

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

Е. Н. ШИЛИНА, студент, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ГАЗОВОЕ ПОЖАРОТУШЕНИЕ

Дан обзор применения газового пожаротушения. Приведена сравнительная характеристика по составу и свойствам газовых огнетушащих веществ, которые воздействуют на пламя в качестве инертных разбавителей или ингибиторов — химических подавителей реакций в пламени. Среди ингибиторов выделены хладоны, а также разбавители (диоксид углерода) и сжатые газы (азот, аргон). Даны рекомендации по выбору типа газового пожаротушения для защиты объектов с учетом их безопасности для людей и защищаемого оборудования. Дана оценка безопасности газовых огнетушащих веществ по токсичности и “запасу безопасности”, которые могут быть использованы в различных условиях.

Ключевые слова: газовое пожаротушение; типовая схема тушения; датчики пожара; модульные установки; насадки; газовые составы; огнетушащие вещества; химические ингибиторы (хладоны) и деоксиданты; Novac 1230.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65

Газовое пожаротушение — один из видов пожаротушения, при котором путем выпуска газового огнетушащего вещества (ГОТВ) в защищаемое помещение создаются условия для прекращения горения [1, 2] (см. рисунок).

Газовое пожаротушение применяется для ликвидации основных классов пожаров: А (горение твердых веществ), В (горение жидких веществ), С (горение газообразных веществ) и электрооборудования (электроустановок под напряжением) [3]. Перечень объектов, которые могут быть защищены установками газового пожаротушения, охватывает: хранилища банков, архивы, центры обмена данными, музеи, серверные, узлы связи, дизель-генераторные помещения, газоперекачивающие станции и многие другие объекты производственного, хозяйственного и культурного назначения.

Газовое пожаротушение в отличие от других видов пожаротушения осуществляется по всему объ-

ему помещения. При этом газовый огнетушащий состав за короткое время (10 с для хладонов и 60 с для сжатых газов и диоксида углерода (CO_2)) полностью заполняет весь объем помещения, достигает очага возгорания и подавляет горение, не причиняя ущерба материальным ценностям [4].

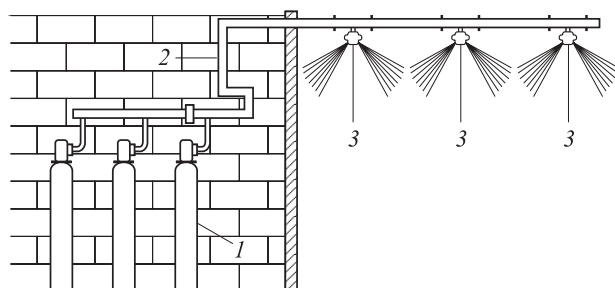
Таким образом, основными достоинствами газового пожаротушения являются:

- безопасность применения по отношению к материалам, оборудованию;
- высокая эффективность и скорость пожаротушения;
- тушение по объему.

В качестве огнетушащих веществ используются газы, приведенные в табл. 1. Применение газов, не входящих в данный перечень, рекомендуется только по дополнительно разработанным техническим условиям для конкретного объекта.

Допускаемые для применения в установках пожаротушения хладоны представляют собой фторсодержащие соединения — перфторуглероды (хладоны 218, 318Ц) или гидрофторуглероды (хладоны 23, 125, 227ea).

Наличие фтора в молекуле углеводорода оказывает очень сильное влияние на его свойства, поскольку связь углерода с фтором является одной из наиболее прочных химических связей. С увеличением содержания фтора в молекуле термическая стойкость фторорганических соединений повышается [5]. Межмолекулярные силы во фторуглеводородах намного



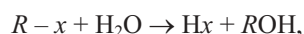
Насадки радиального типа: 1 — баллоны с ГОТВ; 2 — трубопровод; 3 — насадки-распылители

Таблица 1. Газовые огнетушащие составы [3, 4]

Сжиженный газ	Сжатый газ
Диоксид углерода (CO ₂)	Азот (N ₂)
Хладон 23 (CF ₃ H)	Аргон (Ar)
Хладон 125 (C ₂ F ₅ H)	Инерген: азот — 52 % об., аргон — 40 % об., диоксид углерода (CO ₂) — 8 % об.
Хладон 218 (C ₃ F ₈)	
Хладон 227ea (C ₃ F ₇ H)	
Хладон 318Ц (C ₄ F ₈ Ц)	
Шестифтористая сера (SF ₆)	

слабее, чем в углеводородах. Все это определяет малую реакционную способность и повышенную термическую и гидролитическую стойкость фторуглеводородов.

В общем случае процесс гидролиза хладонов протекает по следующему уравнению:



где R — углеводородный радикал;

x — галоген.

Скорость гидролиза определяется природой хладона и металла, температурой и содержанием воды в хладоне [6]. В результате гидролиза образуется галоидоводород, который способен оказывать коррозионное воздействие на металлы. Перфторированные углеводороды (хладоны 218, 318Ц) и шестифтористая сера практически не гидролизуются. Хладоны 23, 125, 227ea гидролизуются в достаточно слабой степени с образованием плавиковой кислоты (HF).

При определении токсичности огнетушащих газов необходимо учитывать следующие основные составляющие: токсичность самого агента и токсичность продуктов его разложения [7].

Фторированные углеводороды имеют довольно высокую термическую стойкость. Причем чем больше степень замещения в молекуле водорода фтором, тем выше их термостабильность. Сравнение данных по термической стойкости фторированных углеводородов показывает, что циклические фторированные углеводороды (хладон 318Ц) имеют гораздо меньшую термостойкость, чем фторированные с линейной структурой молекулы.

При соприкосновении с открытым пламенем, раскаленными или горячими поверхностями фторированные углеводороды разлагаются с образованием различных высокотоксичных продуктов деструкции — фтористого водорода, дифторфосгена, октафторизобутилена и др. [8]. Аналогичные процессы протекают при тушении пожара шестифтористой серой. В этом случае образуются высокотоксичные фтористый водород и пentaфтористая сера [9].

Степень разложения фторированных углеводородов при тушении ими пожара в значительной степени зависит от его размера и времени контакта огнетушащего газа с пламенем. Для снижения токсичности продуктов, образующихся после тушения пожара фторированными углеводородами и элегазом, очень важно, чтобы пожар был обнаружен на ранней стадии его развития и было сокращено время подачи огнетушащего состава.

Используемые в газовых автоматических установках пожаротушения (АУПТ) азот, аргон, диоксид углерода и Инерген состоят из компонентов, входящих в состав воздуха. При тушении пожара они не разлагаются в пламени и не вступают в химические реакции с продуктами горения. Кроме того, они не оказывают химического воздействия на вещества и материалы, находящиеся в защищаемом помещении. При их подаче происходит охлаждение газа [10, 11].

Азот и аргон нетоксичны, но при их подаче в защищаемое помещение происходит снижение концентрации кислорода, что представляет опасность для человека. В этом плане газовый состав “Инерген” более безопасен для человека, чем азот и аргон, что обусловлено присутствием в его составе небольшого количества CO₂. Наличие последнего приводит к увеличению частоты дыхания человека в атмосфере, содержащей Инерген, что позволяет сохранить жизнедеятельность при недостатке кислорода [12].

Инерген — дружелюбный по отношению к окружающей среде газовый огнетушащий состав, являющийся нетоксичным и негорючим веществом. То, что он состоит на 52 % из азота, на 40 % из аргона и на 8 % из углекислого газа (см. табл. 1), определяет его свойства: он не наносит вреда окружающей среде и при тушении не повреждает оборудование и другие предметы. Метод тушения, реализованный при использовании Инергена, состоит в эффекте замещения кислорода. В атмосфере Земли содержится примерно 21 % кислорода. Метод замещения кислорода заключается в том, чтобы понизить уровень его содержания примерно до 12–15 %. При такой концентрации кислорода большинство органических материалов неспособны гореть, и горение прекращается через 30–45 с [13].

Газовые огнетушащие вещества по их действию можно разделить на две группы:

- *первая* — ингибиторы (хладоны), механизм тушения которых основан на химическом ингибировании (замедлении) реакции горения. Попадая в зону горения, эти вещества интенсивно распадаются с образованием свободных радикалов, которые вступают в реакцию с первичными продуктами горения. При этом происходит снижение скорости горения до полного затухания. Ог-

нетушащая концентрация хладонов в несколько раз ниже, чем сжатых газов, и составляет от 7 до 17 % об. Хладоны, приведенные в табл. 1, рекомендуются к применению специалистами, так как их озоноразрушающий потенциал равен нулю;

- *вторая* — разбавляющие атмосферу газы (доксианты, см. табл. 1) [14]. Принцип разбавления атмосферы заключается в том, что при вводе сжатого газа при пожаре в помещении содержание кислорода снижается до 12 %, т. е. создаются условия, не поддерживающие горение.

По физическим свойствам ГОТВ подразделяют на сжиженные (хладоны и CO_2) и сжатые (азот, аргон, Инерген). Сжиженные ГОТВ позволяют использовать для их содержания компактные установки. Наиболее часто применяются современные хладоны 125ХП и 227еа. При огнетушащей концентрации они создают среду, пригодную для дыхания. Нормативная огнетушащая концентрация хладона 125ХП для класса пожара А2 (в серверных и т. п.) составляет 9,8 %, хладона 227еа — 7,2 %. При экспозиции 30 с безопасная концентрация хладона 125ХП составляет 13,5 %, хладона 227еа — 12 %. Однако без крайней необходимости подача газа в помещение в присутствии людей запрещена. Персонал объекта должен покинуть помещение до пуска газового огнетушащего состава по сигналам звуковых и светозвуковых оповещателей, которые входят в состав автоматической установки газового пожаротушения (АУГП).

Согласно нормам на проектирование хладоны подают в помещение за 10–15 с, что позволяет эффективно ликвидировать очаг загорания в считанные секунды и исключить появление продуктов термозлоложения.

Диоксид углерода менее эффективен, чем хладоны. Его нормативная концентрация для класса пожара А2 составляет 34,9 %. При этом он создает атмосферу, непригодную для дыхания. Безопасная для человека концентрация CO_2 не превышает 5 % [15]. Для установок с CO_2 безопасность персонала защищаемого помещения обеспечивается своевременной и организованной эвакуацией до подачи газа, надежной работой оповещателей, организационно-техническими мероприятиями. CO_2 обычно применяют для защиты технологических объектов без пребывания людей или помещений с периодическим пребыванием обученного персонала. Не рекомендуется его применять для защиты помещений с массовым пребыванием людей (более 50 чел.).

Достоинством CO_2 является его высокая термостойкость. Благодаря этому свойству его предпочтительно применять для тушения тлеющих пожаров класса А1, так как высокие температуры тления сохраняются длительное время.

Стоимость CO_2 на порядок ниже по сравнению с хладами. Однако CO_2 менее эффективен и в меньшем количестве содержится в баллоне, а стоимость модуля для него выше, чем для хладона, поэтому стоимость защиты объекта установкой с CO_2 и хладоном сопоставимы.

Ограничения, необходимые для практического использования ГОТВ, заставили ученых многих стран приступить к разработке огнетушащего состава, который должен соответствовать жестким требованиям [16]:

- иметь высокую эффективность при тушении огня;
- быть безопасным для людей;
- представлять безопасность для дорогостоящего оборудования;
- обладать нулевым озоноразрушающим потенциалом;
- иметь короткий срок жизни в атмосфере;
- не оказывать влияния на глобальный парниковый эффект (потепление).

Рассматривались сотни различных альтернатив, но ни одна из них не соответствовала этим требованиям, пока в поле зрения ученых не попала одна довольно необычная комбинация — флуорокетон С-6. Ранее этот класс химических веществ считался непригодным для применения в сфере пожарной безопасности, но, как ни странно, именно флуорокетон С-6 оказался той альтернативой, поисками которой был занят весь мир. Этот огнетушащий состав стал производиться корпорацией “3М” и получил название Novec™ 1230. На первый взгляд, Novec™ 1230 похож на простую воду, однако обладает существенно иными свойствами. Необычность новинки была эффектно продемонстрирована в ходе международной выставки “Охрана, безопасность и противопожарная защита” MIPS–2007, где сотрудники ООО “Пожтехника” опускали в прозрачный контейнер, наполненный Novec™ 1230, самые разные предметы — книгу, ЖК-телевизор, ноутбук, сотовый телефон. Электроника, полностью погруженная в контейнер с жидкостью во включенном состоянии, продолжала работать. Книга же совсем не размокла и после извлечения из контейнера быстро высохла — и никаких разводов или деформаций!

Фторкетоны — синтетические органические вещества, в молекуле которых все атомы водорода заменены на прочно связанные с углеродным скелетом молекулы атомы фтора. Такая структура делает вещество инертным с точки зрения взаимодействия с другими молекулами. Испытания, проведенные в различных лабораториях, показали, что фторкетоны являются отличными огнетушащими веществами (с эффективностью, аналогичной хладам), проявляя при этом положительные экологические и токсикологические свойства. Novec™ 1230 — типич-

ный представитель этого класса фторкетон — уже внедряется в практику пожаротушения в ряде стран мира [17].

Новый состав, построенный на основе шестиуглеродных молекул, относится к разряду фторированных кетонов. Вещество со слабыми молекулярными связями поглощает тепло гораздо лучше воды и имеет температуру кипения всего 49 °С. Эти свойства чрезвычайно важны при тушении пожаров, особенно на ранней стадии, поскольку NovesTM 1230 интенсивно поглощает тепло зарождающегося пожара. Для испарения этой жидкости требуется в 25 раз меньше энергии, чем для воды (поэтому книга и высохла так быстро). NovesTM 1230 не проводит электрический ток, а значит, электронному оборудованию не грозит короткое замыкание. Более того, едва проникнув внутрь прибора, из-за выделяемого им тепла вещество тут же переходит в газообразное состояние и улетучивается. Под действием ультрафиолетового излучения Солнца молекулы NovesTM 1230 распадаются всего за пять дней в отличие от хладонов, которые разлагаются только через десятки лет после попадания в атмосферу. Кроме того, NovesTM 1230 имеет более низкую огнетушащую концентрацию (3,4 % против 10–12 % у хладона 125). Огнетушащий состав NovesTM 1230 подавляет пожар благодаря комбинации его физических и химических свойств. Огнетушащий механизм в большей мере (70 %) основан на эффекте охлаждения и в меньшей (30 %) — на химической реакции ингибирования пламени.

Для сравнения. Для хладона 125 характерна 100 %-ная химическая реакция, для Инергена — понижение уровня содержания кислорода. В отличие от них NovesTM 1230 не снижает содержания кислорода в помещении, а клинические испытания показали его безопасность для человека. При заправке газового огнетушащего модуля NovesTM 1230

заливается как жидкость, а затем производится наддув газа-вытеснителя (азота) до рабочего давления 24,8 бар.

NovesTM 1230 имеет самую низкую огнетушащую концентрацию — 3,4 % при NOAEL 10 %! Даже при тушении такими безопасными составами, как хладон 227ea и Инерген, концентрация газа в непосредственной близости от насадка-распылителя может значительно превышать нормативную базовую и в большинстве случаев быть больше NOAEL. Превышение NOAEL может оказывать неблагоприятное влияние на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы, а также на легкие человека. Газ NovesTM 1230 имеет почти трехкратный запас гарантийного резерва, что делает его абсолютно безопасным для человека.

Физико-химические свойства ГОТВ, которые необходимы для проектирования автоматических систем пожаротушения, приведены в табл. 2 и 3.

Рекомендации по выбору типа ГОТВ для защиты объекта заключаются в следующем. Выбор газового огнетушащего вещества должен производиться только на основе технико-экономического обоснования. Все остальные параметры, в том числе эффективность и токсичность ГОТВ, нельзя рассматривать как определяющие по ряду причин. Любое из рекомендуемых к применению ГОТВ будет достаточно эффективным и пожар будет ликвидирован, если в защищаемом объеме будет создана нормативная огнетушащая концентрация данного вещества.

Одна из наиболее важных задач при применении огнетушащих газов — обеспечение безопасности персонала защищаемых помещений. Согласно рекомендациям специалистов безопасность персонала достигается предварительной эвакуацией людей до подачи огнетушащего газа по сигналам оповещателей в течение предназначенной для этого

Таблица 2. Сравнительная характеристика ГОТВ — хладонов, элегаза и диоксида углерода [11]

Техническая характеристика	Хладон 218 (FC-2-1-8)	Хладон 125 (HFC-125)	Хладон 227ea (HFC-227ea)	Хладон 23 (HFC-23)	Хладон 318Ц	SF ₆	CO ₂
Молекулярная масса, а.е.м.	—	—	170,03	70,01	200,0	146,0	44,01
Критическая температура, °С	71,9	—	101,7	25,9	115,2	45,55	31,2
Критическое давление, МПа	2,680	3,595	2,912	4,836	2,7	3,81	2,7
Плотность жидкости при 20 °С, кг/м ³	—	—	—	806,6	—	1371,0	—
Критическая плотность, кг/м ³	—	—	—	—	616,0	725,0	616,0
Температура термического разложения, °С	—	—	—	650–580	—	—	—
Нормативная огнетушащая концентрация для <i>n</i> -гептана, % об.	7,2	9,8	7,2	14,6	7,8	10,0	34,9
Плотность паров при давлении 101,3 кПа при 20 °С, кг/м ³	7,85	5,208	7,28	2,93	8,438	6,474	1,88

Таблица 3. Свойства азота, аргона и газового состава "Инерген" [11]

Техническая характеристика (по данным NFPA 2001)	Аргон (Ar) (IG-01)	Азот (N ₂) (IG-100)	Инерген (IG-541)
Молекулярная масса, а.е.м.	39,9	28,0	34,0
Температура кипения при 760 мм рт. ст., °C	–189,85	–195,8	–196
Температура замерзания, °C	–189,35	–210,0	–78,5
Критическая температура, °C	–122,3	–146,9	–
Критическое давление, МПа	4,903	3,399	–
Плотность газа при давлении 101,3 кПа и температуре 20 °C, кг/м ³	1,66	1,17	1,42
Нормативная огнетушащая концентрация для <i>n</i> -гептана, % об.	39,0	34,6	36,5

временной задержки. Минимальная продолжительность временной задержки на эвакуацию составляет 10 с. Проектировщик может увеличить это время с учетом условий эвакуации на объекте.

При выпуске ГОТВ в защищаемое помещение происходит разбавление воздуха и снижение концентрации кислорода. Для поддержания горения необходимым условием является наличие не менее 12,5 % кислорода. Как уже отмечалось выше, при применении сжатых газов (азота, аргона, Инергена) и диоксида углерода пожаротушение основано на принципе разбавления атмосферы с целью снижения содержания кислорода менее чем до 12,5 %, что приводит к прекращению горения. При этом концентрация сжатого газа составляет 36 % и более. При таком способе пожаротушения уменьшение концентрации кислорода ниже 12,5 % вызывает асфиксию (удушье) у людей, что приводит к летальному исходу. В качестве огнетушащих средств некоторые инертные газы эффективны в концентрациях, обеспечивающих снижение содержания кислорода в замкнутом пространстве до 14 % об. При прогнозировании такого уровня недостатка кислорода в газовой среде должна предусматриваться быстрая эвакуация людей, не имеющих дыхательных аппаратов. Задержка эвакуации может привести к острому гипоксическому воздействию на организм человека с потерей двигательной способности. Продолжительное существование газовой среды с пониженным содержанием кислорода может привести к образованию повышенной концентрации оксида углерода — высокотоксичного продукта неполного сгорания материалов.

Химические ингибиторы (хладоны) имеют другой механизм пожаротушения. Попадая в зону горе-

ния, они интенсивно распадаются с образованием свободных радикалов, которые вступают в реакцию с первичными продуктами, в результате чего происходит замедление и прекращение реакции горения. Огнетушащая концентрация хладонов в несколько раз ниже, чем сжатых газов, и составляет 7,2–14,6 % об. При такой концентрации хладона остаточная концентрация кислорода составляет 17,3–19,9 %, что соответствует разреженности воздуха на высоте около 2,5 тыс. м. Такая разреженность воздуха переносится без проблем абсолютным большинством людей. Таким образом, применение хладонов в качестве ГОТВ обеспечивает концентрацию кислорода, необходимую человеку для свободного дыхания.

При выпуске сжатых газов (азота, аргона, Инергена) или диоксида углерода остаточная концентрация кислорода резко снижается до опасных для здоровья человека значений — 10–14 %, поэтому данные ГОТВ могут применяться только при отсутствии людей в помещении.

При применении хладонов (23, 125, 227ea) концентрация кислорода снижается до безопасных для здоровья человека значений — 17–20 %, что обеспечивает ему свободное дыхание и жизнедеятельность. Безопасность персонала в случае несанкционированной подачи огнетушащего газа на людей зависит от его концентрации и времени воздействия (экспозиции). За рубежом проведены широкомасштабные исследования по изучению свойств современных огнетушащих газов — хладонов 125, 227ea и ряда других. Убедительно показано, что воздействие этих газов на людей наиболее безопасно при концентрации, равной огнетушащей или несколько превышающей ее. Сведения о продолжительности (времени) безопасного воздействия хладонов 125 и 227ea на человека в зависимости от концентрации газа приведены в документах ISO 14520, NFPA 2001, а также в руководстве ВНИИПО [18]. Из данного документа следует, что хладоны 125 и 227ea способны обеспечить безопасную эвакуацию персонала в течение не менее 30 с не только при их нормативной огнетушащей концентрации соответственно 9,8 и 7,2 % об., но и при ее превышении на 38 и 67 %. Таким образом, применение хладонов 125 и 227ea в качестве основных газовых огнетушащих веществ наиболее предпочтительно и эффективно для защиты помещений, в которых персонал может находиться постоянно в течение рабочего времени, при этом пожаротушение достигается при концентрациях всего 10 и 7 % соответственно. Кроме того, благодаря термостойкости хладонов 125 является предпочтительным средством для тушения пожаров тлеющих материалов.

В составе технологического оборудования АУГП хладоны содержатся в модулях газового пожароту-

шения под давлением газа-вытеснителя. В качестве газа-вытеснителя отечественные рекомендации предлагают применять азот, но допускается использовать и воздух, для которого точка росы должна быть не выше минус 400 °С (осушенный воздух).

Хладон 125 (HFC-125) безопасен для людей, если остаточная концентрация кислорода после выпуска ГОТВ достигает 18–19 %, что обеспечивает свободное дыхание человека.

Нормативная огнетушащая концентрация хладона 125 составляет 9,8 %, предельно допустимая концентрация — 10 %. Это дает возможность избежать серьезного ущерба здоровью человеку, который некоторое время (до 5 мин) находится в помещении, где произошел выпуск данного ГОТВ.

Для хладона 23 характерно высокое давление собственных паров, что позволяет обеспечить его транспортировку по трубной разводке на большие расстояния по горизонтали (до 100–130 м) и вертикали (до 32–35 м).

Остальные хладоны (125, 227еа, 318Ц) имеют невысокое давление собственных паров, поэтому для обеспечения их выхода из баллонов в нормативное время требуется подкачка баллонов газом-вытеснителем (азотом) до давления 40–42 бар.

Если баллоны с ГОТВ находятся в самом защищаемом помещении или в непосредственной близости от него, то никаких проблем с обеспечением выхода ГОТВ в защищаемое помещение за нормативное время (10 с) не возникает. Однако в тех случаях, когда баллоны размещаются на значительном расстоянии как по горизонтали, так и по вертикали от защищаемого помещения, для выполнения норм требуется увеличение массы ГОТВ, объема газа-вытеснителя и диаметра распределительного трубопровода. Особенно часто такая ситуация возникает при построении централизованных станций газового пожаротушения.

Для сжатых ГОТВ (аргон, азот, Инерген) имеются существенные ограничения по их использованию на территории РФ. Это связано с запрещением применения сосудов под давлением, подлежащих регистрации в органах Госгортехнадзора России в жилых, общественных и бытовых зданиях, а также в примыкающих к ним помещениях. Как правило, все баллоны со сжатыми ГОТВ (аргон, азот, Инерген) необходимо подвергать проверке.

Кроме того, при применении сжатых газов в защищаемом помещении создается избыточное давление примерно 0,4 бар, что может привести к разрушению строительных конструкций и выходу из строя оборудования. Во избежание этого предусматривают специальные клапаны для сброса избыточного давления.

Степень воздействия на людей ГОТВ можно оценить по нескольким параметрам. Важным критерием оценки их безопасности для здоровья и жизни людей является наличие достаточного количества кислорода во вдыхаемом воздухе. При выпуске газового огнетушащего вещества в защищаемое помещение происходит разбавление воздуха и снижение процентного содержания кислорода. Для поддержания горения необходимым условием является наличие не менее 12,5 % кислорода.

Негативные последствия применения ГОТВ для здоровья человека зависят от его типа. Важнейшей характеристикой газового огнетушащего вещества при оценке его влияния на человека является предельно допустимая концентрация (ПДК). Под предельно допустимой концентрацией понимается такая концентрация химических соединений, которая при повседневном влиянии на организм человека в течение длительного времени не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений. ПДК газового огнетушащего вещества — это значение концентрации ГОТВ, выше которой у человека наблюдаются патологические необратимые изменения в состоянии здоровья.

Оценку безопасности газовых огнетушащих веществ по токсичности целесообразно проводить по так называемому запасу безопасности.

Запас безопасности — это разница между предельно допустимой концентрацией и огнетушащей концентрацией ГОТВ. Для тушения помещений с постоянным пребыванием людей допустимо применение хладона 227еа (с запасом безопасности 3,3 %), хладона 318Ц (22,2 %) или хладона 23 (35,4 %).

Таким образом, можно сделать следующие выводы о безопасности газовых огнетушащих веществ для людей:

- применение сжатых (инертных) газов и CO₂ может привести к гибели людей от удушья (асфиксии) из-за низкого содержания кислорода в защищаемом помещении;
- люди, оказавшиеся в помещении при работе систем газового пожаротушения с использованием CO₂, погибают от отравления;
- при использовании всех типов хладонов содержание кислорода в защищаемом помещении обеспечивает нормальное свободное дыхание людей;
- люди, оказавшиеся в помещении при работе систем газового пожаротушения с использованием хладонов, должны покинуть помещение не более чем за 30–60 с;

Таблица 4. Запас безопасности ГОТВ [18] при применении их для тушения помещений с постоянным пребыванием людей

ГОТВ	Остаточная концентрация кислорода после выпуска ГОТВ, %	ПДК, %	Нормативная огнетушащая концентрация, %	Запас безопасности, %	Оценка влияния ГОТВ на человека	Применимость
Хладон 23	18	50	14,6	35,4	Свободное дыхание	Применим
Хладон 318Ц	19	30	7,8	22,2		
Хладон 227ea	19	10,5	7,2	3,3		
Хладон 125	18	10,2	9,8	0,3		
Диоксид углерода	<13	—	34,9	—	Отравление и асфиксия	Не рекомендован
Азот	<13	—	34,6	—	Асфиксия	
Аргон	<13	—	39	—		
Инерген	<13	—	36,5	—		

- применение хладонов в качестве ГОТВ не оказывает патологического воздействия на здоровье людей в течение длительного времени.

Обобщенная оценка уровня безопасности различных типов газовых огнетушащих веществ, проведенная по критерию остаточной концентрации кислорода в защищаемом помещении и критерию токсичности (запас безопасности), дана в табл. 4.

Выводы

Газовое пожаротушение — это важнейшая часть системы противопожарной автоматики, от качественного проектирования и монтажа которой зависят жизни людей и сохранность оборудования. Это означает, что экономить на автоматической системе нецелесообразно, так как это может повлечь за собой ложное срабатывание автоматики в момент, когда люди еще находятся на рабочих местах, т. е. без включения системы оповещения, что может привести к

человеческим жертвам даже без возникновения огня или подвести в нужный момент, когда при наличии пламени окажется, что система не готова выполнять свои функции.

Помещение, оснащенное станцией газового пожаротушения, необходимо оборудовать вытяжной вентиляцией для удаления воздуха. К положительным качествам применения оборудования газового пожаротушения относятся быстрота ликвидации возгорания и скорость проветривания помещения.

В то же время газовое пожаротушение имеет и некоторые недостатки: тушение пожара газом требует герметизации помещения; газовое пожаротушение малоэффективно в помещениях большого объема и на открытом пространстве; хранение снаряженных газовых модулей и техническое обслуживание системы пожаротушения сопряжены с трудностями, которые сопутствуют хранению веществ под давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NFPA 2001. Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems. — USA, Quincy : National Fire Protection Association, 2000.
2. Creitz E. C. Inhibition of diffusion flames by methyl bromide and trifluoromethyl bromide applied to fuel and oxygen sides of the reaction zone // Journal of Research of the National Bureau of Standards. — 1961. — Vol. 65A, No. 4. — P. 389–396. DOI: 10.6028/jres.065a.039.
3. ГОСТ 50969–96. Установки газового пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.1997. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996.
4. Шароварников А. Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. — М. : Знак, 2000. — 464 с.
5. Burke R., van Tiggelen A. Kinetics of laminar premixed methane — oxygen — nitrogen flames // Bulletin des Sociétés Chimiques Belges. — 1965. — Vol. 74, No. 9-10. — P. 426–449. DOI: 10.1002/bscb.19650740907.
6. Баратов А. Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. — 364 с.
7. Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва. — М. : Пожнаука, 2007. — 266 с.
8. Корольченко И. А. Основы теории процессов горения : учеб. пособие. — М. : Галлея-Принт, 2015. — 312 с.
9. Денисов Е. Т., Азатян В. В. Ингибирование цепных реакций. — Черноголовка : Российская академия наук, 1997. — 268 с.

10. НПБ 88–2001. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования. — Введ. 01.01.2002. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2001.
11. НПБ 51–96. Составы газовые огнетушащие. Общие технические требования пожарной безопасности и методы испытаний. — Введ. 31.03.1996. — М. : ФГУ ВНИИПО МВД России, 1996.
12. Абдурагимов И. М. Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 11. — С. 18–26.
13. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
14. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пожаров инертными газами в модели помещения с проемами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 2. — С. 65–70.
15. Дауэнгауэр С. А. Сравнение систем пожаротушения // Алгоритм безопасности. — 2009. — № 3. — С. 20–23.
16. Дауэнгауэр С. А. Системы автоматического пожаротушения: критерии выбора // Алгоритм безопасности. — 2001. — С. 38–40.
17. Корольченко А. Я., Трушкин Д. В. Пожарная опасность строительных материалов : учеб. пособие. — М. : Пожнаука, 2005. — 232 с.
18. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа : рекомендации. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. — 96 с.

Материал поступил в редакцию 11 марта 2016 г.

Для цитирования: Корольченко А. Я., Шилина Е. Н. Газовое пожаротушение // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65.

English

GAS EXTINGUISHING

KOROLCHENKO A. Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

SHILINA E. N., Student, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

The article is devoted to the development of the system of automatic gas fire suppression systems based on extinguishing gases (inert compounds of deterrents, inhibitors of combustion processes and a new class of fire extinguishing gases forgothow). This paper analyzes the major elements of modern fixed gas fire-fighting systems: fire sensors are emerging, systems of transporting extinguishing agents to the fire, sensors sputtering, the gas properties of substances and their compositions. Summarized the way of changes in the efficiency of suppression of fires of various means of extinguishing gas. At the previous stage of development of fire extinguishing systems is most effective fire-extinguishing agents were the halocarbons — halogenated hydrocarbons, which were substances, inhibiting the combustion process, but having high toxicity on humans and negative impact on the environment that deplete the ozone layer of the atmosphere protects living beings from ultraviolet radiation from the sun. To avoid these impacts by international agreements all countries to reduce the production of freons, to reduce their release into the atmosphere and by 2030 to stop production. As a result of the search for alternative means of gas extinguishing specialists found substances not inferior in the efficiency of the suppression of the combustion of the carbons, but not with their negative properties. Representative of such compounds was Novec™ 1230 — fluoroceten in the molecule where all the hydrogen atoms are replaced by fluorine atoms. Fire extinguishing concentration of this compound provide was even lower than the most efficient refrigerant and is equal to 4.2 %. This concentration is safe for humans. Further studies have shown the possibility of replacing refrigerant liquid with a low boiling point in existing installations Novec™ 1230 without processing of the systems themselves. The latter is especially important for industries with continuous manufacturing process and remote from the sources of supply, for example for drilling rigs on

the shelf. Transportation of fluoroceten possible without any restrictions by any means of transport, including aviation.

In conclusion, the article suggested the following ways of development of systems of fixed gas fire-extinguishing installations: application of gas sensors addressable fire detection, battery replacement cylinders for modular installation (to avoid piping systems, the use of new designs of nozzles-spraying devices, the use of effective and safe extinguishing gas Novec™ 1230 fluoroceten.

Keywords: gas extinguishing system; typical scheme of extinguishing; fire sensors; modular systems; nozzles; gas formulations; fire extinguishing substances; chemical inhibitors (halons) and deoxidant; Novec™ 1230.

REFERENCES

1. *NFPA 2001. Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*. USA, Quincy, National Fire Protection Association, 2000.
2. Creitz E. C. Inhibition of diffusion flames by methyl bromide and trifluoromethyl bromide applied to fuel and oxygen sides of the reaction zone. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 1961, vol. 65A, no. 4, pp. 389–396. DOI: 10.6028/jres.065a.039.
3. *National standard of the Russian Federation 50969–96. Automatic gas fire extinguishing systems. General technical requirements. Test methods*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1996.
4. Sharovarnikov A. F. *Protivopozharnyye peny. Sostav, svoystva, primeneniye* [Fire-fighting foam. Composition, properties, application]. Moscow, Znak Publ., 2000. 464 p.
5. Burke R., van Tiggelen A. Kinetics of laminar premixed methane – oxygen – nitrogen flames. *Bulletin des Sociétés Chimiques Belges*, 1965, vol. 74, no. 9–10, pp. 426–449. DOI: 10.1002/bscb.19650740907.
6. Baratov A. N. *Goreniye – Pozhar – Vzryv – Bezopasnost* [Burning – Fire – Explosion – Safety]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003. 364 p.
7. Korolchenko A. Ya. *Protsessy goreniya i vzryva* [Combustion and explosion processes]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 266 p.
8. Korolchenko I. A. *Osnovy teorii protsessov goreniya* [Basic theory of combustion processes]. Moscow, Galleya-Print Publ., 2015. 312 p.
9. Denisov E. T., Azatyan V. V. *Ingibirovaniye tsepnykh reaktsiy* [Inhibition of chain processes]. Chernogolovka, Russian Academy of Sciences Publ., 1997. 268 p.
10. *Fire protection standards 88–2001. Fire extinguishing and alarm systems. Designing and regulations norms*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2001.
11. *Fire protection standards 51–96. Gas fire extinguishing compositions. General technical requirements of fire safety and test methods*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1996.
12. Abduragimov I. M. Predelnyye yavleniya v goreniy kak nauchno-teoreticheskaya osnova pozharovzryvbezopasnosti [The limiting phenomena in burning as scientific-theoretical basis of the fire-and-explosion safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 11, pp. 18–26.
13. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
14. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tusheniye pozharov inertnymi gazami v modeli pomeshcheniya s proyemami [Fire extinguishing by inert gases in the model of room with openings]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 65–70.
15. Dauengauer S. A. Sravneniye sistem pozharotusheniya [Comparison of fire extinguishing systems]. *Algoritm bezopasnosti — Security Algorithm*, 2009, no. 3, pp. 20–23.
16. Dauengauer S. A. Sistemy avtomaticheskogo pozharotusheniya: kriterii vybora [Automatic fire extinguishing systems: selection criteria]. *Algoritm bezopasnosti — Security Algorithm*, 2001, pp. 38–40.
17. Korolchenko A. Ya., Trushkin D. V. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire risk of construction materials]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 232 p.
18. *Sredstva pozharной avtomatiki. Oblast primeneniya. Vybora tipa* [Fire automation tools. Application area. Select the type]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2004. 96 p.

For citation: Korolchenko A. Ya., Shilina E. N. Gazovoye pozharotusheniye [Gas extinguishing]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.57-65.