

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

С. Даунгаузэр
кандидат химических наук, старший научный сотрудник
действительный член ВАНКБ
коммерческий директор ООО «Эдельвейс»

Как известно, для ряда объектов диапазон применяемых систем пожаротушения довольно узок. Так, объекты, на которых используется электронное оборудование (серверные, пультовые, диспетчерские), а также объекты с особо ценными и/или чувствительными к внешнему воздействию единицами хранения (музеи, картинные галереи, архивы), защищаются, как правило, системами автоматического газового пожаротушения. Какое газовое огнетушащее вещество (ОТВ) выбрать – решает обычно проектная организация. Заказчик же в основном ориентируется на ценовую составляющую системы. Между тем в таком ответственном деле, как защита от пожара, критерий цены хоть и важен, но не должен играть решающую роль. На наш взгляд, критерии выбора ОТВ должны быть следующими (в порядке убывания значимости):

- эффективность тушения;
- безопасность для людей;
- безопасность для материальных ценностей;
- технологичность;
- экологическая безопасность;
- цена.

1. Эффективность тушения при условии раннего обнаружения возгорания для всех газовых ОТВ можно считать одинаково высокой. По остальным вышеуказанным критериям мы решили провести сравнение наиболее популярных газовых ОТВ. Оценка осуществлялась методом ранжирования, т.е. по каждому критерию определялось место (рейтинг) ОТВ. Суммарная оценка по нескольким критериям осуществлялась суммированием рейтинга ОТВ по соответствующим критериям. Такой метод широко применяется в спорте (например, в фигурном катании).

2. Безопасность для людей. Обеспечение безопасности людей при пожаре – одна из основных задач противопожарной безопасности. Наряду с организационно-техническими мероприятиями (своевременное обнаружение источника возгорания, организация оповещения и эвакуации) большое внимание уделяется обеспечению безопасности людей в ситуациях, когда по тем или иным причинам эвакуация невозможна. Это, во-первых, нештатная ситуация, связанная с несанкционированным срабатыванием системы пожаротушения; во-вторых, не-

штатная ситуация, связанная с технической и/или организационной невозможностью провести эвакуацию и, в-третьих, штатная ситуация, связанная со служебной необходимостью людей оставаться в помещении, в котором сработала система пожаротушения. В связи с этим изучается влияние различных ОТВ на живые организмы в отсутствие возгорания и при наличии очага возгорания. Не так давно была опубликована большая работа, посвященная этой проблеме [1]. Заслуживает внимание также статья [2], хотя некоторые ее положения вызывают сомнения.

2.1. Механизмы пожаротушения.

Для более полного понимания характера воздействия газовых ОТВ на людей напомним еще раз основные механизмы пожаротушения [3]. Итак, существует четыре основных механизма пожаротушения:

- охлаждение;
- изоляция;
- разбавление;
- ингибирование.

Иногда ОТВ реализуют одновременно несколько механизмов.

2.1.1. Охлаждение.

Скорость любой химической реакции, в том числе и горения, зависит от температуры. Эта зависимость подчиняется известному уравнению Вант-Гоффа:

$$V_2 = V_1 \times \gamma(T_2 - T_1)/10,$$

где γ – температурный коэффициент, принимающий значение от 2 до 4.

Из этого уравнения следует простой вывод: при снижении температуры на 10°C скорость реакции падает в 2-4 раза. Такое снижение весьма существенно, особенно для цепных реакций (а именно к таким реакциям относится горение). Цепные реакции развиваются лавинообразно и так же лавинообразно угасают. Поэтому резкое охлаждение зоны горения может привести к полному прекращению горения.

2.1.2. Изоляция.

Все реакции развиваются на границе раздела фаз, проще говоря, на поверхности. В реакции горения участвует не само вещество, а газообразные продукты, переходящие из вещества в зону горения. Это могут быть пары самого вещества или продукты его деструкции (первичные продукты горения). С другой стороны, для развития горения требуется постоянная подпитка зоны горения кис-

лородом. Если воспрепятствовать этим процессам, реакция горения затухает.

2.1.3. Разбавление.

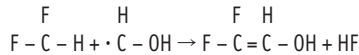
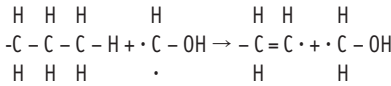
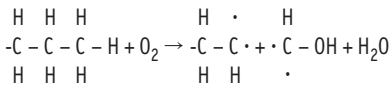
Кислорода в атмосфере всего 21%. Остальные компоненты атмосферы не поддерживают горение, но участвуют в газообмене на границе раздела фаз, конкурируя с кислородом. Поэтому для прекращения горения не обязательно полностью убрать кислород из атмосферы, достаточно снизить его концентрацию примерно до 12%.

Итак, в обычном воздухе 21 об. % кислорода. Нужно разбавить до 12% $21/X = 12; X = 21/12 = 175$, т.е. огнетушащая концентрация (ОТК) газа-разбавителя должна быть порядка 75 об. %.

На практике используются более низкие концентрации, поскольку газовые огнетушащие вещества реализуют несколько механизмов тушения.

2.1.4. Ингибирование.

Ингибирование – это химическая реакция, в результате которой основная реакция замедляется. При горении лавиноподобно растет количество активных частиц – радикалов. Здесь показана только одна из множества реакций, развивающихся при горении.



При воздействии кислорода на углеводород образовались две активные частицы-радикала (с точками). Каждая из частиц атакуя нейтральную молекулу углеводорода, образует также два радикала – и цепная реакция пошла...

Теперь введем в зону реакции ингибитор, например, трифторметан, известный как хладон-23. Его реакция с радикалом уничтожает радикал и образует две нейтральные молекулы. Таким образом, количество активных частиц в зоне реакции снижается, следовательно, реакция угасает. На практике все происходит гораздо сложнее, но суть процесса от этого не меняется.

2.2. Группы газовых ОТВ. В соответствии с реализуемыми механизмами пожаротушения, все газовые ОТВ делятся на две группы: инертные газы (или разбавители) и хладоны (или ингибиторы).

2.2.1. Инертные газы. К этой группе относят классические инертные газы азот N₂ и аргон Ar, их смеси, а также двуокись углерода CO₂. В последние годы большую популярность приобрел состав «Инерген» – смесь N₂+ Ar+ CO₂ в соотношении объемных частей 52:40:8.

Для этой группы основной механизм тушения – разбавление. Как указано выше, огнетушащая концентрация, требуемая для реализации тушения через разбавление в чистом виде, должна быть порядка 75 об. %. Однако все газовые ОТВ, которые хранятся в сжатом или сжиженном состоянии, при выходе в помещение заметно снижают в нем температуру, реализуя таким образом и второй механизм тушения – охлаждение. Поэтому опытным путем установлены более низкие огнетушащие концентрации для этих ОТВ (35-50 об. %).

2.2.2. Хладоны. Эта группа включает в себя галоидзамещенные углеводороды, которые основное свое применение находят как хладоагенты в холодильных установках. В последние годы многие из известных хладонов были запрещены к использованию по экологическим соображениям (разрушение озонового слоя), и в настоящее время применяются только фторзамещенные углеводороды. Основной механизм тушения для ОТВ этой группы – химическое ингибирование реакции горения. Огнетушащие концентрации в этой группе заметно ниже, чем в первой (3,5-15 об. %). Разумеется, как и в первой группе, существенный вклад в общую эффективность тушения вносит охлаждение помещения вследствие расширения (испарения) газовых ОТВ при их выходе из резервуаров.

2.3. Токсичность газовых ОТВ. Этот фактор характеризует собственно физико-химическое влияние ОТВ на живые организмы.

Токсичность некоторых ОТВ в отсут-

ствии очага возгорания приведены в таблицах 1 и 2.

Согласно приведенным данным, наименьшей токсичностью обладают инертные газы (азот, аргон, инерген), из хладонов же низкой токсичностью может похвастаться только HFC-23. Обращает на себя внимание высокая токсичность CO₂. Это вызвано тем, что в организмах животных (и человека, разумеется) заложен механизм специфического влияния CO₂ на регуляторы дыхания. Уже при концентрации порядка 2% об. наблюдается заметное учащение дыхания, при концентрациях 5% об. и более происходит сбой в работе регуляторов дыхания, что ведет к смерти.

2.4. Опасность ОТВ при срабатывании системы пожаротушения. Приведенные в предыдущем разделе данные не отражают реальной опасности ОТВ при их применении в системах газового пожаротушения. Здесь нужно учитывать следующие факторы: огнетушащая концентрация (ОТК) данного ОТВ; его способность давать опасные продукты при контакте с пламенем. Что касается последнего, то инертные газы практически не вступают в химические реакции в наблюдаемых при пожарах диапазонах температур, следовательно, никаких вредных продуктов они образовывать не могут. Хладоны действительно вступают в химические реакции с продуктами горения (в этом заключается их механизм тушения), но если система пожаротушения спроектирована и выполнена правильно (срабатывает на ранних стадиях обнаружения пожара), то количество образующихся продук-

Табл. 1. Токсичность инертных газовых ОТВ (ISO 14520) [4]

Наименование ГОТВ	Азот	Аргон	Газовый состав «Инерген»	CO ₂
NOAEL, % об.	43	43	43	5
LOAEL, % об.	52	52	52	10

Табл. 2. Данные о токсичности галоидоуглеводородов из стандарта США (НФПА 2001) [1, 4]

Огнетушащее вещество	LC50 или ALC, % об.	NOAEL, % об.	LOAEL, % об.
HFC-125 (хладон-125)	>70	7,5	10
HFC-227ea (хладон-227ea)	>80	9	10,5
HFC-23 (хладон-23)	>65	30	>50
Novac 1230	>65	10	>10

Примечание. LC₅₀ – концентрация, вызывающая гибель белых крыс при 4-часовой экспозиции; ALC – приближенная летальная концентрация; NOAEL – наибольшая концентрация, при которой не наблюдается кардиосенсибилизирующее или кардиотоксическое действие; LOAEL – наименьшая концентрация, при которой наблюдается кардиосенсибилизирующее или кардиотоксическое действие; значения NOAEL и LOAEL установлены на основании результатов определения аритмии сердца у животных при 5-минутном воздействии огнетушащего агента и последующем введении адреналина.

Табл. 3. Показатели опасности ОТВ

Огнетушащее вещество	Нормативная ОТК, % об.	Расчетная ОТК, % об.	NOAEL, % об.	Превышение NOAEL над расчетной ОТК, крат.	Результат воздействия на человека	Рейтинг (место)
Азот	34,6	45,0	43	0,96	Асфиксия	6-7
Аргон	39,0	47,0	43	0,91	Асфиксия	6-7
Инерген	36,0	45,0	43	0,96	Асфиксия	5
CO ₂	34,9	40,0	5	0,125	Отравление	8
HFC-125	9,8	12,0	7,5	0,625	Отравление	4
HFC-227ea	7,2	8,6	9	1,045		3
HFC-23	14,6	18,8	30	1,60		2
Novac 1230	3,5	4,2	10	2,38		1



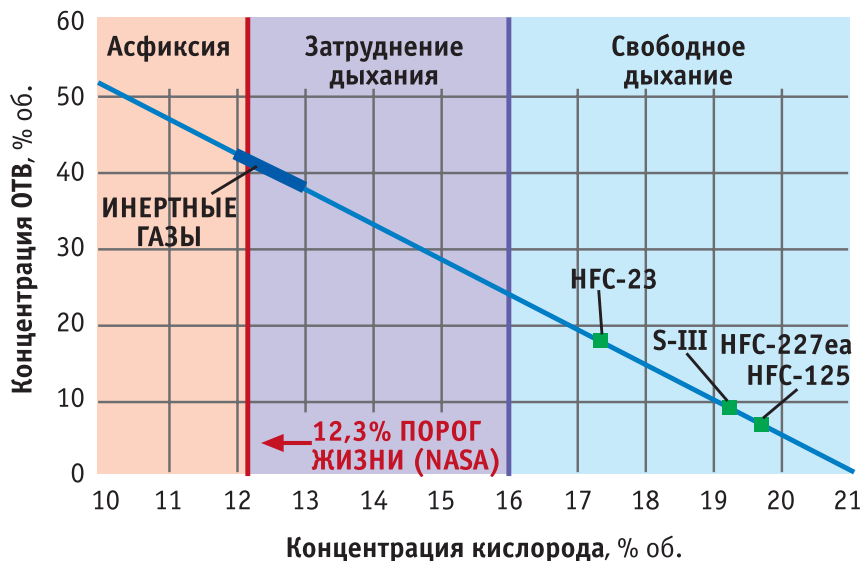


Рис. 1. Остаточная концентрация кислорода при пожаротушении различными типами ОТВ [5]

тов деструкции бывает незначительно и не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК) для этих продуктов [2]. Поэтому мы рассмотрим только влияние на опасность ОТВ их ОТК.

Сравнение опасных концентраций газовых ОТВ с их ОТК приведено в таблице 3.

Поясним данные таблицы 3. Различные ОТВ имеют различные ОТК. Очевидно, что превышение NOAEL над ОТК является критерием безопасности ОТВ для человека в помещении, где сработала система газового пожаротушения. При этом необходимо учитывать два момента. Во-первых, для сравнения следует применять не нормативную, а расчетную ОТК, которая больше нормативной в 1,2-1,5 раза. Во-вторых, незначительное превышение NOAEL над расчетной ОТК (как, например, в случае с HFC-227ea) не может служить гарантией безопасности. Напомним, что NOAEL определяется как максимальная концентрация ОТВ, при которой не регистрируется вредного воздействия в течение 5-минутной экспозиции животных, чаще всего белых крыс. Здесь важно помнить, что

- человек – не крыса, его порог чувствительности к неблагоприятным воздействиям гораздо ниже;
- времени 5 минут в ряде случаев недостаточно для того, чтобы человек покинул помещение, и
- зачастую действительная концен-

трация ОТВ в помещении превышает ОТК.

Поэтому реально безопасными из приведенных ОТВ могут считаться лишь HFC-23 и Novac 1230. Так что многократные утверждения в различных источниках того, что HFC-227ea является безопасным ОТВ, вызывают серьезные сомнения.

Столь же спорны утверждения о безопасности инертгена. Разработчики и популяризаторы этого ОТВ делают упор на то, что некоторое количество (8% об.) CO₂ в составе инертгена обеспечивает, за счет учащения дыхания, относительно безопасное пребывание человека в его атмосфере. На это можно возразить следующее.

Количество кислорода в помещении, где произошел выпуск инертного газа (в том числе инертгена) в концентрации порядка 45-50% об., составит около 13% об. Это количество соответствует количеству кислорода в атмосфере на высоте 4,5-5 км. Известно, что подъем на такую высоту под силу только специально подготовленному человеку с особыми природными данными. При этом подъем происходит постепенно, с продолжительными остановками для адаптации. При пожаротушении состав атмосферы меняется в течение 30-60 с, а вероятность того, что в помещении находятся исключительно альпинисты, стремится к нулю. Обычному же человеку в такой ситуации грозит быстрая асфиксия. По данным NASA, концентрация кислорода 12,3% об. – это

порог, за которым наблюдается 100-процентная асфиксия (рис. 1). Так что учащенное дыхание вряд ли поможет обычному человеку выжить в атмосфере инертгена сколько-нибудь продолжительное время.

Итак, мы получили и, надеюсь, обосновали первый рейтинг сравниваемых ОТВ.

3. Безопасность для материальных ценностей. Тут все проще. Все сравниваемые ОТВ одинаково безопасны для материальных ценностей. В связи с этим рейтинг по этому критерию не определялся.

4. Технологичность. В это суммарное понятие мы включили следующие параметры: количество ОТВ, необходимое для тушения, количество баллонов и рабочее давление в системе. Очевидно, что чем выше значение этих параметров, тем больше технических трудностей возникает при установке и эксплуатации системы. Из этого и последующих сравнений мы исключили азот и аргон, поскольку их показатели практически одинаковы с инертгеном. Результаты сравнения представлены в таблице 4.

Данные этой таблицы также требуют пояснений. Из всех сравниваемых ОТВ только инертген хранится не в сжиженном, а в сжатом состоянии. Сжатого газа в баллон помещается существенно меньше, чем сжиженного. Поэтому количество требуемых баллонов для инертгена больше не на треть, как утверждают авторы в статье [2], а в 4-6 раз по сравнению с хладоновыми системами. Согласитесь, это в корне меняет оценку применимости систем с инертными ОТВ.

CO₂ хранится в сжиженном состоянии, как и хладоны, что сразу снижает количество баллонов в системе по сравнению с инертгеном. Но и здесь это количество в 2,5-4 раза больше, чем в системах с хладонами. А из рассматриваемых хладонов меньше всего по количеству ОТВ и баллонов требуется для системы с ОТВ Novac 1230, что и обусловило его высокую рейтинговую оценку.

Итак, по основным критериям (а таковыми, несомненно, являются безопасность и технологичность) суммарный рейтинг сравниваемых ОТВ выглядит следующим образом:

- Novac 1230 – 2
- Хладон-227ea – 5
- Хладон-23 – 7
- Хладон-125 – 7
- Инертген – 11
- CO₂ – 13

5. Экологическая безопасность. Этому критерию пользователь уделяет мало внимания. Однако, в силу присоединения России к международным договоренностям по сохранению озонового слоя и борьбе с глобальным потеплением, экологическую безопасность применяемых ОТВ нельзя не учитывать. К тому же, при страховке (перестраховке) объекта у зару-

Табл. 4. Сравнение технических параметров систем для тушения помещения объемом 250 м³ с использованием различных ОТВ

Огнетушащее вещество	Количество, кг	Количество баллонов*, шт.	Рабочее давление, бар	Рейтинг (место)
Инертген	389	13	200	6
CO ₂	400	8	60	5
Хладон-125	175	3	40	3
Хладон-23	153	3	60	4
Хладон-227ea	138	2	40	2
Novac 1230	127	2	25 (40)	1

* Баллоны емкостью 80 л для Инертгена, 67 л для всех остальных ОТВ

бежных страховщиков рассматриваемый критерий может заметно повлиять на размеры страховых платежей.

Данные по экологической опасности рассматриваемых ОТВ приведены в *таблице 5*.

Данная таблица комментариев не требует. Напомним лишь, что ПГП измеряется в шкале, где за единицу принят ПГП CO₂. Так, значение ПГП для хладона-125, равное 2800, означает, что одна молекула хладона-125 по вкладу в парниковый эффект эквивалентна 2800 молекулам CO₂. Более низкий, чем у Noves, рейтинг для CO₂ определен потому, что для защиты помещения одинакового объема требуемое количество CO₂ в три раза больше.

Подсчитаем теперь суммарный рейтинг по трем критериям (безопасность, технологичность, экология).

Noves 1230 – 4

Хладон-227еа – 10

Хладон-125 – 11

Инерген – 12

Хладон-23 – 13

CO₂ – 16

Видим, что пока Noves 1230 сохраняет за собой чистое первое место.

6. Цена. Этот фактор наиболее субъективен. Одни и те же системы стоят по-разному у разных производителей. Поэтому мы провели сравнение ценовых показателей на основе цен на системы двух зарубежных производителей: компании «Минимакс ГмБХ и Ко. КГ» и компании LPG. За основу были взяты розничные цены по России в 2008 году.

Теперь можно подсчитать окончательный суммарный рейтинг (по четырем исследованным выше критериям) и сделать некоторые выводы.

Noves 1230 – 9

Хладон-227еа – 11

Хладон-125 – 13

Хладон-23 – 16

Инерген – 18

CO₂ – 20

Итак, несмотря на высокий ценовой показатель, Noves 1230 сохранил за собой первое место. По-видимому, высокая цена на Noves 1230 носит конъюнктурный характер и диктуется его совокупным исключительно высоким рейтингом по остальным показателям. В то же время нельзя не отметить некоторые более общие закономерности.

А) Группа инертных газовых ОТВ проигрывает группе хладонов почти по всем рассматриваемым критериям. Они же уступают и в ценовых показателях.

Б) Реально безопасными для человека можно считать только Хладон-23 и Noves 1230. Декларируемая безопасность других ОТВ вызывает сомнения.

В) В общем механизме пожаротушения всех без исключения газовых ОТВ в качестве составляющей входит охлаждение. При этом охлаждение происходит во всем объеме защищаемого помещения. Сколь велика эта составляющая для раз-

Табл. 5. Экологическая опасность ОТВ

Огнетушащее вещество	Озоноразрушающий потенциал (ОРП)	Потенциал глобального потепления (ПГП)	Рейтинг (место)
Инерген	0	0	1
CO ₂	0	1	3
Хладон-125	0	2800	4
Хладон-23	0	11700	6
Хладон-227еа	0	2900	5
Noves 1230	0	1	2

Табл. 6. Стоимость системы пожаротушения помещения объемом 250 м³

Огнетушащее вещество	Стоимость системы, тыс. руб.	Рейтинг (место)
Инерген	1943,2	6
CO ₂	897,5	4
Хладон-125	808,2	2
Хладон-23	867,3	3
Хладон-227еа	737,1	1
Noves 1230	907,2	5

Табл. 7. Стоимость системы пожаротушения помещения объемом 250 м³

Показатель	Noves 1230	ТРВ
Эффективность тушения	высокая	высокая
Безопасность для человека	безопасно	безопасно
Безопасность для материальных ценностей	безопасно	практически безопасно
Технологические показатели (помещение объемом 250 м³)		
– Объем ОТВ, кг	127	100
– Количество баллонов, шт.	2	2
– Рабочее давление, бар	25 (40)	10-14
– Размещение модулей	напольное	настенно-потолочное
– Охлаждение	в объеме помещения	только в очаге возгорания
– Дымоосаждающая способность	нет	высокая
Экологические показатели		
– ОРП	0	0
– ПГП	1	0
Ценовые показатели (помещение объемом 250 м³), тыс. руб.	907	96

личных газовых ОТВ – предмет наших дальнейших публикаций.

В заключение хотим сделать небольшую ремарку. Существует ли альтернатива газовым ОТВ? Да, в большинстве случаев существует. Это модульные системы тонкораспыленной воды (ТРВ). Недавно мы подробно рассмотрели их преимущества по сравнению с традиционными системами водяного пожаротушения [3]. Проведем теперь короткое сравнение системы ТРВ с газовым ОТВ Noves 1230. Сопоставление выполним по тем же сформулированным в начале статьи критериям.

Как можно видеть, ТРВ практически не уступает газовым ОТВ, а по некоторым показателям даже их превосходит. Поэтому уже сейчас ТРВ с успехом применяются для защиты таких специфических объектов, как архивы, музейные залы, картинные галереи и т.д.

Во всех ли случаях можно применять ТРВ вместо газовых систем? Не во всех. Мы можем сформулировать по крайней мере два ограничения:

- защищается особо деликатное электронное оборудование;
- имеется технологический запрет на контакт оборудования и/или продукции с водой.

В остальных случаях ТРВ может служить простой и экономичной альтернативой газовому пожаротушению.

Выбор за вами, уважаемые господа!

Литература

1. *Оценка опасности токсического воздействия огнетушащих газов и аэрозолей, применяемых для объемного пожаротушения. Методическое пособие. МЧС РФ, ВНИИПО. – М, 2005.*
2. *Мухамедиева Л.Н., Марданов Р.Г., Новиков Д.З., Себенцов Д.А. Огнетушащие газы: вопросы безопасности для человека// Системы безопасности, № 5, 2007. – с. 150-151.*
3. *Дауэнгауэр С.А. Еще раз о ОТВ// БДИ, № 4 (79), 2008. – с. 42-45.*
4. *Основные свойства огнетушащих веществ/ООО «Центр обеспечения пожарной безопасности «Эксперт», г. Иркутск. <http://www.pogaranet.ru/qa/421.html>*
5. *Clean Agents Fire Extinguishing Systems. FE-13. Booklet of LPG Tecnicas en Extincion de Incendios, S.A.*

