISPERSION SYSTEMS AND EARLY DETECTING THERMAL DECOMPOSITION IN CABLE PRODUCTS AND OTHER MATERIALS

**I. V. GRIGORIEV**, Inventor (e-mail: grigoryev.igor.com)

**V. V. KUTUZOV**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Fire Safety of Buildings and Fire Protection Automated Systems, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: kutuzov-w@mail.ru)

**V. A. BEZRUKOV**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Faculty of Information Technology Security, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverkskiy Avenue, 49, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; e-mail: bezrukov.1950@mail.ru)

**A. P. KOROLKOV**, Candidate of Technical Sciences, Professor of Department of System Analysis and Anti-Crisis Management, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: akorolkov@ro.ru)

**Sh. A. OSMANOV**, Inspector of Department of Informational Support of Population and Information Support Technology of Emergency Control and Fire Safety Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: 28029005@mail.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** For the sake of early detection of potential combustion it's expedient to apply methods, which utilize the analysis of curvature within indirect physical parameters of the area, such as aerosol and gaseous combustion products, represented by aero dispersion systems.

**Problem formulation.** Aero dispersion system can never be sustainable, reason being there are air mass transfer in progress, dispersion and condensation processes, vortex flows occur, particle coagulation takes place, sedimentation under the weight of gravity, evaporation and etc.

**Materials and methods.** Electric induction method of monitoring the parameters of aero dispersion systems implemented in the IP 216-M5 detector, allow for continuous analysis of changes within a wide spectrum of aerosol particles and possess higher sensitivity comparing to other sensor types.

The choice of materials was based on the fact, that insulation of electrotechnical materials may be subject to overheat because the increase in the electrical load current flowing within cable products through the conductors due to the emergency state of electrical equipment.

**Equipment used and appliances.** The heating temperature was controlled using a multimeter with a thermocouple, in the temperature-measuring mode in increments of one degree.

The electrostatic induction fire detector IP 216-M5, fixes the beginning of the process of thermal decomposition.

The decomposition temperature of the test material is determined by the data of a thermocouple, the sensitive element of which is in contact with the heated surface of the solder bath.

**Conclusion.** It was experimentally proved that the electrostatic induction method for controlling aerosol systems makes it possible to detect aerosol products of thermal decomposition in different

materials with their lower concentration of less than  $0.1 \text{ mg/m}^3$  10–20 minutes before ignition of the insulation within an electric cable.

The relationship between the auto-ignition temperature and the initial temperature of the thermal decomposition of the insulating sheath of electrical cables has been proven — this temperature gap is  $200^\circ\text{C}$ .

**Keywords:** thermal decomposition; aerosol; insulation; detector; smoke particles; dispersed medium analysis.

## REFERENCES

1. V. A. Solon'ko, A. N. Shabardin, V. A. Kolesnik, V. S. Grigoriev, I. V. Grigoriev. The possibility of early detection of fire dangerous situations on vessels and fleet shore installations. *Morskoy vestnik / Sea Vestnik*, 2008, no. 3(27), pp. 57–61 (in Russian).
2. V. S. Grigoryev, I. V. Grigoryev, S. V. Mikhalev, A. N. Shabardin. Early detection of fire hazard situation. *Sudostroenie / Shipbuilding*, 2008, no. 3(778), pp. 44–47 (in Russian).
3. V. S. Grigoriev, I. V. Grigoriev. Aerosols and the connection of their physical parameters to a fire hazard situation. *Algoritm bezopasnosti / Security Algorithm*, 2017, no. 1, pp. 60–63 (in Russian).
4. F. I. Sharovar. *Pozharopredupreditelnaya avtomatika* [Automatic fire prevention]. Moscow, Spetsinformatika-SI Publ., 2013. 556 p. (in Russian).
5. S. M. Nimalindin, D. Gupta. Nonsubsampled contourlet domain visible and infrared image fusion framework for fire detection using pulse coupled neural network and spatial fuzzy clustering. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 101, pp. 84–101. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.012.
6. V. S. Grigor'ev, I. V. Grigor'ev, V. A. Solon'ko, A. N. Shabardin. *Method for detecting fire hazard*. Patent RU, no. 2406155, publ. date 10.12.2010, Bull. no. 34 (in Russian).
7. D. M. Arutyunyan. *Novyye tekhnologii garantirovannogo predotvrashcheniya pozharov* [New technologies of guaranteed prevention of fires]. Moscow, Spetsinformatika-SI Publ., 2014. 232 p. (in Russian).
8. V. V. Kutuzov, D. Yu. Minkin, S. N. Terekhin, Sh. A. Osmanov, K. S. Talirovskiy. *Metody i tekhnologii obnaruzheniya pozhara. Monografiya* [Methods and technologies of fire detection. Monograph]. Saint Petersburg, Asterion Publ., 2015 (in Russian).
9. V. V. Kutuzov, D. N. Saratov, S. N. Terekhin, A. G. Filippov. *Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika. Ustanovki i sistemy pozharной avtomatiki* [Production and fire automatics. Installations and systems of fire automatics]. Saint Petersburg, Asterion Publ., 2014. 272 p. (in Russian).
10. *A case study in security big data analysis*. RSA Conference 2012. Available at: <http://darkreading.com/monitoring-a-case-study-n-security-big-data-analys/232602339> (Accessed 10 May 2018).
11. V. R. Malinin, V. I. Klimkin, S. V. Anikeev, E. G. Korobeynikova, N. G. Vinokurova, N. Yu. Kozhevnikova, A. A. Melnik, V. A. Rodionov. *Teoriya goreniya i vzryva* [Theory of combustion and explosion]. Saint Petersburg, Asterion Publ., 2009. 280 p. (in Russian).
12. C. Magalie, C. Anne-Sophie, S. Rodolphe, F. Laurent, G. Emmanuelle, L. Christian. Fire behaviour of electrical cables in cone calorimeter: Influence of cables structure and layout. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 99, pp. 12–21. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.05.001.
13. L. P. Vogman, I. A. Korolchenko, A. V. Khryukin. Determination of the self-ignition conditions for sediments of combustible liquid vapours inside air pipes of ventilating systems. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 8, pp. 34–41. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.34-41.
14. S. L. Barbotko, O. S. Volnyy. Heat release assessment at burning electric cables. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 11, pp. 35–44. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.35-44.
15. G. I. Smelkov. *Pozharnaya bezopasnost elektroprovodok* [Fire safety of wirings]. Moscow, Kabel Publ., 2009. 328 p. (in Russian).
16. R. E. Lyon, M. Fulmer, R. Walters, S. Crowley. Effect of airflow and measurement method on the heat release rate of aircraft cabin materials in the Ohio State University Apparatus. In: *Technical Report DOT/FAA/TC-TN15/34*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2016. 20 p.
17. I. N. Einhorn, D. A. Chatfield, K. J. Voorhees, F. D. Hileman, R. W. Mickelson, S. C. Israel, J. H. Futrell, P. W. Ryan. A strategy for analysis of thermal decomposition of polymeric materials. *Fire Safety Journal*, 1977, vol. 1, issue 1, pp. 41–56. DOI: 10.1016/0379-7112(77)90007-8.
18. W. K. Chow, S. S. Han. Heat release rate calculation in oxygen consumption calorimetry. *Applied Thermal Engineering*, 2011, vol. 31, issue 2-3, pp. 304–310. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.09.010.
19. T. Aven. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 2016, vol. 253, issue 1, pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.12.023.



20. D. Sornette, T. Maillart, W. Kröger. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2013, vol. 6, pp. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2013.04.002.
21. H. He, Q. Zhang, X. Wang, F. Wang, L. Zhao, Y. Zhang. The influence of currents on the ignition and correlative smoke productions for PVC-insulated electrical wires. *Fire Technology*, 2017, vol. 53, issue 3, pp. 1275–1289. DOI: 10.1007/s10694-016-0634-y.

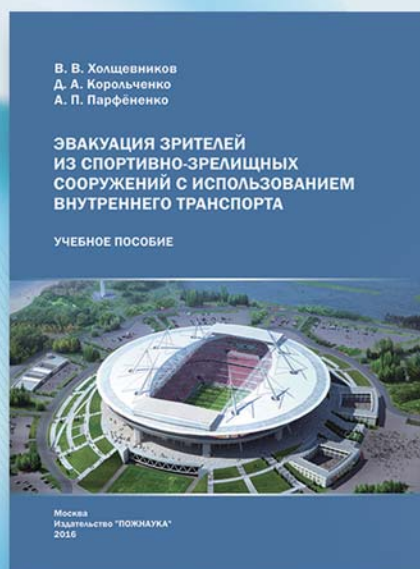
**For citation:** I. V. Grigoriev, V. V. Kutuzov, V. A. Bezrukov, A. P. Korolkov, Sh. A. Osmanov. Electrostatic induction method in controlling parameters of aero dispersion systems and early detecting thermal decomposition in cable products and other materials. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 12, pp. 37–48 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.37-48.



# ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



Холщевников В. В.  
Корольченко Д. А.  
Парфёненко А. П.

## ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА». — 88 с.

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движения людских потоков с использованием эскалаторов и лифтовых установок при различных режимах эксплуатации зданий, включая чрезвычайную ситуацию пожара, на примере реального объекта с большим количеством находящихся в нем людей.

Для заказа книги пишите нам по адресу:  
121352, г. Москва, а/я 6,  
или звоните по телефону  
8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:  
[mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru).