



УДК 614.842.6

## УСПЕХИ АЭРОЗОЛЬНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

С. Ю. Серебrenников, В. А. Рязанцев, К. В. Прохоренко

*"ИВЦ Техномаш"*

Проблема создания надежных, эффективных и в то же время безопасных генераторов огнетушащего аэрозоля (ГОА) стояла и стоит перед разработчиками все 15-20 лет освоения этих относительно новых средств пожаротушения.

Если надежность работы ГОА в сочетании с эффективностью пожаротушения легко достигается при использовании сертифицированных изготовляемых на специализированных производствах по конверсионным технологиям зарядов твердого аэрозольобразующего топлива, то безопасность ГОА достигается крайне сложно. Прежде всего, здесь надо иметь ввиду биологическую (воздействие на человека высокой температуры и токсичных газов), а также пожаробезопасность.

Известно, что принцип "пламя тушит пламя" не только не оправдал себя в первых отечественных высокотемпературных ГОА, но и нанес ощутимый вред процессу развития аэрозольного пожаротушения. Дело доходило до абсурда, когда в хозяйственных магазинах по всей стране продавались наряду с автомобильными огнетушителями по одинаковой с ними цене аэрозольные высокотемпературные газогенераторы типа СОТ. Погоня за дешевизной предопределила создание и на предприятии "ИВЦ Техномаш" в 1993 г. первых ГОА серии АГАТ упрощенной конструкции с температурой аэрозоля на выходе из камеры сгорания около 700°C. Пожаротушащая эффективность неохлажденных продуктов сгорания применяемых в АГАТх твердых топлив ФЦДТ "Союз" серии ПТ действительно оказалась очень высокой (пожаротушащая концентрация составила всего 30 - 50 г/м<sup>3</sup>). К тому же показатели надежности ГОА АГАТ-1 с вкладным зарядом, получаемым хорошо контролируемым методом проходного прессования на серийном производстве ФЦДТ "Союз", оказались на уровне современных ракетных двигателей. Однако в производство АГАТ-1 так и не был запущен — слишком велика была его опасность для человека (температура в объеме тушения даже при низкой концентрации аэрозоля (50 г/м<sup>3</sup>) могла достигать 100°C). Но главным препятствием для внедрения АГАТ-1 стала пожарная опасность его применения в составе автоматических систем. При ложном срабатывании автоматики или ее срабатывании на локальное возгорание АГАТ-1 в некоторых случаях превращался из средства пожаротушения в источник зажигания горючих материалов.

Специальными испытаниями в 1994 г. на стендах "ИВЦ Техномаш", а также с помощью термодинамического расчета был изучен механизм зажигающего эффекта горячего аэрозоля. Во-первых, ГОА становился источником зажигания при попадании форса пламени на любые горючие вещества с низкой температурой самовоспламенения в случае, например, ложного включения одного — двух ГОА из числа нескольких установленных на объекте (концентрация аэрозоля при этом оказывалась в объеме ниже пожаротушащей как при зажигании, так и при последующем тушении оставшимися генераторами). Во-вторых, был выявлен скрытый механизм зажигания: конденсированные частицы К<sub>2</sub>СО<sub>3</sub> в высокотемпературных продуктах сгорания топлива ПТ-50-2, пролетая даже большие расстояния в объекте тушения, заполненном аэрозолем до пожаротушащей концентрации (ПТК), становились источником зажигания для тлеющих веществ. В самом деле, высокий окислительный потенциал (три атома кислорода) частицы К<sub>2</sub>СО<sub>3</sub> и ее температура в пределах 350 - 400°C вполне достаточны для организации тления таких веществ, как оргалит, промасленная ветошь, вата, текстиль и т.п. А далее пожар развивается известным путем: проветривание помещения после аэрозоля приводит к появлению открытого пламени, если, например, край оргалитовой плиты или ветошь пропитаны ЛВЖ или ГЖ.

Однозначный вывод по результатам испытаний был сделан следующий: аэрозольное пожаротушение имеет перспективу в основном как альтернатива дорогостоящим, но низкотемпературным газовым системам. А для этого необходимо получать малотоксичный аэрозоль с температурой газовой фазы, менее 250°C на выходе ГОА и температурой конденсированной фазы не выше 250° - 300°C. Причем минимальная ПТК не должна превышать 50 - 70 г/м<sup>3</sup>.

Многочисленные эксперименты на стендах "ИВЦ Техномаш" показали, что указанные значения температур и ПТК обеспечивают два главных требования безопасного применения ГОА:

- отсутствие зажигающего эффекта для тлеющих веществ, а также взрывоопасных углеводородо-воздушных смесей с температурой самовоспламенения выше 300°C;
- получение в объеме помещения при ПТК аэрозоля 50 - 70 г/м<sup>3</sup> среднеобъемной температуры ниже 50°C и содержания токсичных веществ в допустимых пределах.

Конструктивно обеспечить снижение температуры аэрозоля без существенной потери его пожаротушащей эффективности удалось только применением инертных теплосъемных элементов трубчатой конструкции из низкоуглеродистой стали. Известные химические способы охлаждения приводили к значительному росту ПТК из-за коагуляции конденсированной составляющей аэрозоля и, как следствие, образованию в объеме тушения токсичной и опасной для человека газовой среды с концентрацией газоаэрозоля до 150 г/м<sup>3</sup>.

Последующие конструкции ГОА АГАТ-2 и АГАТ-2А с инертным охлаждением аэрозоля, разработанные в "ИВЦ Техномаш", выпускались серийно с 1995 г. и удовлетворяли всем требованиям безопасного применения как для людей, так и для взрывопожароопасных производств, а также объектов с электронной техникой и материальными ценностями, т.е. стали вполне конкурентоспособны с газовыми системами (если еще учесть, что стоимость последних в 10 - 20 раз выше аэрозольных).

Общий вид в разрезе генератора АГАТ-2 А представлен на **рис. 1**, а внешний вид — на **рис. 2**.

ГОА АГАТ-2А производится в трех основных модификациях: для защиты помещений номинальным объемом 50; 100 и 180 м<sup>3</sup> соответственно с массой твердого топлива 2,5; 5 и 10 кг.

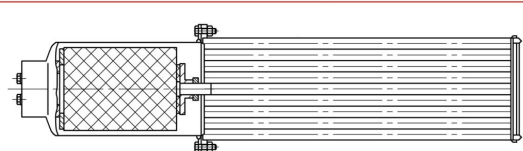


Рис.1 Генератор огнетушащего аэрозоля АГАТ-2А в разрезе



Рис.2 Внешний вид ГОА АГАТ-2А (а) и установки из нескольких генераторов АГАТ-2А на ГПА "COBERROW" ООО "Сургутгазпром" (б)

График изменения основных рабочих характеристик генератора АГАТ-2 А представлен на рис. 3.

Для описания работы собственно генератора АГАТ-2А, а также процессов, происходящих при заполнении защищаемого помещения аэрозолем, была разработана обобщенная математическая модель [1]. В ней были описаны процессы:

- в камере сгорания ГОА в термодинамической постановке;
- в теплосъемном трубчатом элементе в одномерной газодинамической постановке с учетом нестационарного теплообмена в системе "газ – стенка";
- в объеме помещения в термогазодинамической постановке с учетом массопереноса и обмена возмущенного потока аэрозоля с воздухом, материалом стен и оборудования.

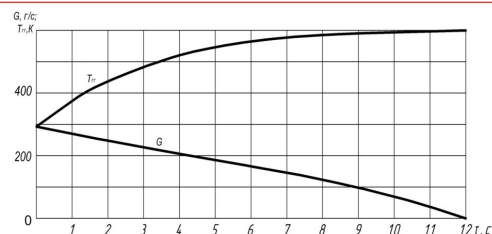


Рис.3 Параметры серийного ГОА АГАТ-2А:  $T_{\tau}$  – температура аэрозоля на выходе;  $G$  – секундный расход аэрозоля;  $\tau$  – время.

На рис. 4-6 приведены некоторые расчетные зависимости для процесса заполнения аэрозолем условного помещения объемом 180 м<sup>3</sup> и выдержки воздушно-аэрозольной смеси в этом помещении длительное время.

Коэффициенты турбулизации потока аэрозоля вблизи локальных поверхностей теплообмена

Система	Схематическое представление	C	n	K	Режим течения потока
Вертикальная пластина и вертикально расположенный цилиндр большого диаметра		0,8	1/4	$\left[1 + \left(1 + \frac{1}{\sqrt{Pr}}\right)^2\right]^{-1/4}$	Ламинарный поток; для получения локального значения Nu используется $C = 0,6$ ; $X = x$ ; формула применима к вертикальному цилиндру, когда $D/L \geq 38 \cdot Gr^{-1/4}$
		0,0246	2/5	$\left[\frac{Pr^{1/6}}{1 + 0,494 Pr^{2/3}}\right]^{2/5}$	
Нагреваемая горизонтальная пластина, теплоотдающая поверхность сверху		0,54	1/4	1	Ламинарный поток; для круглого диска диаметром D используется $X = 0,9D$
		0,14	1/3	1	Турбулентный поток
Нагреваемая горизонтальная пластина, теплоотдающая поверхность снизу		0,27	1/4	1	Только ламинарный поток

Однако полученные зависимости дают представление только о процессах, протекающих в идеальных условиях. Реальные же условия тушения пожара дают значительно более сложную картину (рис. 7), что требует дополнения математической модели рядом зависимостей, описывающих тепло-массоподвод от источника пожара. Это задача ближайшей перспективы.

Все модификации объединяет два общих конструктивных признака: вкладной заряд из топлива проходного прессования разработки ФЦДТ "Союз" марок ПТ-50-2 и ПТ-4 и инертный теплосъемный элемент трубчатой конструкции (для охлаждения аэрозоля) пассивной массой от 30 до 45 кг, установленный на выходе камеры сгорания, соосно с ней.

Набор труб различной геометрии, размеров и количества позволяет получать аэрозоль практически любой температуры.

Термогазодинамика течения аэрозоля внутри АГАТа организована таким образом, чтобы выброс энергии в каждый момент времени был низким и постоянным, т.е. за счет существенно нестационарного теплообмена сначала обеспечивается резкое охлаждение, затем рост температуры, а за счет программированного дегрессивного расхода аэрозоля наоборот резко снижается выброс его массы в защищаемый объем с максимального значения до минимального.

Вышесказанное, в конечном итоге, обеспечивает безопасное и эффективное применение ГОА АГАТ как во взрывоопасных средах, так и в присутствии людей. Осредненная по объему помещения температура воздушно-аэрозольной смеси не превышает 50°C, причем достигает она этого уровня только в конце работы генератора, когда температура выбрасываемого аэрозоля повышается до 250°C.

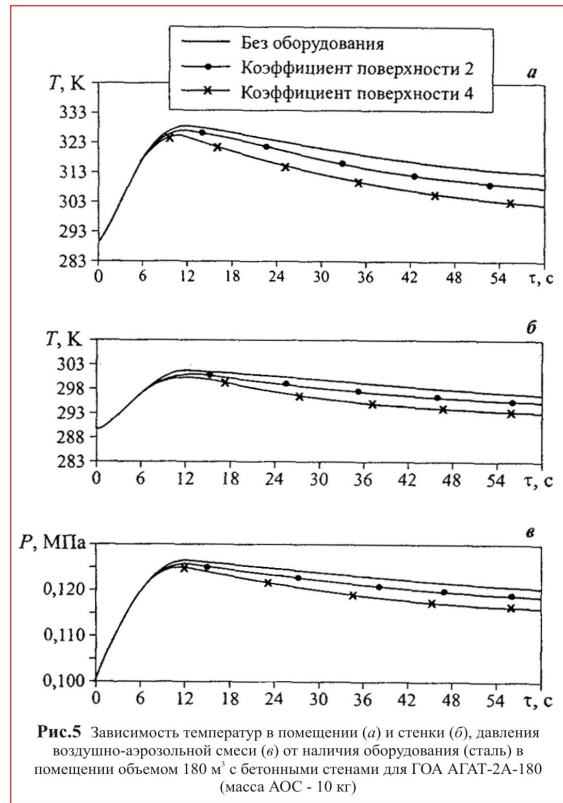
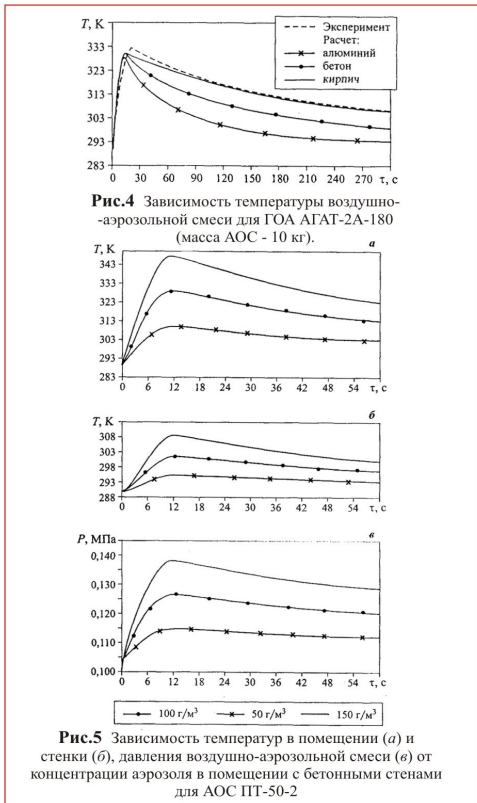
Степень турбулизации потока аэрозоля в помещении вблизи поверхности теплообмена учитывалась в критериальном уравнении теплообмена через эмпирические коэффициенты газодинамической теории теплообмена [2]:

$Nu_i = C(C_i \cdot Pr_i)^n K$ , где  $C$ ,  $n$ ,  $K$  – коэффициенты, характеризующие степень турбулизации потока аэрозоля вблизи различных по конфигурации и пространственному расположению поверхностей теплообмена в объекте. Данные по коэффициентам турбулизации приведены в таблице:

$G_r$  – критерий Грасгоффа;  $P_r$  – критерий Прандтля.

На основании математической модели были разработаны методы расчета и проектирования ГОА с вкладным зарядом аэрозольного огнетушащего средства (АОС) и инертным теплосъемным элементом трубчатой конструкции, которые позволили провести ряд численных экспериментов.

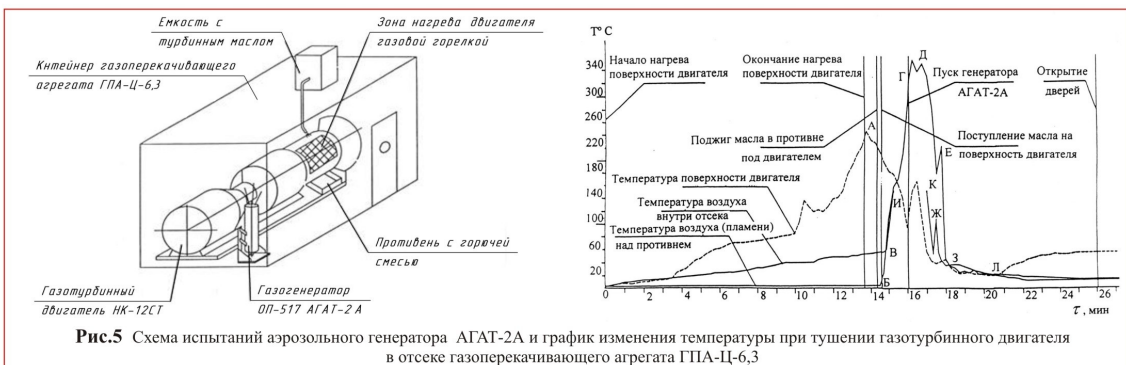




В целом, проведенные натурные и численные эксперименты позволили выявить ряд важных особенностей процесса аэрозольного пожаротушения, которые были учтены специалистами "ИВЦ Техн-маш" при доводке конструкции ГОА АГАТ-2А и аттестации его на применение во взрывоопасных средах, а также для защиты объектов с электронной техникой, материальными ценностями и даже возможным присутствием людей.

Многочисленными экспериментами, а также срабатыванием аэрозольных систем пожаротушения на различных объектах (в том числе взрывоопасных) было подтверждено:

- реализованный в АГАТе способ охлаждения, в отличие от химического, практически не снижает пожаротушающую способность аэрозоля, так как быстрое "замораживание" газоконденсатной фазы сохраняет минимальный размер конденсированных частиц  $K_2CO_3$  и предотвращает их дальнейшее слипание и коагуляцию, что характерно для химического способа;
- отложение мелкодисперсного охлажденного конденсата за 5 - 10 минут тушения объекта практически не происходит, что сохраняет электронную технику и материальные ценности;
- за счет низкой температуры и низкой пожаротушающей концентрации охлажденного аэрозоля ( $60 - 80 \text{ г/м}^3$ ) сохраняется жизнедеятельность биологических объектов, в том числе человека;
- для соответствующих категорий взрывоопасных углеводородовоздушных смесей (природный газ, пары бензина, спирт и т.д.) охлажденный аэрозоль ГОА АГАТ не опасен. Он также не является источником зажигания для других твердых, тлеющих и жидких горючих веществ, имеющих температуру самовоспламенения выше  $280^\circ\text{C}$ .



В настоящее время "ИВЦ Техномаш" производит и поставляет на рынок противопожарной техники ГОА различной модификации и комплектации во взрывозащищенном исполнении под общей торговой маркой "АГАТ". Ими оснащено более 40 предприятий во всех регионах России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Серебrenников С. Ю. Аварийные системы с газогенераторами и двигателями на твердом топливе. - Екатеринбург: УрО РАН, 2002. - 266 с.
2. Серебrenников С. Ю. Теоретические и методологические основы разработки и применения газогенераторов и двигателей на твердом ракетном топливе в аварийных системах // Диссертация докт-ра техн. наук. — Пермь: ПГТУ, 2002. — 330 с.