

# АЭРОЗОЛИ И СВЯЗЬ ИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ПОЖАРООПАСНОЙ СИТУАЦИЕЙ

**Григорьев Валерий Степанович**  
заместитель главного конструктора  
по пожарной автоматике АО «НПП «Радар ммс»,  
**Григорьев Игорь Валерьевич**  
эксперт в области автоматизированных систем

**М**ы постоянно со всех сторон слышим, что пожары случаются на объектах, где пожарная сигнализация либо отсутствует, либо не работает, а пожарные приехали слишком поздно. Возникает стереотип – установил современную пожарную сигнализацию, и нет проблем. И никто не задумывается о том, какой уровень безопасности способны обеспечить конкретные современные пожарные извещатели.

Развитие пожара часто начинается с появления слабых «паразитных» источников тепла, обнаружение которых затруднительно из-за их скрытности. Кроме того, выявление «паразитных» источников тепла затруднено присутствием фоновых сигналов от «полезных» источников. Поэтому для раннего обнаружения потенциального очага возгорания или пожароопасной ситуации применяют методы, использующие анализ изменения физических параметров среды, косвенно связанных с появлением потенциально опасных источников тепла. Наибольшую эффективность в настоящее время имеют дымовые (аэрозольные) пожарные извещатели.

## **ДЫМ – ЭТО ТОЖЕ АЭРОЗОЛЬ**

**Аэрозоль** – 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** – при объемной конденсации насыщенных паров, либо в результате газовых реакций, ведущих к образованию нелетучих продуктов.

**Термические аэрозоли** – при термическом разложении различных горючих материалов.

Дисперсионные аэрозоли содержат значительно более крупные частицы, чем конденсационные и термические, и в силу особенностей образования они полидисперсные. Твердые частицы дисперсионного аэрозоля имеют неправильную форму.

В конденсационных и термических аэрозолях твердые частицы состоят из боль-

шого количества первичных частиц, имеющих шарообразную или правильную кристаллическую форму. При коагуляции жидких капелек образуются капли с шарообразной или эллипсоидной формой (коагуляция – это объединение мелких частиц в более крупные под влиянием сил сцепления). В случае коагуляции твердых частиц образуются различные агрегаты неправильных форм с сильно развитой поверхностью, иногда их называют кластерами.

Аэродисперсная система никогда не бывает устойчивой, поскольку в ней постоянно протекают процессы переноса воздушных масс, дисперсионные и конденсационные процессы, возникают вихревые потоки, происходит коагуляция частиц, седиментация под действием силы тяжести, испарение.

Появление «паразитных», потенциально опасных источников тепла, сопровождается выделением термических аэрозолей (дымовых частиц), иногда, в зависимости от интенсивности нарастания температуры, в довольно больших количествах. Аэрозольные продукты, появляющиеся при термическом разложении различных горючих материалов, достаточно быстро распространяются воздушными потоками.

Экспериментальные исследования показывают, что время распространения аэрозольного облака от места возникновения потенциального очага пожара по помещению объемом 120 м<sup>3</sup> составляет от 8 до 10 минут [1]. В результате изменяется один из основных параметров аэродисперсной системы – счетная концентрация аэрозольных частиц и, как следствие, весовая концентрация аэрозоля, и другие параметры ее характеризующие.

Из [1] известно также, что имеются естественные изменения фоновых фракционных концентраций, которые при отсутствии случайных источников, выделяющих аэрозоль, незначительны (таблица 1, рис. 1).

$N_i$  – расчетная концентрация аэрозольных частиц  $i$  фракции.

Из графика, представленного на рисунке 1, видно, что колебания фоновых фракционных концентраций при отсутствии источников, выделяющих аэрозоль, незначительны, и наиболее стабильно ведут себя частицы в диапазоне размеров от 0,02

Табл. 1. Собственные колебания фоновых фракционных концентраций Ni по отношению к Ni ср (Ni/Ni ср) при отсутствии источников, выделяющих аэрозоль

Номер фракции	1	2	3	4	5	6	7	8
Средний диаметр, мкм	0,0133	0,0237	0,0422	0,075	0,133	0,237	0,422	0,75
Ni min/Ni ср.	0,5	0,6	0,6	0,7	0,79	0,57	0,33	0,26
Ni ср. /Ni ср.	1	1	1	1	1	1	1	1
Ni max/Ni ср.	1,93	1,35	1,4	1,21	1,38	1,66	1,86	2,6

до 0,2 мкм. Наибольшие колебания фоновых концентраций проявляются в диапазоне размеров частиц размерами более 0,3 мкм.

Из графика, представленного на рисунке 2, видно, что в воздушной среде постоянно присутствуют мельчайшие аэрозольные частицы, диапазон размеров которых лежит в интервале от 0,01 мкм и менее, до единиц мкм [1]. А в одном литре чистой и прозрачной для нашего глаза атмосферы может находиться до двух миллионов аэрозольных частиц.

Следовательно, во избежание необоснованных (ложных) срабатываний извещателей, при выборе минимальных значений порогов срабатывания следует обязательно учитывать величины естественных колебаний фоновых концентраций. В особенности это касается точечных оптических пожарных извещателей, которые контролируют диапазон размеров частиц с наибольшими колебаниями фоновых концентраций. Этот фактор, несомненно, способствует возникновению необоснованных (ложных) срабатываний у точечных оптических пожарных извещателей.

**ПАРАМЕТРЫ АЭРОЗОЛЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ПОЖАРООПАСНУЮ СИТУАЦИЮ**

Для определения наиболее важных информативных физических параметров распределения по размерам аэрозольных частиц, образующихся в результате термоокислительной деструкции, в 1980 году во ВНИИПО была проведена серия экспериментов [2].

В качестве испытуемых материалов были выбраны поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ) и резина (Р), наиболее часто применяемые в качестве электроизоляционных материалов. Температура воспламенения этих материалов составляет 733, 620, 690° К соответственно.

Полученные результаты представлены на рисунках 3 и 4.

Как показали эксперименты (рис. 3), в образовавшемся при термоокислительной деструкции полимерных материалов

Рис. 3. Распределение частиц по размерам: 1 – поливинилхлорид, 2 – полиэтилен, 3 – резина

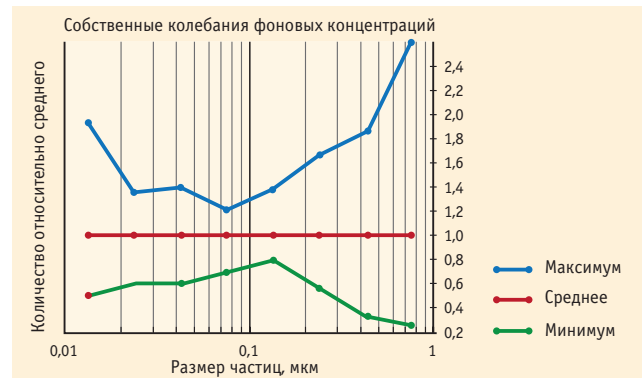
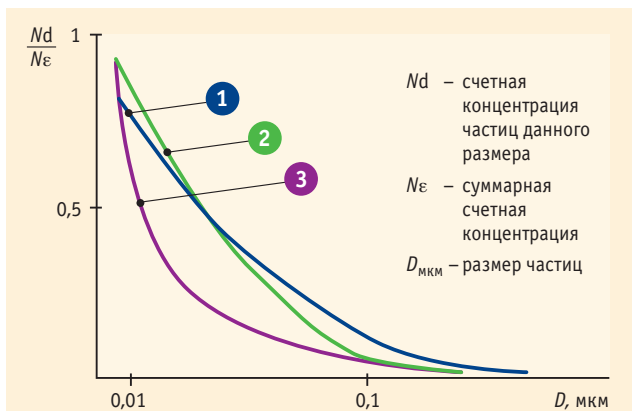
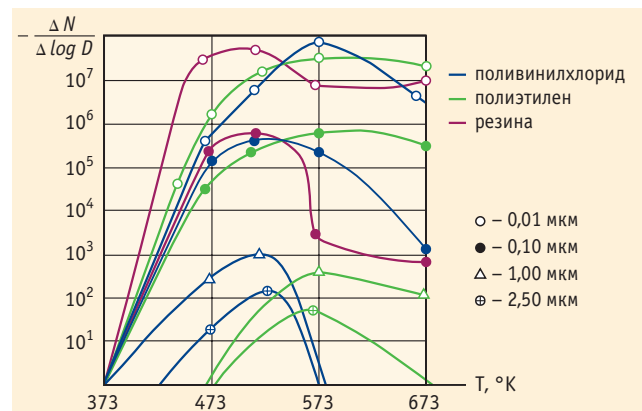


Рис. 1. Собственные колебания фоновых фракционных концентраций Ni по отношению к Ni ср (Ni/Ni ср) при отсутствии источников, выделяющих аэрозоль



Рис. 2. График распределения аэрозольных частиц, содержащихся в одном кубическом дециметре, по фракциям

Рис. 4. Дифференциальное распределение частиц по размерам



аэрозольном облаке больше всего (более 90%) частиц с размерами 0,01-0,1 мкм.

На рисунке 4 приведены экспериментальные кривые дифференциального распределения частиц по размерам в зависимости от температуры нагрева образца (с вычетом фона окружающей среды). Как видно из этих кривых, аэрозольные частицы с размером, лежащим в диапазоне 0,01-0,1 мкм, достигают счетной концентрации, на несколько порядков превышающей фон, при температурах нагрева материалов, лежащих значительно ниже (на 250–300° К), чем температура их воспламенения.

В наиболее информативном диапазоне 0,01-0,1 мкм способны пока работать только ионизационные пожарные извещатели, к которым относятся электроиндукционные и радиоизотопные извещатели. Эти извещатели реагируют на аэрозольные (дымовые) частицы любых размеров, любого цвета и любого химического состава.

Появление термических аэрозолей при возникновении пожароопасной ситуации сопровождается изменением фракционных концентраций. Сначала это проявляется в области высокодисперсных (самых мелких фракций) аэрозолей, а потом, за счет коагуляции, плавно сдвигается к фракциям с размерами частиц 1 мкм. Время, за которое волна изменений проходит через диапазон 0,01-1 мкм, может составлять десятки минут [1].

Это как раз то время, за которое высокодисперсные частицы дорастут до размеров, которые будут способны увидеть оптические пожарные извещатели, и именно

его всегда не хватает для принятия превентивных мер, когда потенциальный пожар можно ликвидировать в зародыше.

### НЕДОСТАТКИ, ПРИСУЩИЕ ОПТИЧЕСКИМ СПОСОБАМ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ

Минимальный размер частиц, которые способны обнаружить даже самые лучшие оптические дымовые пожарные извещатели составляет порядка 0,1 мкм, следовательно, более 90% представленных в спектре распределения аэрозольных (дымовых) частиц по размеру остаются для них невидимыми.

В технической литературе при указании характеристики дымовых пожарных извещателей, в особенности оптико-электронных, используется понятие оптической плотности дыма, на изменение которой реагирует дымовой извещатель. Эта величина в разных литературных источниках называется удельной оптической плотностью и имеет размерность дБ/м. Взаимосвязь данного параметра и весовой концентрации дыма, выраженной в мг/м<sup>3</sup>, была определена экспериментально [3]. Согласно этим экспериментам диапазону удельной оптической плотности 0,1-0,5 дБ/м соответствует диапазон весовой концентрации дыма 10-50 мг/м<sup>3</sup>. Следовательно, оптические извещатели, чувствительность которых находится в диапазоне 0,1-0,5 дБ/м, сработают, выдав сигнал «ПОЖАР», когда весовая концентрация аэрозоля (дыма) будет более 10 мг/м<sup>3</sup>.

Здесь следует обратить внимание на то, что эти эксперименты проводились давно, развитие оптического метода серьезно продвинулось, а материалов по подобным испытаниям с современными оптическими пожарными извещателями пока нет.

### АЭРОЗОЛЬ И ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ КАК ФАКТОР ОПАСНОСТИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ

Весовая концентрация аэрозольных частиц в обычном помещении в большинстве случаев находится в диапазоне от 0,01 до 0,1 мг/м<sup>3</sup>. Это концентрация, при которой человек чувствует себя достаточно комфортно. Днем концентрация увеличивается, а ночью значительно уменьшается.

Проведенные во ВНИИПО исследования кинетики выделения аэрозольных и газообразных продуктов, образующихся при термическом разложении полимеров, показали, что от 20 до 50% разложившейся массы приходится на газовые выделения, остальное на аэрозоль [4]. Следовательно, когда концентрация дыма достигнет 10 мг/м<sup>3</sup> (вполне возможно, что это будет нижний порог срабатывания оптических пожарных извещателей), концентрация газовых выделений будет не менее 2 мг/м<sup>3</sup>, что выше ПДК многих известных токсичных газов, выделяющихся при термическом разложении материалов (таблица 2).

Табл. 2. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в РФ

№	Вещество	Класс опасности	ПДКМР, мг/м <sup>3</sup>	ПДКСС, мг/м <sup>3</sup>
	Оксид углерода	4	5	3
	Диоксид азота	2	0,2	0,04
	Оксид азота	3	0,4	0,06
	Углеводороды суммарные	–	–	–
	Метан	–	50	–
	Диоксид серы	3	0,5	0,05
	Аммиак	4	0,2	0,04
	Сероводород	2	0,008	–
	Озон	1	0,16	0,03
0	Формальдегид	2	0,035	0,003
1	Фенол	2	0,01	0,003
2	Бензол	2	0,3	0,1
3	Толуол	3	0,6	–
4	Параксилл	3	0,3	–
5	Стирол	2	0,04	0,002
6	Этилбензол	3	0,02	–
7	Нафталин	4	0,003	–



Единственный способ уберечь людей от такой перспективы – это применение пожарных извещателей, способных до сигнала «ПОЖАР» выдавать предупредительный сигнал опасности, то есть обнаруживать возникновение пожароопасной ситуации. А это необходимо делать при концентрациях аэрозоля (дыма), не превышающих  $1 \text{ мг/м}^3$ . На сегодняшний день это способны делать только ионизационные пожарные извещатели, к которым относятся электроиндукционные и радиоизотопные извещатели.

Утверждения о раннем или сверхраннем обнаружении потенциального очага пожара, если речь не идет об ионизационных извещателях, это чистой воды рекламный ход, тем более нигде и никем не определено, что вообще относится к раннему и что относится к сверхраннему обнаружению.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев В. С., Григорьев И. В., Михаленков С. В., Шабардин А. Н. Раннее обнаружение пожароопасной ситуации // «Судостроение». 2008. № 3. С. 44-47.
2. Алексеев В. А., Григорьев В. С. и др. О физической модели образования аэрозольных частиц при термоокислительной деструкции полимерных материалов/Сб. ЛИАП. 1981. Вып 15.
3. Связь удельной оптической плотности и массовой концентрации дыма/Курс лекций Академии Государственной Противопожарной Службы МЧС России: <http://tehinfo-m.narod.ru/lekciib.html>.
4. Косовцов О. В. и др. Исследование кинетики выделения аэрозольных и газообразных продуктов, образующихся при термоокислении полимеров // Вопросы горения и тушения полимерных материалов в обогащенных кислородом средах. Науч. тр. ВНИИПО. 1981.

### ВЫВОДЫ

1. В спектре распределения аэрозольных (дымовых) частиц по размеру практически любого объекта, в естественном его состоянии, большинство оптических пожарных извещателей способны контролировать менее 3% представленных частиц.
2. Для обеспечения эффективного контроля за возникновением пожароопасной ситуации необходимо, чтобы дымовой пожарный извещатель имел нижнюю границу размера контролируемых аэрозольных (дымовых) частиц равную  $0,01 \text{ мкм}$ .
3. Для обнаружения потенциального очага пожара на самой ранней стадии его развития дымовые пожарные извещатели должны иметь максимально возможную чувствительность к дымовым (аэрозольным) частицам с размерами  $0,01-0,1 \text{ мкм}$ .
4. Качественно новый уровень пожарной безопасности возможно обеспечить, только контролируя какой-либо физической параметр аэродисперсной системы, меняющийся при изменении весовой концентрации аэрозольных (дымовых) частиц во всем диапазоне от  $0,01 \text{ мг/м}^3$  до десятков  $\text{мг/м}^3$ .
5. Подавляющее большинство существующих оптических пожарных извещателей для обнаружения потенциального очага пожара на самых ранних стадиях его развития пока не пригодны.
6. На сегодняшний день применение ионизационных пожарных извещателей, к которым относятся электроиндукционные и радиоизотопные извещатели, сможет обеспечить качественно более высокий уровень пожарной безопасности – выигрыш по времени в десятки минут.



■ Линейку оборудования Smartec OPTi дополнили IP-камеры видеонаблюдения STC-IPM5902A. Металлический купольный корпус, трансфокатор 3.6-10 мм и поворотное-наклонное устройство с плавным ходом. Для качественной видеосъемки круглые сутки новинка снабжена 6 Мп сенсором Sony Starvis и использует функцию D-WDR до 72 дБ, а при недостатке внешнего освещения активирует 25-метровую ИК подсветку. Камеры поддерживают 3-поточную трансляцию с разрешением до  $2592 \times 1944$  пикс при 30 к/с и реализуют встроенные алгоритмы видеоаналитики.

■ Компания «ИВС-Сигналспецавтоматика» выпустила новинку – универсальный пульт пожарной охраны ИВС 20. Пульт работает в гибридном режиме одновременно с 32 радиоизвещателями (производства «ИВС-Сигналспецавтоматика») и 16 проводными шлейфами. Такое сочетание позволит контролировать до 48 различных зон. А при объединении зон в 16 разделов их можно поставить/снять под охрану независимо друг от друга. Альтернативный способ постановки под охрану: ключи Touch Memory. Информационное воздействие по RS 485. Настройку через TCP/IP, GSM CSD соединение или проводное подключение. Пульт передает тревоги и диагностическую информацию в пультовое ПО по каналам GSM и LAN.

■ В линейку продуктов компании AXIS Communications вошли антивандальные камеры купольного типа Q3504-V и Q3504-VE. Новинки поддерживают фреймрейт до 100/120 к/с для потоков HD качества и обеспечивают высокую детализацию изображения быстро движущихся объектов, а также используют технологии Lightfinder и WDR-Forensic Capture. Камеры применяют P-Iris управление диафрагмой, поддерживают техноло-

гию питания PoE, имеют функцию электронной стабилизации изображения и слот для карты памяти.

■ Компания Giraffe выпустила мобильный видеорегистратор GF-DV4030SD, к которому можно подсоединить до 4-х АHD-камер 720р и 1 сетевую 1080р. Антивибрационное исполнение, установка в любом положении, запись на карту памяти до 128 Гб (возможна установка сразу двух таких карт). При наличии обогревателя рабочий температурный порог составляет  $-40^\circ \text{C}$ , без обогревателя –  $-10^\circ \text{C}$ . Класс защиты IP54. Новинка имеет широкие возможности по расширению функционала путем подключения дополнительных модулей.

■ Компания Tatrís представила новый сетевой видеорегистратор Samsung PRN-4011 от Hanwha Techwin. Новое устройство обеспечивает запись изображения по 64 каналам с поддержкой разрешения для одного канала 12 Мп. Запись выполняется с общим битрейтом до 400 Мбит/с, обработка кодеком H.265, возможно использовать H.264 либо MJPEG. С кодеками H.265 и H.264 применяется фирменная технология WiseStream (сжатие изображения). В корпус нового видеорегистратора можно установить до 12 жестких дисков емкостью до 8 Тб каждый. При использовании технологии RAID 5 создаются 2 группы численностью до 6 дисков каждая. Внешние хранилища iSCSI имеют суммарную емкость до 192 Тб.

■ В составе оборудования Bosch Security Systems появились видеорегистраторы DIVAR network 2000. Они рассчитаны на обслуживание до 16 IP-камер с максимальным разрешением 4K Ultra HD в формате H.265 и могут принимать входящий битрейт до 256 Мбит/с. Несколько вариантов комплектации: с одним/двумя жесткими дисками или без них, с DVD-приводом или местом для его установки, а также с 8 или 16-канальным PoE-коммутатором. Все модели имеют видеовыходы HDMI и VGA, 4 входа и 2 выхода тревоги, 2 USB-порта, аудиоинтерфейсы и предоставляют удаленный доступ к настройкам и видеопотокам через любое ONVIF-совместимое ПО или мобильное приложение, например, Bosch DIVAR Viewer App.

■ Инженеры НИИ Hikvision представили интеллектуальную систему для парковок. Решение работает на базе специализированного ПО при помощи автоматизированных парковочных роботов. Такие роботы способны припарковать машину менее чем за 2 минуты без участия человека. По данным R&D Hikvision позволяет оптимизировать использование парковочного пространства до 40%, а также избежать аварий и конфликтов на паркинге. Такая система способна одновременно работать с 500 машинами и применима как для открытых, так и для закрытых парковок.