
1. АНАЛИЗ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЪЕМАХ

1.1. Анализ современных средств объемного пожаротушения

1.1.1. Анализ современных огнетушащих веществ, используемых при объемном тушении

Любой пожар, который вовремя не обнаружен и не ликвидирован, наносит непоправимый ущерб экономике любого предприятия, загрязняет окружающую среду, а иногда может привести к человеческим жертвам. Потому так важно не только зафиксировать место возникновения пожара, но и принять меры по его наискорейшей ликвидации.

Для объектов, имеющих ограниченные пространства, наиболее эффективным является объемный способ тушения. Под объемным пожаротушением обычно понимают такой способ тушения, при котором огнетушащие средства равномерно распределяются во всем объеме помещения [38]. Для его реализации необходимы такие средства, которые могут распределяться в атмосфере защищаемого объема и создавать в каждом его элементе огнетушащую концентрацию.

При реализации объемного способа пожаротушения используются следующие огнетушащие вещества [54]:

- вода или специальные растворы на её основе;
- газовые составы;
- огнетушащие порошки;
- огнетушащие аэрозоли.

Достоинствами воды как огнетушащего вещества являются ее доступность и дешевизна, относительно высокая удельная теплоемкость, высокая скрытая теплота испарения, химическая инертность по отношению к большинству веществ и материалов. Для повышения огнетушащей способности применяют тонкораспыленную воду со средним размером капель порядка $50 \div 100$ мкм [124, 125]. Эффективность её определяется двумя факторами: охлаждением горящих поверхностей и предотвращением поступления кислорода к горящему объекту. Среди положительных аспектов данного огнетушащего вещества можно отметить: ускоренный процесс тушения, малая опасность повторного воспламенения, снижение расхода воды, не токсичность огнетушащего вещества, снижение опасности отравления газом [113, 118]. В качестве недостатков нужно отметить следующее:

- узкий диапазон температур эксплуатации;
- высокая электропроводность;
- плохая адгезия с горячей поверхностью.

До недавнего времени наилучшей огнетушащей способностью среди

газовых огнетушащих составов обладали галогеносодержащие углеводороды [26, 29], так называемые хладоны (международное название – галоны). Но из-за пагубного воздействия на озоновый слой атмосферы Земли, согласно решений ряда международных форумов, эти вещества постепенно изымаются из обращения [111, 114, 116, 119, 122, 123, 126]. В качестве альтернативных веществ, предлагаются различные составы, которые в зависимости от механизма тушения можно разбить на две классификационные группировки:

- инертные разбавители, снижающие содержание кислорода в зоне горения и образующие инертную среду (двуокись углерода, азот, аргон и их смеси);
- ингибиторы, тормозящие процесс горения (галоидоуглеводороды и их смеси с инертными газами).

Среди инертных разбавителей самой популярной является двуокись углерода CO_2 . Нормативная огнетушащая концентрация этого вещества для различных материалов изменяется в пределах от 30,9 % до 35,7 % (табл. 1.1). Недостатками углекислоты, как огнетушащего вещества, является следующее:

- в объеме, где создана огнетушащая концентрация вещества, не может находиться ни один живой организм;
- выброс CO_2 в больших количествах приводит к "парниковому" эффекту;
- при тушении электронной аппаратуры, воздействие огнетушащего вещества может вызвать "холодный шок" [94].

Таблица 1.1

Нормативная объемная огнетушащая концентрация двуокиси углерода (плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $1,88$ кг·м⁻³)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823- 83	34,9
Спирт этиловый	ГОСТ 18300-87	35,7
Ацетон технический	ГОСТ 2768-84	33,7
Толуол	ГОСТ 5789-78	30,9
Спирт изобутиловый	ГОСТ 6016-77	33,2
Керосин осветительный	ТУ 38401-58-10-90	32,6
Растворитель 646	ГОСТ 18188-72	32,1

Следующие инертные газы получают непосредственно из воздуха. Для тушения используется только необходимая концентрация [93]. Для тушения с использованием азота концентрация изменяется в пределах от 27,8 % до

36 % для различных веществ (табл. 1.2), для аргона в пределах от 36,1 % до 46,8 % (табл. 1.3). Поэтому вредное воздействие на людей и окружающую среду исключено. Хранятся эти вещества преимущественно в газообразном состоянии. Азот главным образом применяется в стационарных установках пожаротушения для тушения натрия, калия, бериллия и кальция. Для тушения магния, лития, алюминия, циркония применяют аргон [109].

Таблица 1.2

Нормативная объемная огнетушащая концентрация газообразного азота (плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $1,17 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	34,6
Этанол		36,0
Бензин А-76		33,8
Масло машинное		27,8

Таблица 1.3

Нормативная объемная огнетушащая концентрация газообразного аргона (плотность газа при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $1,66 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	39
Этанол		46,8
Бензин А-76		44,3
Масло машинное		36,1

В качестве состава, при разработке которого учтены токсические свойства инертных разбавителей, фирмой Ansul (США) предложена смесь газов под названием Инерген (IG-54). Она состоит на 52% из азота N_2 , 40% – аргона Ar , 8% – CO_2 [112]. Значения нормативной огнетушащей концентрации газового состава представлены в табл. 1.4. В случае срабатывания установок, заряженных этим газом, содержание кислорода в воздухе снижается с 21% до 13-12%, таким образом, ликвидируется пожар. Но как отмечается в [93], в качестве тушащего агента целесообразно применять чистые инертные газы, так как процесс получения тушащего вещества в виде смесей инертных газов усложняет и удорожает его

производство, а тушащие характеристики чистой двуокиси углерода и чистого азота лучше, чем тушащие характеристики смесей инертных газов (рис. 1.1).

Таблица 1.4

Нормативная объемная огнетушащая концентрация газового состава «Инерген» (плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $1,42 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	36,5
Этанол	ГОСТ 18300-72	36,0
Масло машинное		28,3
Ацетон технический	ГОСТ 2768-84	37,2

Следующий газ, который обладает высокими диэлектрическими свойствами, получил название элегаз. Он выпускается в Российской Федерации. Элегаз имеет формулу SF_6 (шестифтористая сера) и по механизму воздействия на пламя относится к инертным разбавителям. НПБ 22–96 рекомендует его к применению в качестве огнетушащего вещества в установках газового пожаротушения.

Термическое разложение молекулы газа начинает осуществляться при температуре свыше 1100°C , главным образом при 2000°C [87]. Элегаз не токсичен, имеет самую низкую, в сравнении с другими инертными газами, огнетушащую концентрацию при тушении н-гептана, которая составляет 10 %. Для тушения других горючих материалов его концентрация может меняться от 7.2 % до 14.4 % (табл. 1.5)

Таблица 1.5

Нормативная объемная огнетушащая концентрация элегаза (плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $6,474 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	10,0
Этанол	ГОСТ 18300-72	14,4
Ацетон		10,8
Трансформаторное масло		7,2

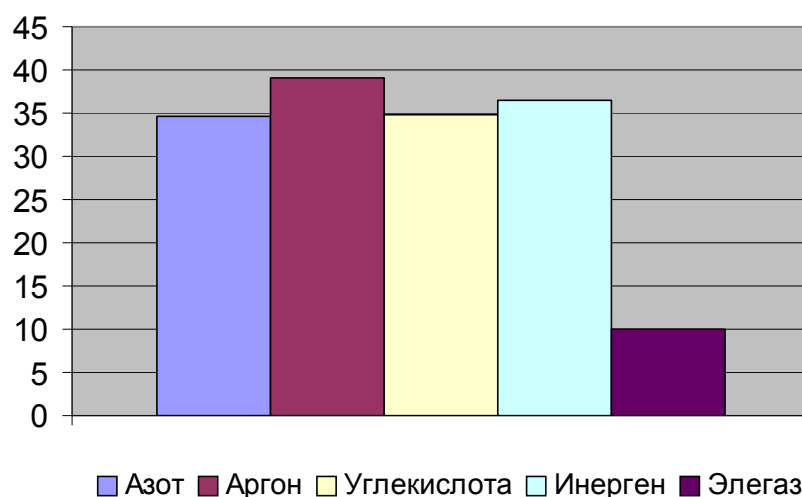


Рис. 1.1. Объемные огнетушащие концентрации в % (об.) инертных разбавителей для тушения н-гептана

В качестве замены запрещенным хладам марок 13B1, 114B2 предложены следующие газы [110, 127, 128]:

- хладон 227еа (C_3F_7H , FM200);
- хладон 125 (C_2F_5H , пентафторэтан);
- хладон 318Ц ($C_4F_8Ц$, октафторциклобутан);
- хладон 218 (C_3F_8 , перфтордекалин);
- хладон 23 (CF_3H).

Газовое соединение FM200 (HFC 227еа) [115, 117] производства Great Lakes Chemical Corporation (США) имеет следующие достоинства:

- значительная скорость тушения (до 10 с);
- отсутствие проводимости электрического тока;
- тушение без остатков тушащего вещества.

Огнетушащая концентрация данного вещества для различных горючих материалов составляет около 7% (табл. 1.6)

Таблица 1.6

Нормативная объемная огнетушащая концентрация хладона 227еа (плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20$ °С составляет $7,28$ кг·м⁻³)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	7,2
Толуол		6,0
Бензин А-76		7,3
Растворитель 647		7,3

Однако некоторые источники [93] располагают следующими данными: FM200 синтетический газ и может находиться в атмосфере от 1 до 30 лет; при воздействии газа на организм человека, отмечено бесконтрольное повышение пульса и рост концентрации газа в крови.

В Российской Федерации налажен выпуск хладона 125 (международное название HFC 125). Он характеризуется следующими значениями огнетушащих концентраций (табл. 1.7).

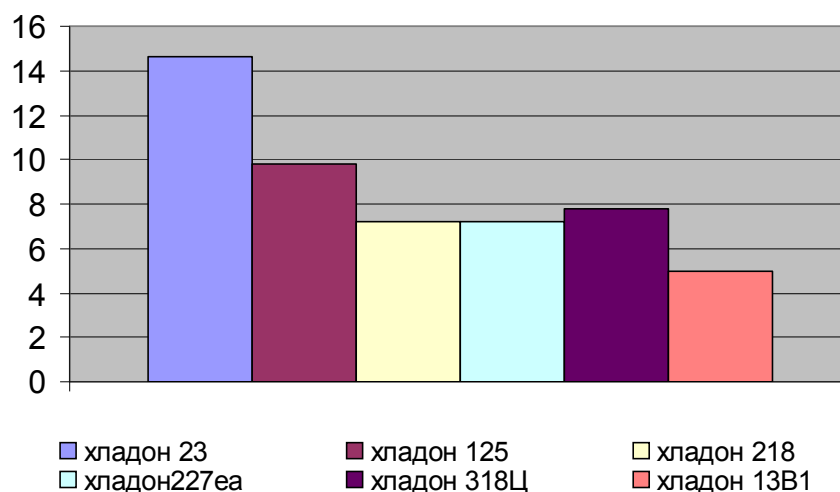


Рис. 1.2. Объемные огнетушащие концентрации в % (об.) ингибиторов горения для тушения н-гептана

Его токсическое действие близко к показателям хладона 13В1, как показали исследования [119] гибель подопытных животных происходит при концентрации газа более 70 %. Вместе с тем минимальная концентрация, при которой наблюдается негативное воздействие газа, составляет 10 %.

Таблица 1.7

Нормативная объемная огнетушащая концентрация хладона 125 (плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $5,208 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	9,8
Этанол	ГОСТ 18300-72	11,7
Вакуумное масло		9,5

Еще один газовый состав, выпускаемый в России, хладон 318Ц. Он характеризуется достаточно низкой огнетушащей концентрацией при тушении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (табл. 1.8). Предельно-допустимая концентрация октафторциклобутана в воздухе составляет $3 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$.

Таблица 1.8

Нормативная объемная огнетушащая концентрация хладона 318Ц
(плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $8,438$ кг·м⁻³)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	7,8
Этанол	ГОСТ 18300-72	7,8
Ацетон		7,2
Керосин		7,2
Толуол		5,5

Для тушения н-гептана с использованием хладона 218 потребуются создать огнетушащую концентрацию вещества такую же, как и при тушении с использованием хладона 227еа (табл. 1.9). А при тушении толуола с помощью данного состава потребуется из всех рассмотренных хладонов самая низкая концентрация 5,4 %.

Как показывает анализ (рис. 1.2) новые озонобезопасные хладоны незначительно уступают по огнетушащей эффективности хладону 13В1, но при этом превосходят по этому показателю в 3÷4 раза инертные разбавители (см. рис. 1.1).

Вместе с тем, одним из важных недостатков большинства галоидосодержащих газовых составов есть способность образовывать во время взаимодействия с пламенем или контакта с раскаленной поверхностью чрезвычайно вредные побочные продукты термического разложения (COF_2 , CO), а при наличии влаги – HF . Фтороводород – едкий газ, имеющий высокую коррозионную активность.

Таблица 1.9

Нормативная объемная огнетушащая концентрация хладона 218 (плотность паров при $p = 101,3$ кПа и $T = 20^\circ\text{C}$ составляет $7,85$ кг·м⁻³)

Наименование горючего материала	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, % (об.)
Н-гептан	ГОСТ 25823-83	7,2
Толуол		5,4
Бензин А-76		6,7
Растворитель 647		6,1

Рассмотрев особенности механизма огнетушащего действия современных газовых огнетушащих составов, можно сделать следующий

вывод касательно ограничений по области применения этих веществ. Огнетушащие газы не следует применять для тушения пожаров [66]:

- волокнистых, сыпучих, пористых и других горючих материалов, склонных к самовозгоранию и (или) тлению внутри объема вещества (древесные опилки, хлопок, травяная мука и др.);
- химических веществ и их смесей, полимерных материалов, склонных к тлению и горению без доступа воздуха;
- гидридов металлов и пирофорных веществ;
- порошков металлов (натрий, калий, магний, титан и др.).

В качестве альтернативы хладонам могут служить порошковые составы, которые экологически безопасны и имеют достаточно высокую огнетушащую способность. Они представляют собой мелкоизмельченные минеральные соли с различными добавками [17]. Основой для огнетушащих порошков являются фосфорно-аммонийные соли, карбонат и бикарбонат калия, хлорид калия. Механизм огнетушащего действия порошков в основном заключается в ингибировании реакции горения в результате связывания активных центров цепных реакций, протекающих в пламени.

Однако, выпускаемые грубодисперсные порошки (величина фракции от 40 до 80 мкм) трудно распределить по защищаемому объему, они малоэффективны при объемном способе тушения. Увеличение дисперсности порошков при существующих способах их получения и применения резко снижает эксплуатационные свойства (увеличивается гигроскопичность, склонность к коагуляции), что затрудняет их использование в установках объемного пожаротушения.

В последние годы в установках объемного пожаротушения начинает широко внедряться новое высокоэффективное, экологически чистое вещество — огнетушащий аэрозоль, который представляет собой смесь инертных газов, высокодисперсных солей и окислов щелочных металлов. Смесь этих продуктов обладает высокой огнетушащей способностью по отношению к углеводородным пламенам (табл. 1.10). Поэтому в ряде случаев эти средства могут рассматриваться как альтернатива озоноразрушающим хладонам 114B2 и 13B1 [16].

Таблица 1.10

Огнетушащие характеристики различных объемных средств тушения

Класс пожара	Минимальная огнетушащая концентрация кг/м ³		
	огнетушащий аэрозоль	хладоны	порошки
A	0.05 – 0.1	0.8 – 1.2	0.4 – 0.6
B	0.03 – 0.05	0.2 – 0.35	0.25
C	0.2	1.3	0.8

Основной отличительной особенностью нового вещества является способ его получения. Он заключается в сжигании при определенных условиях специальной композиции, которая в общем случае состоит из окислителя и горючего–связующего. Как правило, в качестве окислителя выступают содержащие калий неорганические соединения, а роль связующего выполняют органические или неорганические восстановители. В результате сгорания твердотопливных композиций генерируется газоаэрозольный состав, газовая фаза которого состоит преимущественно из N_2 и CO_2 , а твердая фаза содержит K_2CO_3 , $KHCO_3$, KCl [5]. При этом твердая фаза по своему воздействию на пламя во многом подобна огнетушащим порошкам, обладая, однако, существенно более высокой эффективностью благодаря высокой дисперсности (характерный размер частиц составляет около 1 мкм [16]). Благодаря малому размеру частиц огнетушащего вещества резко повышается эффективность тушения пожара, как за счет их высокой удельной поверхности, так и в силу их малого объема, облегчающего их значительный прогрев и газификацию в пламени. Температура образовавшегося аэрозоля достигает сотен градусов [57], он конвективным потоком всплывает под потолок защищаемого помещения и по мере охлаждения начинает равномерно распределяться в объеме помещения [18, 22]. Это позволяет отнести рассматриваемый способ тушения к объемному, тем более что из-за высокой дисперсности твердой фазы оседание ее частиц реализуется за достаточно длительное время.

Таким образом, механизм объемного аэрозольного пожаротушения определяется следующими основными явлениями [104]:

- АОС образуют большое количество инертных газов, что вызывает снижение содержания кислорода и реакционной способности горючей смеси в объеме;
- свежесформированные неактивированные высокодисперсные твердые частицы, например, соединений калия обладают более высокой химической активностью и эффективно ингибируют газовые пламена;
- твердые частицы, имеющие размеры в 10-100 раз меньше, чем порошки, обладают более высоким теплопоглощением (при попадании в зону горения), что существенно влияет на температуру пламени;
- аэрозольные смеси имеют более высокие, чем порошки, показатели стабильности создаваемых концентраций (низкая скорость оседания частиц) и проникающей способности (при распределении в труднодоступные, "теневые" зоны защищаемого объема).

Анализ характеристик огнетушащих веществ, традиционно применяемых при объемном способе тушения, показал что, большинство веществ имеет низкую огнетушащую способность в сравнении с хладоном 13В1. Однако, огнетушащий аэрозоль, получаемый при сжигании заряда АОС, при тушении пожаров класса В, подкласса А2 превосходит по огнетушащей эффективности традиционные средства объемного тушения в 4÷5 раз.

1.1.2. Анализ типовых рецептов аэрозолеобразующих составов и их характеристик

В настоящее время разработано и продолжает разрабатываться значительное количество аэрозолеобразующих огнетушащих составов (АОС).

Принципиальная возможность использования для объемного пожаротушения аэрозолеобразующих составов обоснована в работах [43, 44]. Дальнейшие исследования, проведенные НИИПХ совместно с ВНИИПО в 1984 – 1990 гг., показали, что системы на основе аэрозолеобразующих составов действительно могут быть альтернативой системам пожаротушения, где в качестве огнетушащего вещества выступает хладон [14, 58, 59, 121].

В работах [105, 106] показано, что нашатырно–антраценовые смеси и металл–хлоридные дымовые смеси обладают крайне низкой огнетушащей эффективностью. Наиболее высокой огнетушащей способностью обладают пиротехнические огнетушащие составы на основе фосфора. Однако, вследствие высокой температуры их горения, сильного коррозионного воздействия продуктов сгорания и их токсичности широкое использование этих составов для целей пожаротушения не представляется возможным.

В НИИПХ и СКТБ "Технолог" (г. Санкт–Петербург) совместно с ВНИИПО разработан ряд пиротехнических аэрозолеобразующих составов, на основе нитратов, хлоратов, перхлоратов щелочных и щелочноземельных металлов с различными органическими соединениями, для объемного тушения – самоактивирующихся тушащих композиций (СТК) [6, 21, 51]. При горении этих составов образуется аэрозоль, его конденсированная фаза в основном состоит [50] из частиц оксида, гидроксида и солей калия размером от 0,4 до 4,0 мкм, газовая фаза из азота, диоксида углерода и паров воды. Как отмечено в работе [91], в целом огнетушащий эффект аэрозолей пиротехнических составов основан на ингибирующем, флегматизирующем, охлаждающем и кислородосвязывающем механизмах действия.

Испытания пиротехнических аэрозолеобразующих составов [92] показали, что огнетушащая концентрация состава примерно в 4 раза меньше, чем хладона 114В2 и составляет 0,02 – 0,18 кг/м³, температура горения 800÷1000°С, дымообразующая способность 95÷98%, газопроизводительность 0,32÷0,34 л/г. Химический анализ дисперсной фазы аэрозоля состава СТК 51–35–1 [52]: К₂СО₃ 1.5Н₂О – 52,7%, NH₄НСО₃ – 25,7%, КНСО₃ – 8,2%, КNO₂ – 7,9%, другие соединения калия – 5,5 %.

К достоинствам пиротехнических составов, таких как, СТК–5–14 и СТК–5–2,5Д разработки СКТБ "Технолог" совместно с ВНИИПО, как считают авторы работы [90], относятся: широкая сырьевая база, низкая стоимость, малая чувствительность к механическим и тепловым воздействиям, хорошая воспламеняемость и устойчивый режим горения.

В качестве нового огнетушащего вещества ОАО "Гранит–Саламандра" (г. Москва) предложен пиротехнический состав Е–1, содержащий помимо окислителя эпоксидную смолу и до 10% магния [58].

В КГТУ (г. Казань) проводятся работы по разработке пиротехнических составов с улучшенными характеристиками, в частности, для замены состава Е–1 [59]. Для улучшения технологических и экономических показателей в качестве горючего–связующего вместо эпоксидной смолы использована фенолформальдегидная смола (идитол), что позволило исключить операцию форполимеризации перед прессованием состава, решить проблему его живучести и обеспечить требуемый уровень механической прочности шашек. Прессованный состав СП–33, включающий композицию из хлората калия, нитрата калия, дициандиамида, имеет в 1,4 раза меньшую температуру горения, в 1,2 раза большую концентрацию тушащих пламя агентов и меньшую чувствительность к механическим воздействиям по сравнению с составом Е–1. Для повышения эффективности в состав может вводиться до 1% иодида аммония.

Однако пиротехнические составы и изделия из них, изготавливаемые методом глухого прессования, имеют определенные недостатки [86], такие как технологическая опасность производства, гигроскопичность и недостаточный уровень физико-механических характеристик составов, что ограничивает их применение [90] в условиях с большим перепадом температур ($\pm 50^\circ\text{C}$), с высокой влажностью (до 100%) и условиях транспортирования в составе объектов, испытывающих воздействие интенсивных знакопеременных нагрузок.

Некоторых из перечисленных недостатков лишены аэрозолеобразующие составы, изготавливаемые методом проходного прессования. Такие составы разрабатываются, в частности, в СКТБ "Технолог" [21, 90] и ФЦДТ "Союз" (г. Дзержинский, Московской обл.) [59, 86].

Для повышения прочностных характеристик в составах типа СБК разработки СКТБ "Технолог" использованы каучуки: дивинилстирольный – ДСТ, бутадиен-нитрильный – СКН, бутадиеновый – СКБ в смеси с натуральным – НК. Уменьшение конденсированного остатка, остающегося после сгорания этих составов, и повышение огнетушащей эффективности достигаются добавлением в состав дополнительно к нитрату калия перхлората калия (СБК–2) и продукта К–1 (СБК–1), которые при разложении выделяют дополнительное тепло и свободный кислород, что интенсифицирует процесс горения. Основными компонентами огнетушащего аэрозоля, образующегося при сгорании состава СБК–2, являются [4]: K_2CO_3 , KHCO_3 , KCl , N_2 , CO_2 . Огнетушащая концентрация состава 0,027 – 0,056 кг/м^3 . Безопасное время пребывания человека в помещении при концентрации аэрозольной смеси 0,030 кг/м^3 составляет 15 мин., при концентрации 0,100 кг/м^3 — 5 мин.

На основании экспериментальных данных подтверждены преимущества составов типа СБК по сравнению с пиротехническими:

– более высокая плотность изделий, позволяющая иметь (при одинаковой огнетушащей эффективности) более короткие (на 15%) и соответственно легкие заряды АОС;

- высокие прочностные характеристики, в том числе высокая виброустойчивость;
- пониженная (в 2 – 4 раза) гигроскопичность;
- широкий диапазон скоростей горения для обеспечения необходимой интенсивности подачи огнетушащего аэрозоля;
- отсутствие особых требований по дисперсности компонентов, что определяется характером технологического процесса изготовления.

В РХТУ им. Д.И. Менделеева разработаны высокоэффективные составы [46] на основе пластифицированной нитроцеллюлозы и нитрата калия, характеризующиеся высокой огнетушащей эффективностью 11 – 14 г/м³. Скорость горения при атмосферном давлении составляет 3,5 мм/с. В ФЦДТ "Союз" разработаны составы баллиститного типа с применением в качестве горючего связующего пластифицированной нитроцеллюлозы [70, 71, 73]. В табл. 1.11 приведены рецептуры таких составов. В качестве пластификаторов нитроцеллюлозы могут применяться динитроэтиленгликоль или триацетин.

Преимуществами по сравнению с пиротехническими и баллиститными составами, особенно в части регулирования физико-механических характеристик, обладают и смесевые аэрозолеобразующие огнетушащие составы. Они представляют собой резиноподобный материал благодаря наличию в рецептуре в качестве горючего связующего пластифицированных синтетических каучуков или смол.

Таблица 1.11

Примеры составов баллиститного типа

Компоненты	Массовые доли, %	
	Состав НПО "Союз"	Состав ЦТЭКС
Нитрат калия	40 – 70	40 – 70
Углерод	5 – 15	4.5 – 9.5
Гексоциано (III) феррат калия	–	0.2 – 10
Дифениламин, централит	0.5 – 2.0	0.5 – 2.0
Масло промышленное	0.5 – 2.5	0.5 – 2.0
Соли стеариновой кислоты	0.02 – 0.5	0.02 – 1.0
Фторопласт	–	0.1 – 4.0
Пластифицированная нитроцеллюлоза	10 – 54	2 – 55

Смесевые составы, перерабатываемые по широко освоенной на предприятиях технической химии литьевой технологии, и изделия на их основе разработаны и изготавливаются в ФЦДТ "Союз" [67, 68], НПО им. С.М. Кирова (г. Пермь) [9, 10, 13, 55], РХТУ им. Д.И. Менделеева [102]. При

этом каждая организация использует свой имеющийся опыт и возможности по работе с тем или иным видом сырья, по компоновке рецептур и технологии изготовления составов, проектированию различного типа зарядов. Это обуславливает разнообразие характеристик аэрозолеобразующих составов. Примеры рецептур таких составов приведены в табл. 1.12.

В РХТУ им. Д.И. Менделеева разработаны литьевые аэрозолеобразующие составы на основе нитрата калия и активных горючих связующих [102]. Они характеризуются относительно высокой скоростью горения (до 10 мм/с) и достаточно низкой температурой горения (1400÷1600 К).

Таблица 1.12

Типовые рецептуры смесевых АОС

Компоненты рецептуры	Массовые доли, %			
	ПАС-11	СБК-2	Состав НПО им. С.М. Кирова	
			№ 1	№ 2
Перхлорат калия	2 – 25	10 – 40	83 – 85	–
Нитрат калия	45 – 76	0 – 79,5	–	63 – 68
Эпоксидная смола	10 – 14,5	1,5 – 15	–	–
Полиэфирная смола	–	7,5 – 30	–	–
Бутилкаучук ПДИ-ЗАК	–	–	13 – 15	17 – 19
Изометилтетрагидрофталевый ангидрид	12 – 15	1,5 – 15	–	–
Углерод	0,5	0,5	–	0 – 5
Сульфорицинат	0,01 – 0,5	0,01 – 0,5	–	–
Идитол	–	–	–	11 – 13
Каталитические добавки	–	–	0,5 – 2	0,5 – 5

Созданные в ФЦДТ "Союз" при участии ВНИИПО смесевые твердотопливные составы типа ПАС [59, 86], имеют низкую чувствительность к удару и трению, относительно высокие температуры начала интенсивного разложения и вспышки (более 300°С), недетонационноспособны. Они обладают высокой огнетушащей эффективностью 0,02÷0,06 кг/м³, низким влагопоглощением 0,1÷0,3%.

В НПО им. С.М. Кирова синтезированы рецептуры смесевых АОС с повышенным уровнем токсикологической безопасности [13, 77, 78]. В этих составах роль окислителя играет перхлорат калия (табл. А.1.12). Основным продуктом сгорания составов на его основе является хлорид калия (табл. 1.13), являющийся эффективным огнетушащим веществом, основой для производства огнетушащих порошков и характеризующийся отсутствием на него предельно допустимых концентраций. В качестве основного связующего выбран каучук марки ПДИ – ЗАК (см. табл 1.12),

характеризующийся хорошими физико-механическими характеристиками составов на его основе в широком температурном диапазоне. В качестве пластификатора использовано трансформаторное масло. Наряду с составом на базе перхлората калия, на предприятии разработан состав АОС на основе нитрата калия – рецептура №2 (см. табл. 1.12). Он характеризуется пониженной термодинамической температурой продуктов сгорания и отсутствием коррозионной активности к металлам. Устойчивое горение состава при атмосферном давлении возможно только при наличии в составе до 30 % горючего. В качестве горючего связующего применен пластифицированный трансформаторным маслом бутилкаучук [9], а тонко измельченный идиол играет роль дополнительного горючего [96].

В состав продуктов сгорания смесевых АОС традиционно входят инертные газы и ингибиторы (табл. 1.13).

В табл. 1.13 приведен состав продуктов сгорания смесевых составов. Из приведенных данных следует, что АОС НПО им. Кирова рец. №1 превосходит остальные по газопроизводительности, составу продуктов сгорания, он имеет минимальное количество токсичных компонентов, отсутствует ПДК на основной ингибитор.

Необходимо отметить, что в отличие от большинства аэрозолеобразующих составов, продукты сгорания которых при взаимодействии с влагой образуют сильную щелочную среду [50], продукты сгорания АОС рец.1 таким свойством не обладают.

Таблица 1.13

Состав продуктов сгорания смесевых АОС

Основные продукты сгорания:	АОС		СБК-2	ПАС-11
	рец. №1	рец. №2		
газовая фаза, % об.:				
H ₂	1,78	43,31	39,97	23,94
H ₂ O	25,44	1,07	0,42	8,84
N ₂		12,92	13,55	12,19
CO	12,12	41,20	44,90	41,32
CO ₂	26,00	0,91	0,33	6,5
Ингибиторы, % масс. газообразные:				
K	1,60	–	0,55	2,36
КС1	39,66	–	–	4,85
КОН	2,13	–	0,08	3,71
конденсированные: K ₂ CO ₃ ,	–	50,26	49,20	35,79

Важнейшим показателем всех средств объемного пожаротушения является огнетушащая способность, т. е. способность определенной по величине массовой или объемной концентрации огнетушащего вещества предотвращать воспламенение взрывоопасной газопаровоздушной смеси

либо подавлять диффузионное горение в единице защищаемого объема.

На рис. 1.3 и 1.4 приведены экспериментальные данные по областям распространения пламени смесей метана и водорода с воздухом в присутствии огнетушащего аэрозоля ряда модификаций АОС [5]. Из полученных данных следует, что флегматизирующая концентрация серийных АОС (СТК-2МД, ПАС, ПТ, СБК) для гомогенных метано- и водородовоздушной смесей составляет соответственно 40–55 и 240–280 г/м³, что примерно в 5–6 раз ниже, чем для хладонов, и в 3–5 раз ниже, чем для наиболее эффективных опытных образцов порошков. Следует отметить, что значения "пиковых" флегматизирующих концентраций смещены в область "бедных" горючих смесей, что свидетельствует о существенном влиянии охлаждающих свойств огнетушащих аэрозолей АОС на параметры воспламенения и горения газовых смесей.

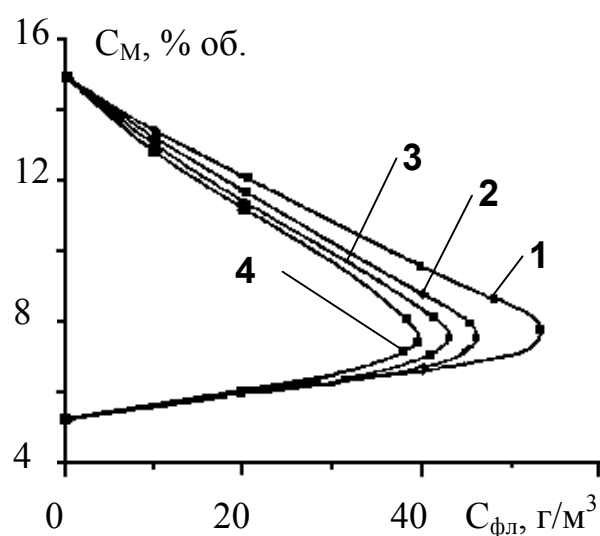


Рис. 1.3. Область распространения пламени по метановоздушной смеси в присутствии аэрозолей АОС: 1 – СТК-2МД; 2 – ПАС-11; 3 – СБК-2; 4 – ПТ

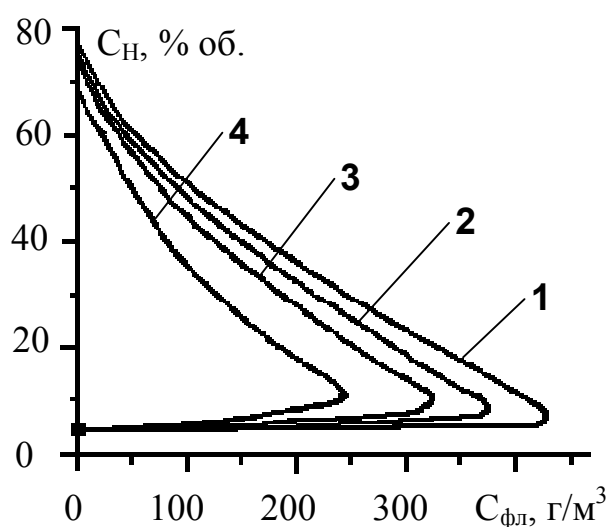


Рис. 1.4. Область распространения пламени по водородовоздушной смеси в присутствии аэрозолей АОС: 1 – СТК-5-2; 2 – СТК-5-3; 3 – СТК-2МД; 4 – СБК-2

Из данных табл. 1.14 следует, что минимальная величина огнетушащей концентрации большинства характерных огнетушащих АОС для подавления диффузионных газовых пламен горючих жидкостей, газов и твердых материалов в атмосфере воздуха в 5-8 раз ниже по сравнению с эффективным хладоном 114В2. Составы СТК-5-1 и СТК-24МФ, используемые для получения охлажденных малоопасных аэрозолей, имеют низкую газопроизводительность, содержат более крупные частицы, а степень превращения массы исходного заряда АОС в огнетушащий аэрозоль составляет, соответственно, 88 и 52 % масс.

Сравнительный анализ огнетушащих концентраций аэрозолеобразующих составов показал, что смесевые составы не уступают по огнетушащей эффективности пиротехническим составам.

Таким образом, чем выше такие показатели, как степень превращения АОС в аэрозоль, газопроизводительность, содержание азота, углекислого газа в газовой фазе, дисперсность твердых частиц, тем выше огнетушащая эффективность. Наиболее эффективны твердые частицы оксидов, гидроксида и углекислых солей калия.

Соотношение твердой и газовой фаз по массе, при котором для различных рецептур АОС обеспечивается максимальная огнетушащая эффективность получаемого аэрозоля, составляет 50/50 – 40/60. Изменение величины соотношения в сторону увеличения или уменьшения приводит к снижению огнетушащей эффективности АОС. Это обусловлено, с одной стороны тем, что образуемое большое количество инертных газовых разбавителей (за счет уменьшения количества твердых частиц) обладает значительно более низкой огнетушащей способностью по сравнению с твердыми частицами, что и определяет в этом случае снижение огнетушащей эффективности. С другой стороны, увеличение выхода в аэрозоль большого количества частиц (за счет уменьшения газопроизводительности) приводит к существенному росту их концентрации, что вызывает значительную коагуляцию, рост размеров частиц, оседание и в итоге — снижение огнетушащей способности АОС.

При неполном окислении продуктов реакции между компонентами АОС заметно уменьшается количество получаемого аэрозоля, а в его составе содержится дополнительно некоторое количество горючих веществ (С, СО, Н₂, СН₄), в том числе веществ, обладающих повышенной токсичностью, например СО, HCN, N_xO_y, KCN. Это приводит не только к снижению показателей огнетушащей способности, но и к ухудшению экологической безопасности АОС.

Токсичность огнетушащих аэрозолей, образуемых при сгорании зарядов АОС, определяется главным образом их химическим составом (газовой и твердой фаз), дисперсностью твердых частиц и временем воздействия. Применяемые для пожаротушения аэрозоли термически достаточно стабильны, а продукты их возможного термического разложения (K₂O, СО₂) незначительно отличаются по токсичности от компонентов подаваемого для тушения аэрозоля.

Основными характеристиками токсичности аэрозольных продуктов горения АОС являются время безопасного пребывания человека без средств защиты в огнетушащей среде $t_{\text{доп}}$ в течение которого в организме не возникает необратимых изменений, и показатель токсичности $НСL_{50}$ — отношение количества состава к единице объема замкнутого пространства (г/м³), в котором образующиеся при горении аэрозольные продукты (смесь газообразных и твердых веществ) вызывают гибель 50 % подопытных животных. В соответствии с величиной показателя $НСL_{50}$ огнетушащих аэрозолей АОС устанавливается класс их опасности. Класс опасности АОС

определяется по стандартной методике (табл. 1.15).

Таблица 1.15

Токсичность огнетушащих аэрозолей АОС

Модификация АОС	HC_{L50} , г/м ³ (время экспозиции, мин)	Класс опасности веществ	$t_{доп}$, мин	Токсичные компоненты
СТК-5-1	240 (60)	Малоопасные	$\geq 15,0$	СО (N _x O _y)
СТК-2МД	80 (5)	Умеренно-опасные	$< 1,0$	СО, N _x O _y , HCN
СТК-24МФ	165 (5)	Малоопасные	$< 3,0$	СО, HCN, N _x O _y
СБК-2(3)М	220 (60)	Малоопасные	$< 15,0$	СО, N _x O _y (Cl)
ПАС	165 (60)	Малоопасные	$< 15,0$	СО, (HCN, Cl)
ПТ-50	103 (60)	Малоопасные	$< 15,0$	СО, N _x O _y
ПТ-4	130 (60)	Малоопасные	$< 15,0$	СО, N _x O _y
СЭПТ	160 (15)	Малоопасные	$< 15,0$	СО, N _x O _y

При использовании рецептур нестехиометрического соотношения компонентов, "обогащенных" по горючим компонентам, в аэрозолях содержится опасное количество токсичных веществ. Аэрозоли АОС на основе перхлоратов калия менее токсичны, чем аэрозоли составов на основе нитрата калия. Во всех указанных случаях токсичность аэрозолей возрастает при использовании АОС на основе крупнодисперсных (более 160 мкм) компонентов, а также в случае его охлаждения. Поэтому охлажденный огнетушащий аэрозоль содержит в 1,5-5 раз больше токсичных веществ (СО, NH₃, Cl, N_xO_y).

В табл. 1.15 приведены данные о токсичности огнетушащих аэрозолей типовых составов АОС, получаемых при сжигании зарядов.

На диаграмме (рис. 1.5) приведена сравнительная характеристика токсичности огнетушащего аэрозоля АОС марки СБК-2 и других огнетушащих составов – хладонов 114В2 и 13В1, азота, углекислого газа и порошка ПСБ-3. Необходимо отметить, что для большинства веществ огнетушащая концентрация превосходит значение, допускающие пребывание в этой среде персонала, без средств индивидуальной защиты. Негативный эффект от воздействия огнетушащего аэрозоля на человека в большей степени обусловлен чрезвычайно малыми размерами частиц, которые попадая в организм при вдохе могут вызвать заболевание дыхательных органов.

Коэффициент относительного озоноразрушающего действия (КОД), методика определения которого разработана в Институте энергетических проблем химической физики РАН, показатель, характеризующий

сравнительную потенциальную способность огнетушащего аэрозоля АОС разрушать озоновый слой Земли, по сравнению с хладоном 11.

С учетом того, что твердые частицы огнетушащего аэрозоля, представляют собой различные соединения калия или натрия, имеют достаточно высокую растворимость в воде, попадая в тропосферу служат центрами конденсации влаги и вымываться с дождями на поверхность Земли. КОД твердых частиц огнетушащего аэрозоля АОС принимается равным 0.

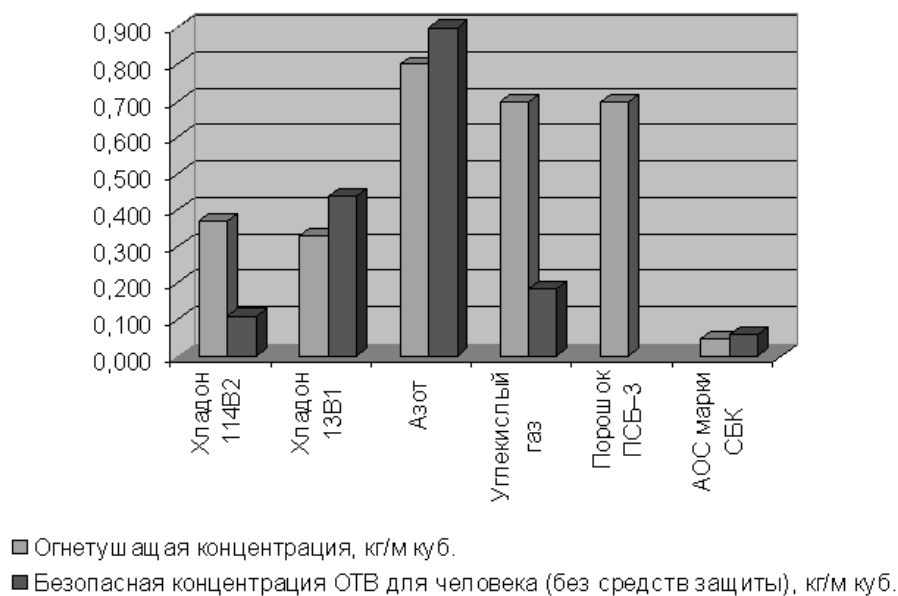


Рис. 1.5. Сравнительные показатели токсичности существующих средств объемного пожаротушения

Из газообразных соединений наиболее озоноопасными являются NO_x и HCN . Огнетушащие аэрозоли различных составов АОС, содержащие указанные соединения в количествах не более, соответственно, 10^{-1} и 10^{-3} % об., практически озонобезопасны, а значение КОД для таких АОС составляет не более 10^{-6} (табл. 1.16).

Анализ данных о скорости и характере коррозии металлических образцов при воздействии на них аэрозолей с концентрацией в 3–4 раза превышающую огнетушащую, свидетельствует о их сравнительно низкой активности. Что допускает применение огнетушащих аэрозолей для тушения электронного оборудования с сохранением его работоспособности.

Испытания составов СТК-24МФ, МГИФ, СТК-20МД, СБК, ПАС и Е-1 [5, 6] показали, что все перечисленные модификации АОС в количествах, равных примерно 2-3 минимальным значениям огнетушащих расходов, могут успешно применяться для тушения горящих электрооборудования и аппаратуры под напряжением до 1000 В.

При хранении, транспортировании и эксплуатации АОС в них могут происходить заметные физические и химические изменения вследствие внешних воздействий (климатических, механических и др.).

Значения КОД для различных средств объемного пожаротушения

Огнетушащее средство (ОС)	Удельный огнетушащий расход (гептан), г/м ³	Наиболее озоноопасные химические соединения в ОС	КОД
Хладон 11	-	Cl	1,0
Хладон 1211 (12В1)	280	Cl, Br	3,0
Хладон 1301 (13В1)	230	Br	10,0
Хладон 2402 (114В2)	240	Br	6,0
Хладон 125	-	-	0
Углекислый газ	610	-	0
Е-1	50	N _x O _y	≈0
СТК-5-1	65	N _x O _y	≈0
СТК-5-20МД	45	HCN, N _x O _y	≈0,01
СТК-24МФ	145	HCN, N _x O _y	≈0
МГИФ	45	HCN, N _x O _y	≈0
СБК-3(М)	40	N _x O _y	≈0
ПАС-11	45	N _x O _y , Cl	≈0
ПАС-11 (с ХО)	120	N _x O _y , Cl	≈0,01
ПАС-47М	45	N _x O _y , Cl	≈0
ПАС-47М (с ХО)	120	N _x O _y , Cl	≈0,01
ПТ-4	40	N _x O _y , NH ₃	≈0
ПТ-4 (с ХО)	110	N _x O _y , NH ₃	≈0,01
СЭПТ	46	N _x O _y , NH ₃ , Cl	≈0
СЭПТ (с ХО)	110	N _x O _y , NH ₃ , Cl	≈0,01

Физические изменения в АОС (набухание, появление трещин, изменение размеров, формы, плотности зарядов, растворение и испарение части компонентов и т. п.) чаще всего могут быть вызваны воздействием на них влаги, резкого изменения температуры окружающей среды и/или механического воздействия.

Химические изменения (изменение компонентного состава рецептур, повышение или понижение химической активности отдельных компонентов и др.) чаще всего связаны с пассивацией (образованием окисных пленок) и разложением компонентов при наличии в них некоторых примесей, влаги, а также в результате протекания обменных реакций между компонентами (особенно часто при повышенной влажности и температуре).

В зависимости от характера физико-химической стойкости АОС устанавливаются максимально допустимые условия и сроки хранения, транспортирования и эксплуатации.



В табл. 1.17 приведены данные о допустимых условиях и сроках хранения и эксплуатации зарядов характерных типовых АОС без учета проведения возможных специальных защитных мероприятий. На основании этих данных можно сделать вывод о том, что у стехиометрических составов срок эксплуатации ниже. Однако широкий температурный диапазон позволяет применять заряды АОС для защиты и не отапливаемых помещений.

В табл. 1.18 приведены значения показателей прочности в диапазоне температур от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$ при испытании на сжатие и растяжение для зарядов характерных модификаций АОС, изготавливаемых по различным технологиям. Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что прочностные характеристики серийно выпускаемых зарядов сравнимы с аналогичными показателями твердых веществ и материалов.

Таблица 1.18

Показатели механической прочности огнетушащих зарядов АОС

АОС	Технология формования зарядов	Температура испытаний, $^{\circ}\text{C}$	Предел прочности при сжатии $\delta_{\text{сж}}$, МПа	Предел прочности при растяжении $\delta_{\text{р}}$, МПа
СТК	Прессование	20	21	0,15
СТК	То же	50	6,0	0,1
СБК	Шнек-пресс	20	30	4,4
СБК	То же	50	25	0,5
ПАС	Литьевая	20	Более 70	Более 7,5
ПТ	Шнек-пресс	-50	-	24,0
ПТ	То же	20	5,5	1,2
ПТ	То же	50	1,7	0,5

По данным опытов [5] заряды СБК, ПАС, ТТК, ПТ, Е-1 успешно выдержали испытания при частоте синусоидальных колебаний до 2000 Гц (амплитуда виброперемещений 2,5 мм, амплитуда виброускорения 2g). Что позволяет использовать их для защиты транспортных средств и вибронпряженных объектов.

Таким образом, при обосновании выбора рецептур зарядов АОС для их практического применения в системах автоматического пожаротушения кроме учета физико-химических, механических, эксплуатационных, огнетушащих показателей, необходимо так же учитывать токсические, электрические, коррозионные свойства огнетушащего аэрозоля и его коэффициент озоноразрушающего действия.

1.2. Анализ современных систем объемного пожаротушения

1.2.1. Особенности построения и функционирования систем объемного пожаротушения

Самыми распространенными системами объемного пожаротушения до недавнего времени были системы газового тушения. К преимуществам систем газового тушения относятся: возможность быстрого заполнения огнетушащим веществом всего защищаемого объема какой-либо конфигурации, даже при наличии оборудования; быстрота тушения; возможность разбавления горючей среды и предотвращения взрыва. Однако системы газового пожаротушения применяются для защиты объектов, имеющих ограниченную площадь открытых проемов.

По конструкционным особенностям системы пожаротушения, в которых используются газовые огнетушащие составы (ГОС), условно можно разделить на группы:

- централизованные системы, в которых ГОС хранится в резервуарах с единичной вместимостью до 5 тонн;
- батарейные системы из баллонов вместимостью 40–400 литров с единичной вместимостью до 1 тонны;
- автоматические огнетушители для транспортных средств вместимостью до 2–20 литров;
- автоматические модульные системы вместимостью 40–80 литров.

Несмотря на разнообразие систем газового пожаротушения, все они, имеют схожий принцип построения [95]. На рис. 1.6 приведена упрощенная принципиальная схема централизованной системы газового пожаротушения, на которой цифрами обозначены следующие элементы: 1 – защищаемый объект; 2 – датчик пожарной сигнализации; 3 – распыляющие насадки; 4 – магистральный трубопровод; 5 – электро–пневмоклапан; 6 – резервуар с огнетушащим веществом; 7 – аккумулятор давления; 8 – манометр; 9 – пульт управления и контроля.

Технологическая часть автоматической системы газового пожаротушения в зависимости от способа хранения ГОС конструктивного исполнения содержит [54]:

а) централизованная установка:

- батареи газового пожаротушения, модули и/или изотермические резервуары, размещенные в помещении станции пожаротушения;
- коллектор с распределительными устройствами, размещенный в станции пожаротушения;
- магистральный и распределительный трубопроводы;
- насадки;

б) модульная установка:

- модули газового пожаротушения;
- распределительные трубопроводы;
- насадки.

Кроме, того, в состав технологической части системы входит побудительная подсистема.

Алгоритм работы централизованной системы сводится к следующим этапам. Под воздействием факторов пожара срабатывает один или несколько пожарных извещателей, сигнал от которых поступает на пульт управления и контроля. Он формирует команду на открытие электро-пневмоклапанов 5. Транспортирующий газ из аккумулятора давления 7 попадает в емкость 6, где храниться основной запас огнетушащего вещества. ГОС по магистральному трубопроводу, минуя предварительно открытый клапан 5, поступает в распределительную сеть того объекта, в объеме которого сработал пожарный извещатель. И через выпускные насадки распыляется по защищаемому помещению.

Защиту объекта с применением централизованной системы пожаротушения, как правило, организуют в случае помещения большого объема (до 5000 м³), либо при наличии нескольких защищаемых направлений. В этом случае клапан 5 выполняет функции распределительного устройства.

Для защиты малых объектов или локальных объемов система, представленная на рис. 1.6 может быть упрощена до модульной установки [54], пример которой представлен на рис. 1.7, а технические характеристики в табл. 1.19.

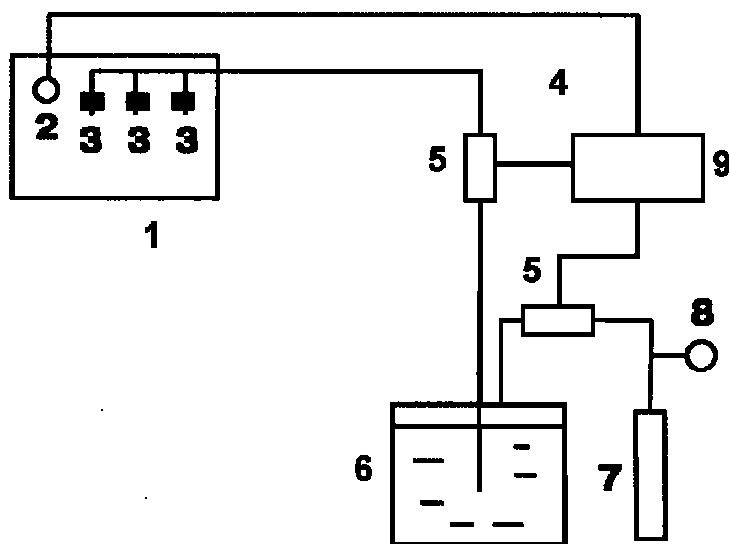


Рис. 1.6. Обобщенная схема системы газового пожаротушения

Величина защищаемого объема варьируется в зависимости от используемых веществ, в качестве которых могут выступать озонобезопасные хладоны.

В любом случае системой газового пожаротушения должны быть решены следующие задачи:

- доставка и выброс огнетушащего вещества в объем защищаемого объекта в течение заданного времени, это обеспечивается высоким избыточным давлением (4,0–12,5 МПа), достаточным запасом транспортирующего газа в аккумуляторе давления и правильным выбором сечения магистральных трубопроводов;
- достижение огнетушащей концентрации в защищаемом объеме за заданное время.

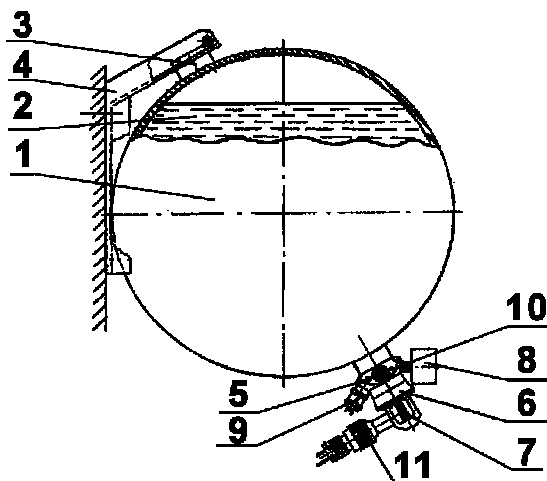


Рис. 1.7. Схема модуля газового пожаротушения "Импульс-20": 1 – ёмкость для хранения ГОС; 2 – сжиженная ГОС; 3 – крепежная гайка; 4 – кронштейн; 5 – запорно-распылительное устройство; 6 – распылитель; 7 – тепловой замок; 8 – манометр; 9 – сигнализатор давления; 10 – предохранительная мембрана; 11 – электромеханическое пусковое устройство

Недостатками систем газового пожаротушения являются [26]:

- опасность воздействия огнетушащих составов или продуктов их разложения на людей, что требует определенных мер предосторожности при их применении;
- необходимость дополнительной подачи ГОС в случае его утечки при наличии открытых проемов в ограждающих конструкциях защищаемых помещений, что усложняет и делает конструкцию установки более дорогой;
- отсутствие заметного охлаждающего эффекта, что при утечке огнетушащего состава может приводить к возникновению повторного воспламенения;
- утечки ГОС при их хранении под высоким давлением;
- высокая металлоемкость системы пожаротушения;
- значительная трудоемкость монтажа и технического обслуживания системы;
- высокая стоимость огнетушащих составов.

Основные технические характеристики модуля газового пожаротушения
"Импульс-20"

№ п/п	Характеристика	Ед. изм.	Значение
1.	Вместимость корпуса	л	20±0.5
2.	Масса огнетушащего заряда	кг	22±0.1
3.	Температура срабатывания модуля	°С	72
4.	Продолжительность выпуска состава	с	10
5.	Защищаемый объем	м ³	33÷43
6.	Диапазон температур эксплуатации	°С	-20÷+52

Системы порошкового пожаротушения имеют структуру подобную системе газового тушения. Но в виду того, что порошок обладает гораздо меньшей проникающей способностью, для реализации объемного способа тушения порошковые установки применяются редко. В последние годы стали популярны модульные системы порошкового пожаротушения (рис. 1.8), например, "Пума-12П", "Тайфун-015", "Тайфун-055", "СПРУТ-15". При невысокой стоимости, такие системы могут защищать сравнительно небольшие объемы (табл. 1.20)

Низкие эксплуатационные характеристик порошков, обуславливают необходимость проведения тщательного технического обслуживания систем порошкового пожаротушения. А невысокие значения защищаемых объемов ограничивают область применения таких систем до локального тушения.

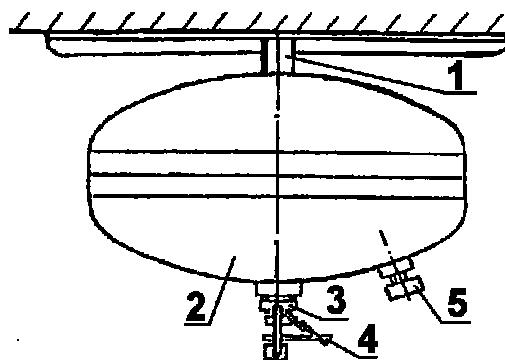


Рис. 1.8. Модуль порошкового пожаротушения "Пума-12 П": 1 – кронштейн; 2 – емкость с огнетушащим порошком; 3 – выпускной насадок; 4 – тепловой замок; 5 – манометр

В последние годы все большую популярность приобретает новая реализация объемного способа — аэрозольное пожаротушение [16, 34]. Реализуется этот способ путем создания непосредственно в момент тушения пожара огнетушащего аэрозоля из специального заряда АОС. Устройство, в котором протекает процесс превращения заряда АОС в огнетушащий аэрозоль, называется генератор огнетушащего аэрозоля (ГОА). [61, 62]

Таблица 1.20

Основные технические характеристики модуля порошкового
пожаротушения "Пума-12П"

№ п/п	Характеристика	Ед. изм.	Значение
1.	Вместимость корпуса	л	14.5±0.5
2.	Масса огнетушащего порошка	кг	12±0.1
3.	Температура срабатывания модуля	°С	72
4.	Продолжительность подачи порошка	с	24
5.	Защищаемый объем	м ³	50
6.	Полная масса модуля	кг	24
7.	Диапазон температур эксплуатации	°С	-20÷+50
8.	Срок службы до списания	лет	10

Автоматическая система аэрозольного пожаротушения (рис. 1.9) состоит из следующих элементов [33]:

- пожарные извещатели;
- приемно-контрольный прибор пожарной сигнализации;
- приборы и устройства контроля и управления пуском ГОА;
- устройства, обеспечивающие питанием элементы системы;
- шлейфы пожарной сигнализации, электрические цепи питания, управления и контроля системы;
- генераторы огнетушащего аэрозоля;
- устройства, формирующие командные импульсы на отключение систем вентиляции, кондиционирования, воздушного отопления и технологического оборудования;
- устройства, формирующие командные импульсы на закрытие противопожарных клапанов, заслонок вентиляционных коробов;
- устройства оповещения о выпуске огнетушащего вещества;
- устройства сигнализации о закрытии дверей в защищаемом помещении;
- устройства свето-звуковой сигнализации.

Функционирует система аэрозольного пожаротушения следующим образом (рис. 1.9). При поступлении сигнала о пожаре от пожарных извещателей 1, контролирующих различные его признаки, приемно-контрольный прибор 3 формирует и подает сигнал на включение свето-звуковой сигнализации 4 и системы речевого оповещения персонала 5, отключения вентиляции, технологического оборудования 6, закрытие вентиляционных и технологических проемов. Получив от магнитно-контактных датчиков 7 подтверждение о закрытии дверей и других открытых проемов, приемно-контрольный прибор 3 подается командный импульс на устройство управления пуском установки 8, которое в соответствии с заложенным алгоритмом, осуществляет пуск ГОА 9.

Достоинством рассмотренного алгоритма функционирования системы является:

- надежное и достоверное обнаружение очага пожара;
- возможность оперативного контроля целостности цепей сигнализации и питания элементов и узлов системы;
- возможность дистанционного пуска системы;
- возможность вмешательства в процесс работы системы в случае ее несанкционированного срабатывания.

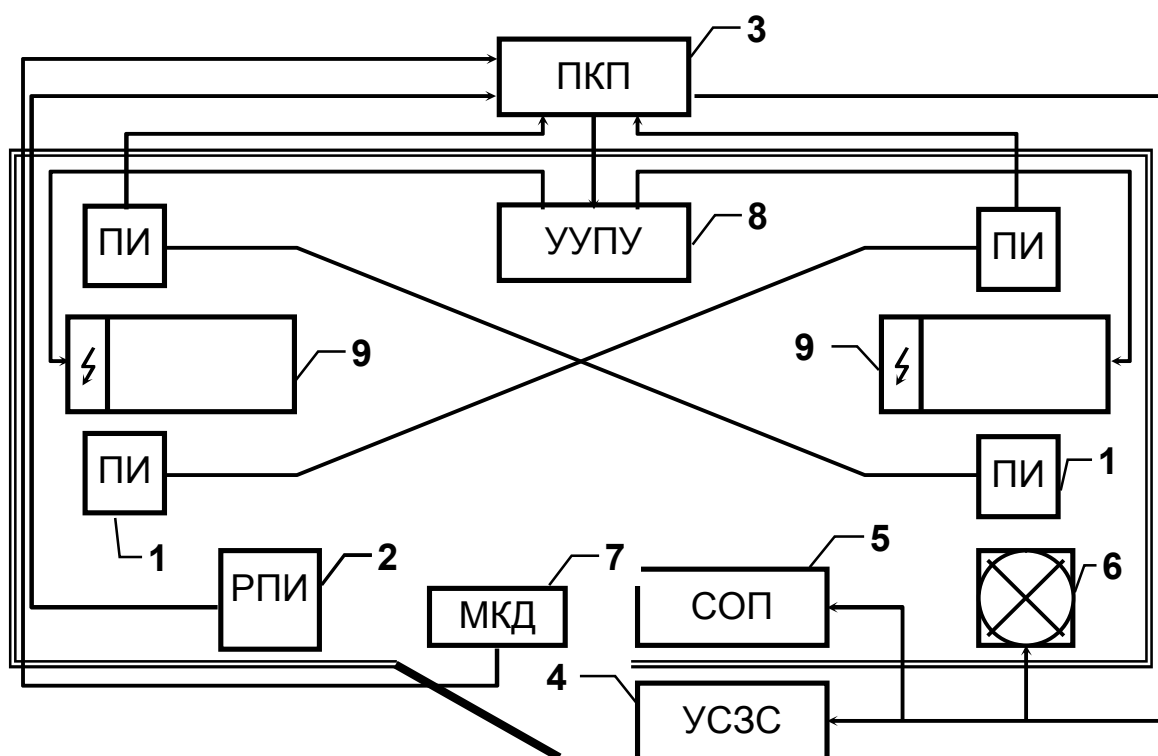


Рис. 1.9. Схема автоматической системы аэрозольного пожаротушения: 1 – автоматический пожарный извещатель; 2 – ручной пожарный извещатель; 3 – приемно-контрольный прибор пожарной сигнализации; 4 – устройства светово-звуковой сигнализации; 5 – система речевого оповещения персонала; 6 – технологическое оборудование; 7 – магнитно-контактный датчик; 8 – устройство управления пуском ГОА; 9 – ГОА с электрическим пуском

Принцип функционирования автономной системы заключается в следующем. При повышении температуры в защищаемом помещении выше некоторого порогового значения, происходит самовоспламенение и горение специального огнепроводного шнура, который обеспечивает инициирование термохимического узла запуска ГОА. В результате работы, которого происходит активация генератора.

Одно из преимуществ такого варианта построения системы состоит в отсутствии внешних источников питания, то есть система работает

автономно [99]. Вместе с тем, такой подход к организации защиты объекта исключает возможность контроля и управления процессом пожаротушения, а так же включения системы оповещения о пожаре.

Сравнительный анализ структуры и схем построения традиционных систем объемного пожаротушения и аэрозольных систем показал, что последние обладают следующими достоинствами:

- высокая огнетушащая эффективность;
- отсутствие сосудов под давлением для хранения огнетушащего вещества;
- отсутствие распределительной сети трубопроводов для доставки огнетушащего вещества;
- реализуется экологически безвредный способ пожаротушения;
- широкий диапазон температур эксплуатации;
- длительный срок эксплуатации и простота технического обслуживания.

Так же необходимо отметить, что во всех системах может быть использована одинаковая побудительная подсистема. Потому временные характеристики той или иной системы будут определяться быстродействием её исполнительных элементов. Очевидно, что при прочих равных условиях, подача огнетушащего вещества в защищаемый объем системой аэрозольного тушения, начнется сразу же после запуска ГОА. Следовательно, время работы аэрозольной системы будет определяться в основном временем работы генератора, например, у существующих модификаций величина этого параметра варьируется от нескольких секунд до двух с половиной минут.

Таким образом, задача повышения эффективности работы систем аэрозольного пожаротушения может быть решена путем улучшения характеристик исполнительного элемента этой системы – генератора огнетушащего аэрозоля.

1.2.2. Анализ схемных решений генераторов огнетушащего аэрозоля

Генераторы огнетушащего аэрозоля являются основными исполнительными элементами установок объемного аэрозольного пожаротушения. Анализ технических характеристик и областей применения существующих модификаций ГОА [30, 37, 97] позволил предложить классификацию этих устройств по 14 признакам [28].

ГОА предназначены для получения эффективных огнетушащих аэрозолей и подачи их с требуемыми расходами в результате сжигания зарядов АОС.

Одновременно ГОА обеспечивает сохранность огнетушащего заряда АОС от внешних воздействий, защиту людей, оборудования от непосредственного воздействия опасных факторов в процессе получения огнетушащего аэрозоля.

Основные конструктивные элементы ГОА (рис. 1.10) это: заряд аэрозолеобразующего состава 2, узел инициирования 3 и несгораемый корпус 1 с выходными отверстиями 4 [76].

Заряд АОС, как правило, имеет форму цилиндра (рис.1.10 а), либо имеет центральный канал, (рис.1.10 б и 1.10 в). Выходное отверстие может располагаться в торце генератора (рис. 1.10 а и 1.10 б). Выходное отверстие может быть закрыто мембраной (рис. 1.10 б) или крышкой (рис. 1.10 а).

Авторы изобретения [67] предложили конструкцию генератора (рис. 1.11), включающую камеру сгорания с крышками, пиротехнический заряд и воспламенительный узел, причем задняя крышка выполнена в виде сопла Лавалья. Изготовление задней крышки в виде сопла Лавалья позволяет получить скорость газового потока выше критического. Отношение площади критического сечения сопла к площади свободного прохода камеры сгорания не должно превышать 0,6, что, как утверждают авторы изобретения, позволяет улучшить условия распространения аэрозоля при сохранении огнетушащей способности взвешенных в газе частиц, т.к. в этом случае исключается потеря активности частиц внутри устройства, вследствие взаимодействия со стенкой и коагуляции.

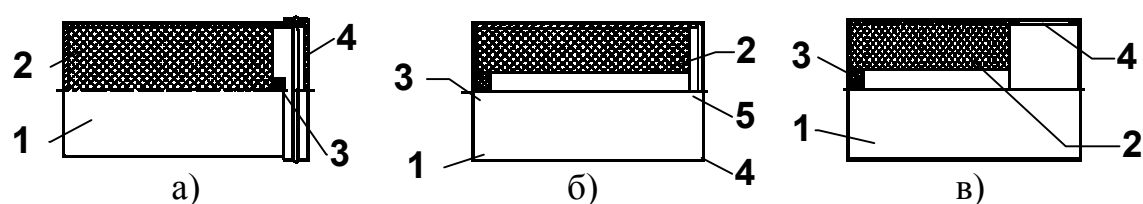


Рис. 1.10. Варианты типовых схемных решений ГОА: 1 – корпус; 2 – аэрозолеобразующий заряд; 3 – узел запуска; 4 – выпускные отверстия; 5 – мембрана

Для повышения эффективности пожаротушения за счет обеспечения создания равномерной концентрации аэрозоля в защищаемом объеме, авторы изобретения [101] предлагают снабдить камеру сгорания механизмом для ее перемещения за счет реактивных сил, возникающих при горении твердотопливного заряда (рис. 1.12). Снижение температуры аэрозоля достигается в этой конструкции в результате применения сопловой насадки в виде диффузора для подсоса воздуха. Такого типа устройства могут быть применены для защиты от пожаров длинных тоннелей и галерей.

Для снижения температуры аэрозоля авторами изобретения [72] предложено несколько технических решений:

- аблирующее покрытие корпуса и сопла;
- воздушно–эжекционная насадка;
- сообщающаяся с корпусом и соплом емкость с охлаждающей жидкостью.

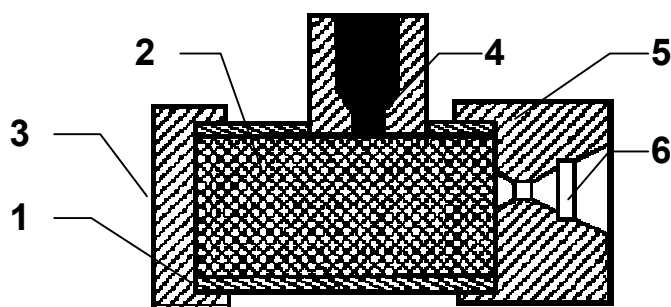


Рис. 1.11. Конструкция генератора с соплом Лавалья: 1 – камера сгорания; 2 – пиротехнический аэрозолеобразующий заряд; 3 – передняя крышка; 4 – воспламенитель; 5 – задняя крышка; 6 – сопло Лавалья

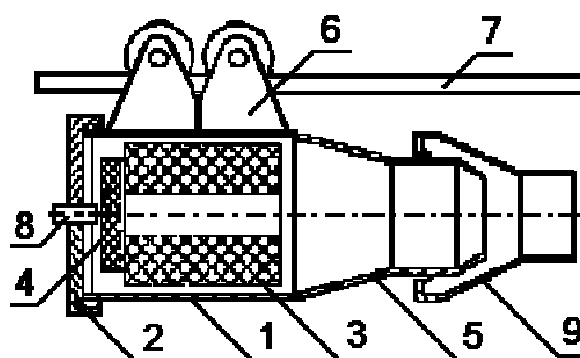


Рис. 1.12. Генератор с механизмом перемещения: 1 – камера сгорания, 2 – крышка; 3 – аэрозолеобразующий состав; 4 – воспламенитель; 5 – сопло; 6 – механизм перемещения; 7 – направляющая; 8 – электрозапал; 9 – диффузор-насадка

Аблирующая облицовка (рис. 1.13), во-первых, предохраняет корпус от чрезмерного разогрева, а во-вторых, снижает температуру рабочей аэрозольной смеси за счет разбавления ее газовыми продуктами термораспада облицовки. Кроме того, наличие в продуктах распада облицовки CO_2 и H_2O улучшает огнетушащие свойства рабочей смеси.

При использовании для дополнительного охлаждения аэрозольной смеси воздушно-эжекционной насадки (рис. 1.14), через отверстия 6 происходит эжекция воздуха потоком аэрозоля. Поскольку объем эжектируемого воздуха целиком определяется скоростью потока аэрозольной смеси, а следовательно давлением в камере сгорания (корпусе генератора), на которое обычно имеется ограничения (2 атм.), возможности чисто эжекционного охлаждения ограничены и его целесообразно сочетать с использованием аблирующих облицовок.

На рис. 1.15 приведена конструкция генератора с жидкостным охлаждением. Для охлаждения аэрозоля использована емкость 7 с

жидкостью, сообщающаяся отверстиями 6 и 8 с корпусом и соплом. В отверстии 8 установлена форсунка для распыла жидкости.

Авторами изобретения [81] предложена конструкция генератора с оппозиционным расположением зарядов [12] (рис. 1.16), а также компактная конструкция генератора (рис. 1.17), в которой корпус состоит из наружного и внутреннего полукорпуса в виде "стаканов" [8, 75]. В первом случае предложено схемное решение со скрепленным зарядом в пластиковом корпусе, при этом состав легко воспламеняется и устойчиво горит при атмосферном давлении, в продуктах сгорания содержится минимум недоокисленных компонентов, генератор в процессе работы имеет нулевую тягу.

В генераторе, схема которого представлена на рис. 1.17, аэрозолеобразующий заряд размещен во внутреннем полукорпусе.

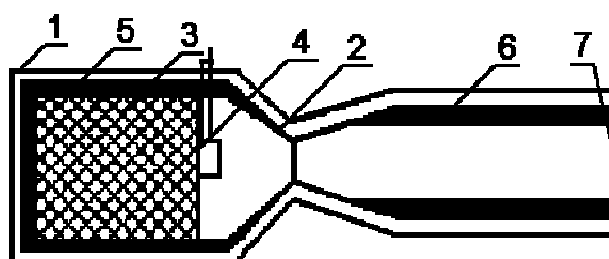


Рис. 1.13. Конструкция генератора с аблирующей облицовкой: 1 – корпус, 2 – сопло, 3 – аэрозолеобразующий состав, 4 – воспламенитель, 5, 6 – аблирующая облицовка, 7 – диафрагма

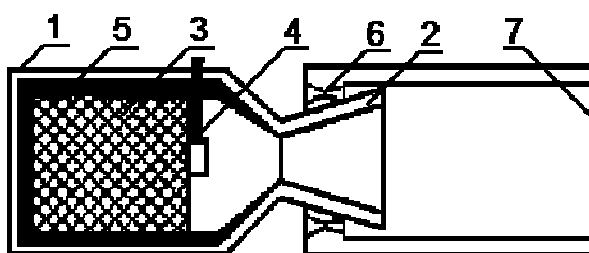


Рис. 1.14. Конструкция генератора с воздушно-эжекционной насадкой: 1 – корпус, 2 – сопло, 3 – аэрозолеобразующий состав, 4 – воспламенитель, 5 – аблирующая облицовка, 6 – эжекционные отверстия, 7 – воздушно-эжекционная насадка

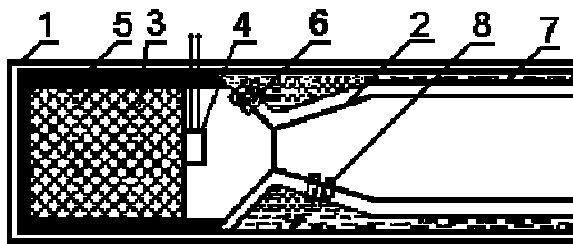


Рис. 1.15. Конструкция генератора с жидкостным охлаждением: 1 – корпус; 2 – сопло; 3 – аэрозолеобразующий состав; 4 – воспламенитель; 5 – аблирующая облицовка; 6, 8 – отверстия; 7 – емкость

Внутренний полукорпус коаксиально установлен во внешнем полукорпусе таким образом, что кольцевой зазор между обечайками полукорпусов образует газоход для истечения аэрозоля. На внутреннюю поверхность внешнего полукорпуса может наноситься покрытие из материала, разлагающегося при нагревании и охлаждающего аэрозоль. Специалистами ОКБ "Темп" и ИВЦ "Техномаш" на основе состава ПТ-50-2 разработана конструкция генератора [100], который можно применять для защиты помещений с взрывоопасной средой.

Очевидно, что при реализации обеих схем построения ГОА преследовалась цель снижение температуры продуктов сгорания заряда АОС. Первое изобретение реализовано в генераторах марки АПГ-3, АПГ-10 [12], а вторая схема – в генераторах марки "ОСА-М" [42].

Популярны конструкции генераторов, в которых аэрозоль с целью охлаждения пропускается через слой насыпного тепло поглотителя. Так в конструкции, разработанной специалистами ФЦДТ "Союз" [74], и реализованной в генераторах семейства "МАГ", аэрозоль проходит через теплопоглотительную насадку (рис. 1.18). В качестве теплопоглотителя применяются измельченные металл, стекло, керамика, гравий и т.д. или их смесь, а также полимерный материал в виде трубочек, собранных в пучок, в виде моноблока с отверстиями. Для повышения эффективности генератора в нижний слой теплопоглотительной насадки дополнительно вводится активные компоненты в виде гранул, резаных пластинок или шнура из аэрозолеобразующего компонента.

Генератор, схема реализации которого предложена в [83], содержит пиротехническую шашку, которая установлена в корпусе через абляционную термозащитную прослойку (рис. 1.18). Она состоит из гидрокарбоната натрия, который эндотермически разлагается с образованием дополнительных ингибиторов горения. Аэрозольная смесь через равномерно распределенные в крышке корпуса выпускные отверстия поступает в охлаждающий цилиндр, установленный с возможностью осевого перемещения относительно корпуса, что обеспечивает регулировку величины инжекционного зазора в зависимости от скорости горения шашки.

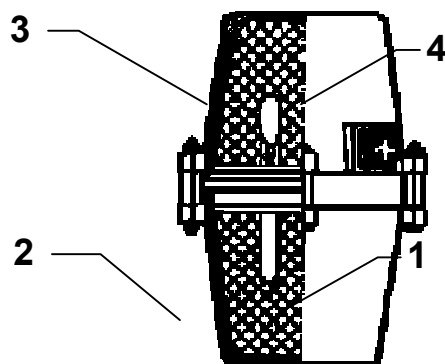


Рис. 1.16. Конструкция генератора с оппозиционным расположением зарядов: 1 – корпус; 2 – аэрозолеобразующий заряд; 3 – узел запуска; 4 – клеммная колодка

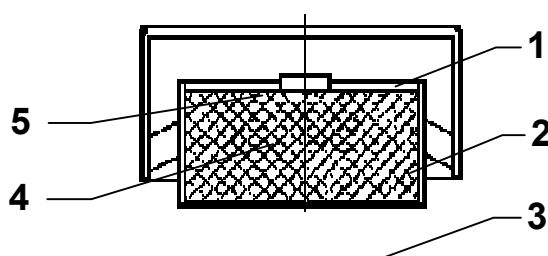


Рис. 1.17. Конструкция генератора с коаксиально расположенными полукорпусами: 1 – внешний полукорпус; 2 – внутренний полукорпус; 3 – аэрозолеобразующий заряд; 4 – воспламенитель; 5 – слой охладителя

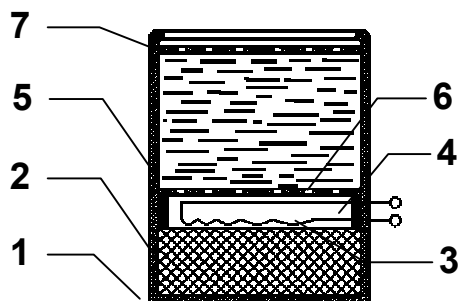


Рис. 1.18. Конструкция генератора с насыпным теплопоглотителем: 1 – корпус; 2 – аэрозолеобразующий заряд; 3 – электрозапал; 4 – опорное кольцо; 5 – теплопоглотительная насадка; 6 и 7 – решетка

Предлагаемый генератор [82] содержит коаксиально установленные в корпусе пиротехнический заряд 2 и блок охлаждения (рис. 1.19). На цилиндрической поверхности корпуса 1 распределены выходные отверстия 6. В перфорированной оболочке блока охлаждения 5 помещен слой таблеток или гранул из охлаждающего материала. Корпус имеет термозащитный слой 4. Блок охлаждения размещен относительно пиротехнического заряда с кольцевым зазором, объем которого выполняет дополнительные функции камеры сгорания, а геометрия оптимизированна для полного дожигания пиротехнической композиции заряда в газовой фазе.

Авторами изобретения [80] предлагается устройство, в котором заряд установлен в корпусе с зазором с соотношением площади зазора и площади наружной поверхности заряда от 1:40 до 1:15. Между зарядом и входными отверстиями установлен регенеративный теплообменник, выполненный в виде плоской параболической спирали с сеткой на обоих торцах. При этом в качестве материала спирали и сетки использованы металлы с температурой плавления выше температуры продуктов сгорания заряда.

Авторами [79] предлагается техническое решение, сущность которого заключается в следующем. Образующуюся при сжигании АОС смесь, подают к очагу горения с одновременным ее охлаждением путем пропускания через слой жидкостного или порошкообразного охладителя. В качестве последнего используют огнетушащий порошок, а в качестве жидкостного — многослойную жидкость, содержащую воду или водный раствор минеральной соли и органическую жидкость. Устройство содержит емкость с охладителем и камеру в виде перевернутого стакана с зарядами твердотопливного состава. Стакан погружен в охладитель, слой которого, охлаждаясь, образует гидрозатвор, обеспечивающий сбрасывание давления в камере при сжигании зарядов.

В генераторе (рис. 1.20), схема которого описана в [68], продукты сгорания пиротехнического состава 4 пропускают через слой каталитически активного вещества 6, который расположен в зоне максимальной температуры температурного профиля процесса сгорания. При этом за счет перемещения температурного профиля состава температура остается постоянной и не доокисленные продукты сгорания пиротехнического состава сгорают полностью. Охлаждение полностью окисленных продуктов сгорания происходит за счет взаимодействия с веществами, обладающими теплопоглощающими свойствами, при этом происходит фильтрация огнетушащего состава по размеру частиц. Устройство содержит корпус 1 с выходным отверстием 2. В корпусе расположена камера для сжигания 3 пиротехнического состава с поджигающим приспособлением 5, теплоизолированная от стенок корпуса. В корпусе установлены блок охлаждения 8 и блок каталитического охлаждения 6, содержащий две расположенные на расстоянии решетки 7. Между решетками размещено каталитически активное вещество, находящееся на постоянном расстоянии от пиротехнического состава. Предусмотрено компенсационное устройство 9, которое фиксирует пиротехнический состав 4 в неподвижном положении.

Предложен аэрозольный генератор для тушения пожара в виде блока из последовательно соединенных между собой однотипных элементов [84]. Элементом блока является цилиндрический корпус с выпускными отверстиями на его боковой поверхности, центральной металлической трубкой с боковыми отверстиями и расположенным вокруг трубки аэрозолеобразующим составом. Соседние элементы блока соединяются между собой с помощью цилиндрических втулок с резьбой и сквозным отверстием, которые завинчиваются в трубки соседних генераторов. Свободные концы сквозной центральной трубки с одной стороны

закрываются узлом запуска с воспламенительным составом, а с другой стороны — металлической заглушкой.

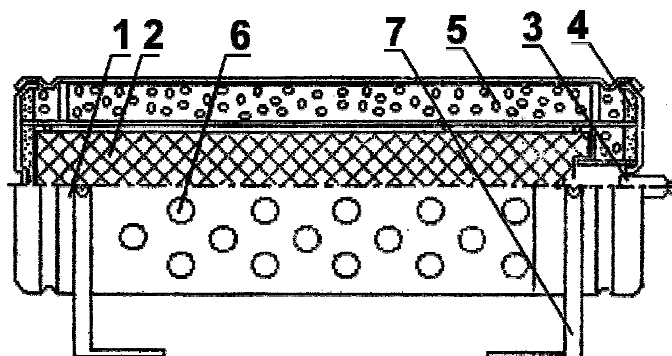


Рис. 1.19. Конструкция генератора с коаксиальным зарядом и блоком охлаждения: 1 – корпус; 2 – заряд АОС; 3 – инициирующее устройство; 4 – термоизолирующий слой; 5 – блок охлаждения; 6 – выпускные отверстия; 7 – кронштейн

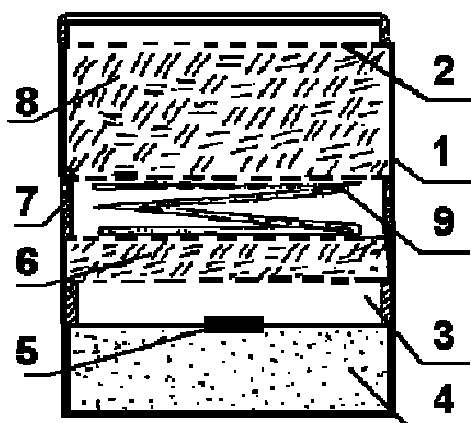


Рис. 1.20. Конструкция генератора с блоком каталитического охлаждения: 1 – корпус; 2 – выпускные отверстия; 3 – камера сгорания; 4 – пиротехнический заряд; 5 – инициирующее устройство; 6 – блок каталитического охлаждения; 7 – решетки; 8 – охлаждающая насадка; 9 – пружина

По мнению авторов, данная конструкция позволяет регулировать производительность ГОА, что упрощает контроль и управление в системе автоматического пожаротушения.

Проведенный анализ схемных решений генераторов огнетушащего аэрозоля показал, что на сегодняшний день сформировалась типовая конструкция ГОА. Основную часть генератора составляет заряд АОС, который размещен в термоизолированном корпусе, процесс окисления заряда протекает в камере сгорания, а подача огнетушащего вещества осуществляется через выпускные отверстия. Основная масса предложенных технических решений

сводится к решению проблемы высокой температуры огнетушащего аэрозоля. Так же необходимо отметить, что процедура создания новых модификаций ГОА носит экспериментальный характер.

1.2.3. Классификация генераторов огнетушащего аэрозоля.

В настоящее время разработкой и внедрением АОС и генераторов занимается более десятка предприятий и организаций. На сегодняшний день существует более двадцати различных рецептур АОС. Разработано и прошло различную степень экспериментальной отработки более ста модификаций генераторов огнетушащего аэрозоля. Разработанные генераторы сильно отличаются по своим тактико-техническим характеристикам. Так, масса заряда АОС в них изменяется от 8 г до 10 кг, масса снаряженного генератора — от 15 г до 70 кг. Время выпуска аэрозоля находится в пределах от 4 до 240 с. Большинство генераторов содержат в своем составе устройства для снижения температуры образующейся аэрозольной смеси.

Генераторы огнетушащего аэрозоля различного назначения разделяют по следующим основным признакам:

- виду компоновки;
- способу применения;
- виду инициирующего устройства (способу пуска);
- температуре горения заряда АОС;
- температуре огнетушащего аэрозоля на выходе ГОА;
- виду охлаждающего устройства;
- виду схемы конструкции ГОА;
- типу АОС;
- условиям горения заряда АОС;
- времени подачи огнетушащего аэрозоля;
- закону изменения расходных характеристик;
- способу приведения в действие;
- величине защищаемого объема.

По видам компоновки генераторы огнетушащего аэрозоля условно классифицируют на следующие группы:

- бескорпусные генераторы — огнетушащий заряд АОС с узлом инициирования или без него расположен в защитной оболочке на несгораемой панели и размещается в защищаемом объеме; процесс аэрозолеобразования протекает при разрушении или плавлении защитной оболочки непосредственно в атмосфере защищаемого объема;
- генераторы со сбрасываемым корпусом — огнетушащий заряд АОС и узел инициирования жестко установлены в защитном корпусе, который после пуска сбрасывается; процесс аэрозолеобразования протекает

- непосредственно в атмосфере защищаемого объема;
- генераторы с камерой сгорания — огнетушащий заряд АОС и узел инициирования жестко установлены в защитном корпусе, одновременно являющемся камерой сгорания; процесс аэрозолеобразования протекает в корпусе с последующей подачей аэрозоля в защищаемый объем.

Наибольшее распространение (порядка 94%) получили генераторы третьего вида — с камерой сгорания, как самые практичные и безопасные.

По способу применения генераторы подразделяются:

- на устройства оперативного применения;
- на стационарно размещаемые ГОА.

К первой группе относятся так называемые переносные, а точнее забрасываемые, генераторы. Они приводятся в действие человеком, обнаружившим пожар, с помощью термомеханического пускового устройства. Генератор снабжен рукояткой для удержания во время пуска, вес его, как правило, не превышает 5 кг. Как показывает анализ (рис. 1.21), забрасываемые ГОА составляют 10 % от общего числа промышленно выпускаемых генераторов, но только одна модификация этих устройств сертифицирована к применению на территории Украины. Это обусловлено отсутствием методик по применению этих средств при тушении пожаров и нормативной базы, регламентирующей эти вопросы.

Основные технические характеристики генераторов оперативного применения представлены в табл. 1.21

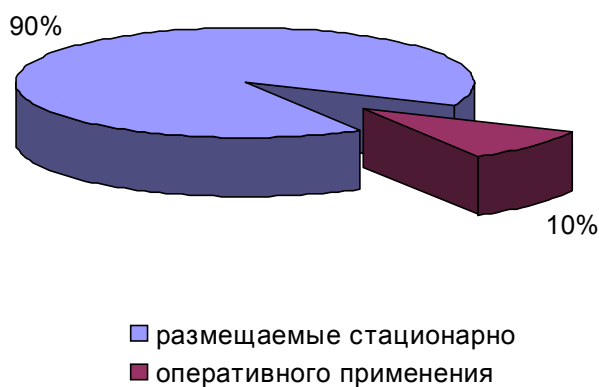


Рис. 1.21. Распределение ГОА по способу применения

В зависимости от вида устройства, которое формирует тепловой импульс для поджигания основного заряда АОС, различают генераторы:

- с электрическим пуском;
- с тепловым пуском;
- с механическим пуском;
- с комбинированным пуском.

Наибольшее распространение получили генераторы с пуском от электрического и/или теплового сигналов (рис. 1.22).

Генераторы, имеющие электрический пуск, как правило, применяются в составе автоматических установок аэрозольного пожаротушения.

Преимущества данного способа приведения в действие заключаются в возможности организации дистанционного управления установками пожаротушения и периодического контроля целостности цепей запуска.

Таблица 1.21

Основные технические характеристики ГОА оперативного применения

№ п/п	Марка ГОА	Характеристики ГОА					
		защитный объем, м ³	масса ГОА, кг	масса заряда АОС, кг	время работы, с	габаритные размеры	
						диам., мм	длина, мм
1.	АПГ-1	15	1,1	1,0	60	85	140
2.	ОАЗИС-8	8	0,8	0,8	60	65	135
3.	ОАЗИС-15	15	1,3	1,3	60	85	140
4.	ОАЗИС-15К	15	1,3	1,2	60	85	140
5.	СОТ-5М	40	5	3	70	210	110
6.	АГС-5	60	4,6	2,7	24	210	112
7.	Пурга-Гран-К	20	1,4	1,0	20÷25	98	220
8.	Пурга-Гран-М	60	4,5	3,0	20	245	150
9.	ДОПИНГ-2.5	5	1,9	1,75	20	80	220
10.	ДОПИНГ-2.10	10	3,9	3,6	20	105	320

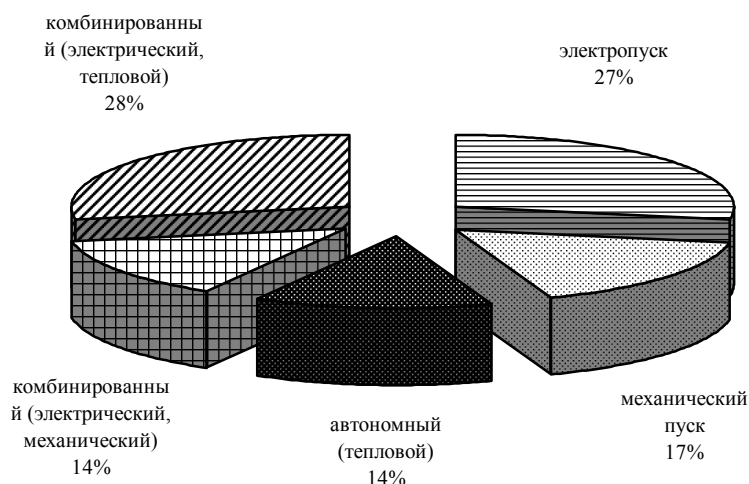


Рис. 1.22. Распределение ГОА по виду инициирующего устройства

Тепловой пуск ГОА обычно осуществляется от огнепроводного шнура (термочувствительного) на основе специальной твердотопливной композиции с пониженной температурой самовоспламенения. Из нее изготавливается шнур с заданными формой и размерами. Огнепроводный термочувствительный шнур размещают в местах наиболее вероятного возникновения загорания в защищаемом помещении. При возникновении

пожара он самовоспламеняется, огневой импульс с большой скоростью распространяется по шнуру и приводит в действие генератор. Возможно также воспламенение огнепроводного шнура от специальных пиромеханических устройств, срабатывающих при достижении в контролируемой зоне защищаемого помещения заданной температуры, как правило, более низкой, чем температура самовоспламенения огнепроводного шнура. ГОА с таким способом пуска не требуют внешнего источника энергии, функционируют автономно и применяются в стационарных установках пожаротушения, а также переносных (забрасываемых) генераторах. Недостатком рассматриваемого способа запуска ГОА является то, что процесс инициирования генератора невозможно проконтролировать, а соответственно предотвратить несанкционированное срабатывание установки аэрозольного пожаротушения.

Для стационарно размещаемых ГОА, важной характеристикой, которая должна приводиться в технической документации на генератор, является радиус высокотемпературной зоны, которая образуется при срабатывании ГОА. Величина этой зоны в первую очередь зависит от температуры получаемого огнетушащего вещества.

В зависимости от температуры аэрозоля, получаемого на срезе выходного отверстия, ГОА подразделяют на три типа:

- I – высокотемпературные (температура аэрозоля >500 °С);
- II – среднетемпературные (температура аэрозоля 200-500 °С);
- III – низкотемпературные (температура аэрозоля <200 °С).

Очевидно, что среди существующих модификаций ГОА преобладают устройства создающие аэрозоль с температурой ниже 500 °С. Хотя такая температура огнетушащего вещества остается достаточно высокой и горячий аэрозоль в течение определенного промежутка времени находится в верхней части защищаемого помещения длительность процесса остывания аэрозоля составляет всего несколько минут.

В последнее время наметилась тенденция к снижению температуры аэрозоля, об этом свидетельствует тот факт, что четвертая часть выпускаемых генераторов имеет на выходе аэрозоль с температурой менее 200 °С (рис. 1.23). Решается эта проблема путем применения теплопоглощающих и охлаждающих насадков.

Выпускаемые на сегодняшний день генераторы по виду охлаждающего устройства можно классифицировать следующим образом (рис. 1.24):

- с химическим охладителем;
- с газодинамическим охладителем;
- без охладителя.

Химический способ охлаждения в существующих устройствах реализован в бесконтактном и контактном режимах. Бесконтактный режим охлаждения, используется только в генераторах серии "ГАБАР". Он характеризуется тем, что высокотемпературные продукты горения заряда АОС проходят через лабиринт каналов, состоящих из двойных стенок,

между которыми в качестве охладителя засыпан обычный огнетушащий порошок. За счет нагрева стенок канала порошок частично разлагается и выделяет дополнительное количество инертных газов в поток аэрозоля, а частично остается в неразложившемся виде. Такой способ позволяет понизить температуру аэрозоля до 200°С без уменьшения его огнетушащей эффективности.

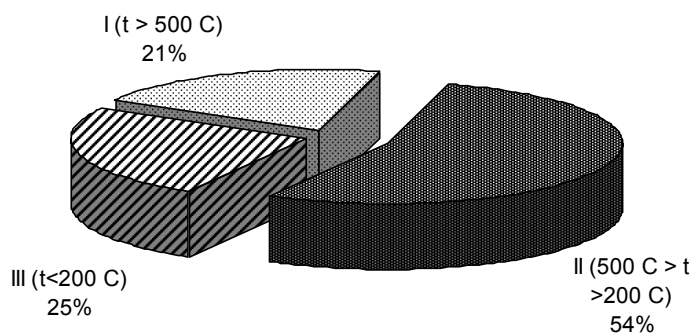


Рис. 1.23. Распределение ГОА по температуре аэрозоля

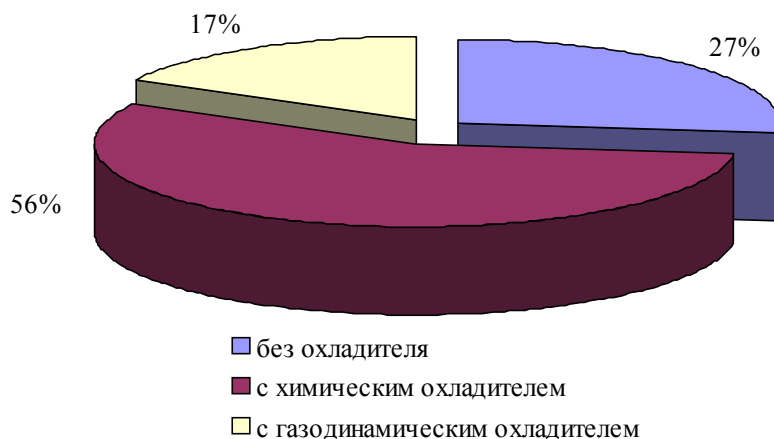


Рис. 1.24. Распределение ГОА по типу охладителя

Контактный режим охлаждения заключается в том, что на пути раскаленных продуктов разложения АОС устанавливается дополнительная насадка, заполненная пористым охладителем, чаще всего на основе оксалатов. Происходит прямой контакт аэрозоля и охладителя, который разлагается с эндотермическим эффектом, охлаждая его и выделяя при этом дополнительное количество инертных газов. В зависимости от конструкции насадки и физико-химических свойств охладителя этот способ позволяет снизить температуру огнетушащего аэрозоля до 200-400°С. Вместе с тем следует иметь в виду, что при интенсивном охлаждении продуктов горения происходит конденсация хлорида и карбоната калия, а при резком снижении скорости огнетушащего вещества в насадке конденсированная фаза успевает коагулироваться в более крупные конгломераты. При этом часть конденсированной составляющей аэрозоля фильтруется охладителем, а

часть выносится газовым потоком, в результате чего огнетушащая эффективность охлажденного аэрозоля снижается примерно в 2-2.5 раза.

Газодинамический способ охлаждения, реализованный в изделиях серии "СОТ", его использует только московская фирма "Гранит-Саламандра". Практика применения генераторов "СОТ-1" показала, что при выпуске высокотемпературного аэрозоля через такую насадку происходит подсосывание воздуха и вместо охлаждения происходит догорание в газовом потоке недоокисленных СО и Н₂ с образованием высокотемпературного диффузионного пламени, длина которого достигала 1,5-2 м. На сегодняшний день генератор данной марки запрещен к эксплуатации, а газодинамические насадки используются на некоторых модификациях генераторов серии "АГС" в комбинации с химическим способом охлаждения.

Необходимо отметить, что использование охлаждающих насадков, как правило, приводит к ухудшению показателей ГОА, таких как удельная массовая эффективность: отношение массы снаряженного ГОА к объему защищаемого помещения. Анализ данных (табл. 1.22) показывает, что существенный вклад в этот процесс вносит масса охлаждающего насадка.

Снижение температуры аэрозоля на выходе ГОА можно добиться путем применения зарядов АОС с низкой температурой горения, так называемые генераторы "холодного" аэрозоля. К ним относятся генераторы серии "ОСА-М" (ООО "Озон" г. Пермь), ГОА 40-72 (фирма "Интертехнолог" г. Санкт-Петербург). Снижение температуры аэрозоля достигается за счет изменения химического состава зарядов АОС. Но в этом случае ухудшается огнетушащая способность аэрозоля, что в свою очередь приводит к увеличению массы заряда и массы самого генератора.

Одной из основных характеристик любого ГОА есть закон изменения во времени расхода огнетушащего аэрозоля. Можно выделить следующие основные режимы подачи аэрозоля:

- подача аэрозоля с постоянным секундным расходом;
- прогрессивное
- регрессивное.

Как показывает проведенный анализ (рис. 1.25), среди промышленно выпускаемых генераторов преобладают устройства с нейтральным законом изменения массового расхода. Этот режим реализуется в зарядах без канала и горящих по торцу, либо в канальных зарядах горящих по внутренней и внешней поверхности заряда.

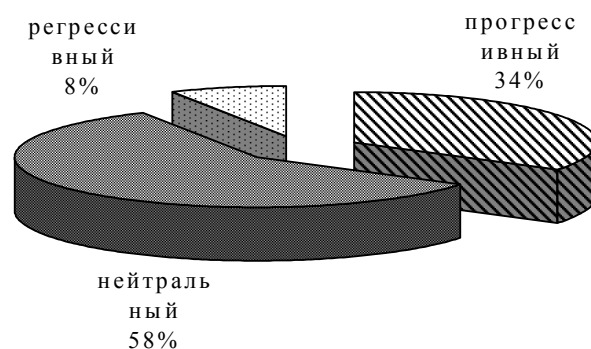


Рис. 1.25. Распределение ГОО по закону изменения расхода

Таблица 1.22

Основные технические характеристики ГОО стационарного применения

№ п/п	Марка ГОО	Характеристики ГОО					
		защитный объем, м ³	масса ГОО, кг	масса заряда АОС, кг	время работы, с	габаритные размеры	
						диаметр, мм	длина, мм
1.	ПУРГА-1М	10	0,8	0,55	20-35	72	120
2.	ПУРГА-М	8	2,4	0,6	10-14	102	390
3.	ПУРГА МХ	10	9,3	1,0	45	100	623
4.	ПУРГА К002	0,25	0,1	0,02	10	28	120
5.	ПУРГА К-02	2	1,04	0,02	20-26	88	116
6.	ПУРГА Т	0,1	0,017	0,008	5	52	14
7.	ПАГ-02	4	0,64	0,2	6-8	80	90
8.	ПАГ-04	8	1,1	0,4	6-8	80	120
9.	ПАГ-06	7,0-10,0	1,6	0,6	15	80	144
10.	АГС-3	3,2	1,2	0,32	19	122	65
11.	ГОО-15-20	0,3	1,2	-	10	32	455
12.	ГОО-15-30	0,5	1,6	-	10	32	630
13.	МАГ 1	0.5 - 1	0,45	0,06	2-3	75	97
14.	МАГ 2	1 - 2	0,55	0,1	4-6	75	108
15.	МАГ 02	0,2	0,12	0,02	2-3	28	125
16.	МАГ 3	2 - 3	0,90	0,2	4-6	75	150
17.	МАГ 4	10	3,8	1,0	7-10	95	385
18.	МАГ 5	5	2,1	0,5	5-10	95	232
19.	Допинг-2.02	0,2	0,15	0,016	5	70	40
20.	Допинг-2	2,0	1,3	0,2	25	80	160
21.	Допинг-2.10	10	3,9	1,2	20	105	320
22.	Вьюга МЭО 075	0,8	0,34	0,075	6	45	200

Режим работы с постоянными во времени расходными характеристиками лучше всего поддается моделированию и используется в расчетах при прогнозировании параметров генератора. Кроме этого, канальный заряд, горящий по всей поверхности, обеспечивает максимальный расход огнетушащего вещества и минимальное время работы ГОА. Поэтому при проектировании новых устройств разработчиками отдается предпочтение именно нейтральному закону изменения расхода.

Проведенный анализ показал, что основными техническими характеристиками ГОА, которые должны учитываться при проектировании систем аэрозольного пожаротушения и создании новых модификаций ГОА, а также должны быть приведены в паспорте на устройство, являются следующие показатели: время работы ГОА, его инерционность, масса заряда АОС, огнетушащая способность получаемого аэрозоля, масса снаряженного генератора, радиус высокотемпературных зон, закон изменения расходных характеристик, вид инициирующего устройства, габаритные размеры, условия эксплуатации.

Анализ современных систем объемного аэрозольного пожаротушения показал, что имеет место устойчивая тенденция к повышению их эффективности, в частности, путем улучшения временных и расходных характеристик исполнительных элементов таких систем — генераторов огнетушащего аэрозоля. Проведенные исследования показали, что при решении данной задачи, в основном применяется экспериментальный метод совершенствования характеристик, который сопровождается значительными затратами материальных и временных ресурсов, и не дает возможности заранее спрогнозировать значения технических характеристик новых модификаций ГОА.

Таким образом, актуальной является задача обоснования возможности создания генераторов огнетушащего аэрозоля с улучшенными динамическими характеристиками.

В ходе решения данной задачи необходимо:

- провести анализ процессов, протекающих в камере сгорания ГОА;
- построить математические модели, адекватно описывающие процессы, протекающие в камере сгорания ГОА;
- определить параметры заряда АОС, параметры корпуса генератора, обеспечивающие наименьшее время работы ГОА при заданном массовом расходе огнетушащего вещества;
- создать экспериментальную установку для исследования динамических характеристик ГОА;
- разработать методику экспериментального определения характеристик ГОА;
- оценить адекватность полученных математических моделей.

Особенностью решения указанной задачи является то, что процессы, протекающие в камере сгорания генератора, описываются с помощью системы дифференциальных уравнений, которая содержит уравнение

сохранения энергии, сохранения массы продуктов сгорания и уравнение состояния идеального газа, и ее решение рассматривается в нульмерном приближении. Определение динамических характеристик камеры сгорания ГОА проводится с привлечением процедуры линеаризации уравнений, связывающих осредненные по свободному объему камеры значения давления, температуры и скорости горения заряда АОС. Для определения параметров, оказывающих наибольшее влияние на величину времени работы, продолжительности переходного процесса в камере ГОА и величину массового расхода, предложена процедура имитационного моделирования. Для проверки адекватности математических моделей проводятся экспериментальные исследования технических характеристик ГОА.