

А.А. Ковалёв, к.т.н., доцент каф., НУГЗУ
А.Я. Калиновский, к.т.н. доцент, нач. каф., НУГЗУ,
И.М. Хмиров, к.психол.н., доцент каф., НУГЗУ

РАЗРАБОТКА ОТДЕЛЬНЫХ АСПЕКТОВ КОНТЕЙНЕРНОГО МЕТОДА ПОЖАРОТУШЕНИЯ

(представлено д.т.н. Прохачом Э.Е.)

Предложено использование стволовых установок пожаротушения, обеспечивающих контейнерную доставку различного вида огнетушащих веществ в зону горения на расстоянии более 100 м. Рассмотрено использование порошковых огнетушащих составов в качестве наполнителя контейнера. Аналитически выведены зависимости дающие возможность рассчитать необходимое количество контейнеров для тушения пожаров классов А, В в помещениях. Показаны критерии увеличения огнетушащей эффективности порошковых огнетушащих составов в контейнерах по сравнению с существующими способами доставки.

Ключевые слова: пожаротушение, стволовая установка, контейнер, порошковые огнетушащие составы.

Постановка проблемы. Используемая к настоящему времени в территориальных подразделениях ДСЧС Украины пожарная техника не позволяет произвести доставку огнетушащих веществ (ОТВ) на расстояние более 100 м. Существующие технические средства пожаротушения предназначены только для доставки воды, водных растворов и пен на расстояние до 100 м, порошковых составов, на расстояние до 70 м [1]. В настоящее время разработаны новые вещества и составы, огнетушащая способность которых по многим параметрам превосходит водные растворы и пены, такие как: аэрозолеобразующие составы, порошковые огнетушащие составы (ПОС), экологически чистые хладоны, твердая двуокись углерода и металлоорганические соединения, при этом на вооружении противопожарных подразделений стоят лафетные стволы, автоцистерны, коленчатые и пеноподъемники способные подавать огнетушащие вещества на расстояние до 100 м [2].

Поэтому в настоящее время остро стоит проблема создания принципиально новых технических средств пожаротушения и разработка новых методов доставки ОТВ на удаленное расстояние при тушении сложных пожаров. Наиболее рациональным решением данной проблемы является использование пневматической стволовой установки пожаротушения (СУП) – пневматической пушки [3], обеспечивающей высокоточную контейнерную доставку различного вида огнетушащих веществ непосредственно в зону горения.

Использование СУП позволит эффективно решать задачи удаленной доставки различных ОТВ и составов методом метания в контейнерах при тушении сложных пожаров на особо опасных объектах (зоны химического заражения, территории минных заграждений, пожары на арсеналах).

лах и т.д.), обеспечивая при этом безопасность личного состава противопожарных подразделений.

Анализ последних достижений и публикаций. Целесообразность использования и эффективность применения СУП зависит от эффективности применения контейнеров начиненных огнетушащими составами. Контейнер, представляет собой полую капсулу, в которой размещается огнетушащий однокомпонентный или многокомпонентный состав. При попадании контейнера в зону горения капсула разрушается, высвобождая огнетушащий состав. Основными способами механического выброса огнетушащего вещества из капсулы и обработки зон горения являются:

- рассыпание или разлив огнетушащего вещества по поверхности в зоне горения;
- выброс массы огнетушащего вещества капсулы с разделением контейнера на компоненты и разлет разделенных частей с покрытием и обработкой зоны горения;
- распыление в результате разрыва капсулы от избыточного внутреннего давления, возникшего вследствие химической реакции находящихся внутри веществ;
- взрывной выброс огнетушащего вещества, в том числе и со струей огня, что позволяет сбить пламя в зоне горения;

При этом возможны различные способы приведения в действие механизма пожаротушения контейнера, такие как: механическое разрушение от удара о горящую поверхность; активация термочувствительным механизмом; активация по восприятию лучевой энергии; активация по электрическому импульсу; активация по электромагнитному импульсу; разрыв от избыточного внутреннего давления; выброс с открывающимися диффузорами и другие.

Проведенный анализ различных огнетушащих веществ и составов для использования в контейнерах СУП показал, что для достижения наибольшей эффективности пожаротушения целесообразно использовать порошковые огнетушащие составы. ПОС различных классов выпускаются в достаточно широком ассортименте. Огнетушащий порошок обладает высокой эффективностью тушения практически на всем интервале реальных температур эксплуатации и применяется для тушения газов, жидкостей, твердых горючих веществ и материалов, пылей, порошков щелочных и щелочноземельных металлов [4, 5]. При этом также могут использоваться жидкостные, газовые, аэрозольные или комбинированные огнетушащие наполнители для контейнеров.

Постановка задачи и её решение. Проведение исследования порошковых огнетушащих составов (ПОС) в качестве наполнителей контейнеров требует решения прежде всего следующих задач:

- исследование механики действия ПОС в капсулах;
- определение расчетной массы порошковых составов, содержащихся в контейнерах, применяемых для тушения пожаров с доставкой в очаг пожара с помощью стволовых установок пожаротушения;
- определение критической массы порошковых составов для пре-

кращения горения.

Применение ПОС в контейнерах является одним из перспективных направлений в пожаротушении. Основной проблемой их ограниченного использования является организация доставки порошка на удаленное расстояние в зону горения [6], что может быть успешно решено СУП.

Известны два основных механизма огнетушащего действия порошковых составов, основанных на тушении пламени путем отбора энергии, выделяющейся при горении, и ингибировании процесса горения посредством обрыва цепных реакций, ответственных за его развитие [7]. В свою очередь возможны два механизма ингибирования пламени порошками: гетерогенный, заключающийся в рекомбинации активных центров на поверхности твердых частиц, и гомогенный, основанный на взаимодействии активных центров с газообразными продуктами испарения или разложения порошков [8].

Поэтому можно сформулировать основные методы тушения с применением порошковых составов в контейнерах:

- разбавление горючей среды газообразными продуктами разложения порошка;
- охлаждение зоны горения в результате затрат тепла на нагрев частиц порошка, их частичное испарение и разложение в пламени;
- обеспечение эффекта огнепреграждения, достигаемого при прохождении пламени через узкие каналы между частицами порошкового облака;
- ингибирование химических реакций, обуславливающих развитие процесса горения и осуществляемых газообразными продуктами испарения и разложения порошков;
- гетерогенный обрыв цепей на поверхности частиц или твердых продуктов разложения;
- гомогенное ингибирование, заключающееся во взаимодействии с активными центрами газообразных частиц, образующихся при испарении и разложении порошков;
- экранирование горячей поверхности от теплового потока исходящего от зоны горения;
- изоляция горячей поверхности от зоны горения слоем неразложившихся вследствие теплового воздействия частиц порошкового огнетушащего состава.

Доминирующий метод тушения и огнетушащая эффективность ПОС зависят от характеристик горючего вещества, режима горения, вида ПОС и даже от способа его подачи в зону горения [9]. Так, например, при горении металлов основным принципом тушения является изолирование горячей поверхности от зоны горения слоем порошкового огнетушащего состава. При горении остальных веществ и материалов, основным является механизм гетерогенного ингибирования (торможения) процесса горения посредством обрыва цепных реакций, ответственных за его развитие [10]. При этом учитывается влияние остальных перечисленных факторов.

Ингибирование протекает на поверхности частиц ПОС, где в отличие от огнетушащих характеристик хладонов, гибнут не только водородные атомы H_2 , но и другие активные частицы, в частности, атомы кислорода O_2 . Именно данное свойство ингибирования позволит получить более высокую эффективность ПОС, чем других огнетушащих веществ [11]. При этом в зависимости от соотношения кинетических факторов выражение для определения огнетушащей способности порошковых составов будет различным [12].

В кинетической области [13] (в зону горения поступает заранее приготовленная и перемешанная горючая смесь).

$$C_{PV} = \frac{2 \cdot \beta \cdot \rho_{PS} \cdot d_{PS}^{SR}}{3 \cdot v_{PS}^{SR} \cdot \gamma}, \quad (1)$$

где v_{PS}^{SR} – средняя скорость движения частицы порошка в слое газа, $m \cdot c^{-1}$; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $kg \cdot m^{-3}$; β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, c^{-1} ; d_{PS}^{SR} – средний диаметр частицы порошкового состава, m ; γ – коэффициент, учитывающий температуру в зоне подготовки к горению;

В диффузионной области [14] (горючая смесь образуется в зоне горения).

$$C_{PV} = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR^2} \cdot \rho_{PS}}{12 \cdot \varepsilon}, \quad (2)$$

где ε – коэффициент диффузии частиц порошкового состава в газовой среде зоны подготовки к горению, $m^2 \cdot c^{-1}$; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $kg \cdot m^{-3}$; β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, c^{-1} ; d_{PS}^{SR} – средний диаметр частицы порошкового состава, m .

Так как на пожаре в основном присутствует диффузионное горение [15], наибольший интерес для исследования огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми составами, представляет формула (2), описывающая зависимость огнетушащей концентрации порошковых составов от различных факторов при диффузионном горении.

Наиболее рациональным способом высвобождения ПОС из контейнера, при пропадании его в зону горения, является разрушение контейнера вследствие избыточного давления, создаваемого продуктами детонации взрывчатых веществ. Вследствие этого огнетушащий порошковый состав практически в полном объеме (за исключением 2 – 3% порошкового состава, оседающего на внутренней поверхности капсулы) высвобождается и поступает в зону горения. При распылении ПОС в зоне горения на поверхности частицы порошкового состава происходит гетерогенная реакция рекомбинации атомарного кислорода. Так как основная реакция химического взаимодействия частицы ПОС с атомарным кислородом протекает в объе-

ме зоны горения, то расчет требуемого для тушения количества порошка будем вести не на площадь пожара, а на объем пламени. При этом оценку площади пожара класса А и В [16] можно провести через характеристический размер пламени $I = F^{1/2}$ [17, 18] (где F – площадь пожара), но так как $I^3 = 1$, то объем зоны горения вычисляется из выражения

$$V_{ZG} = F_{ZG}^{\frac{3}{2}}, \quad (3)$$

где F_{ZG} – площадь зоны горения, m^2 .

Учитывая, что C_{PV} – огнетушащая концентрация порошка в объеме зоны горения $\left(C_{PV} = \frac{m_B}{V_{ZG}} \right)$, $кг \cdot м^{-3}$, то (2) примет вид

$$\frac{m_{PS}^R}{V_{ZG}} = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR^2} \cdot \rho_{PS}}{12 \cdot \varepsilon}, \quad (4)$$

где ε – коэффициент диффузии частиц порошкового состава в газовой среде зоны подготовки к горению, $м^2 \cdot с^{-1}$; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $кг \cdot м^{-3}$; β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, $с^{-1}$; d_{PS}^{SR} – средний диаметр частицы порошкового состава, $м$; γ – коэффициент, учитывающий температуру в зоне подготовки к горению.

После преобразования получим

$$m_{PS}^R = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR^2} \cdot V_{ZG} \cdot \rho_{PS}}{12 \cdot \varepsilon}, \quad (5)$$

где ε – коэффициент диффузии частиц порошкового состава в газовой среде зоны подготовки к горению, $м^2 \cdot с^{-1}$; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $кг \cdot м^{-3}$; β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, $с^{-1}$; d_{PS}^{SR} – средний диаметр частицы порошкового состава, $м$;

При известных физико-химических свойствах ПОС [19] формула (5) позволяет определить минимальную массу порошкового состава, которая способна прекратить горение в пламени объемом V_{ZG} . Подставляя (3) в (4), получаем минимальную массу порошкового состава, способную прекратить горение на расчетной площади (при условии распыления порошкового состава в зоне горения).

$$m_{PS}^R = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR^2} \cdot F_{PG}^{\frac{3}{2}} \cdot \rho_{PS}}{12 \cdot \varepsilon}, \quad (6)$$

где β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, с^{-1} ; $d_{\text{PS}}^{\text{SR}}$ – средний диаметр частицы порошкового состава, м; F – площадь пожара, м^2 ; ε – коэффициент диффузии частиц порошкового состава в газовой среде зоны подготовки к горению, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Анализ выражения (6) показывает, что при тушении одинаковыми по химическому составу порошковыми составами, у которых коэффициенты скорости гетерогенной реакции рекомбинации атомарного кислорода β и средние диаметры частиц порошка $d_{\text{PS}}^{\text{SR}}$ практически равны, основную роль в снижении необходимой массы порошковых составов для тушения пожара играет коэффициент диффузии частиц порошка в зоне горения.

Если предположить, что частица порошка при движении в зоне горения подчиняется общепринятой теории движения частиц в газах [20], то оценить зависимость коэффициента диффузии от скорости движения частиц порошкового состава и длины свободного пробега можно исходя из кинетической теории газов. Тогда, согласно [21].

$$\varepsilon = \frac{v_{\text{PS}}^{\text{SR}} \cdot \lambda}{3}, \quad (7),$$

где $v_{\text{PS}}^{\text{SR}}$ – средняя скорость движения частицы порошка в слое газа, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; λ – длина свободного пробега частицы порошка, м.

Подставив (7) в (5), получим зависимость изменения расчетной массы порошкового состава от скорости движения частиц при известных характеристиках ПОС, длине свободного пробега частиц порошка и площади пожара.

$$m_{\text{PS}}^{\text{R}} = \frac{\beta \cdot d_{\text{PS}}^{\text{SR}^2} \cdot F_{\text{PG}}^{\frac{3}{2}} \cdot \rho_{\text{PS}}}{4 \cdot v_{\text{PS}}^{\text{SR}} \cdot \lambda_{\text{PS}}}, \quad (8)$$

где β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, с^{-1} ; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Из формулы (8) следует, что обеспечить увеличение эффективности применения порошкового состава (ПОС) можно путем повышения скорости движения частиц ПОС в зоне горения, выбрасываемых из полости капсулы.

Таким образом, масса, необходимая для тушения расчетной площади, отдельно взятого порошкового состава (при рассмотрении основного механизма огнетушащего действия гетерогенной рекомбинации атомарного кислорода) находится в обратно пропорциональной зависимости от скорости движения частиц порошкового состава в зоне горения. В общем виде: $m_{\text{PSO}} = f(v_{\text{PS}}^{\text{SR}}, \beta, d_{\text{PS}}^{\text{SR}}, \rho_{\text{PS}}, F_{\text{PG}}, \lambda_{\text{PS}})$. Тогда количество контейнеров, способных прекратить горение на заданной площади, можно рассчитать

$$N_{PS}^R = \frac{m_{PS}^R}{m_{PS}}, \quad (9)$$

где m_{PS} – масса порошкового состава, содержащегося в одной капсуле, кг.

Подставляя (8) в (9) получим

$$N_{PS}^R = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR2} \cdot F_{PG}^{\frac{3}{2}} \cdot \rho_{PS}}{4 \cdot v_{PS}^{SR} \cdot \lambda_{PS} \cdot m_{PS}}, \quad (10)$$

где β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, c^{-1} ; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $кг \cdot м^{-3}$; m_{PS} – масса порошкового состава, содержащегося в одной капсуле, кг.

Аналитическая зависимость (10) позволяет рассчитать количество контейнеров, начиненных огнетушащими порошковыми составами, для тушения пожаров классов А, В.

При использовании СУП, для достижения максимальной эффективности пожаротушения с использованием контейнеров начиненных ПОС, необходимо обеспечить максимальную равномерность распыления огнетушащего заряда в расчетном объеме V_{ZG} . Взрывчатые вещества [22] позволяют достичь максимальной эффективности за счет выброса огнетушащего вещества с использованием энергии, выделяющейся при сгорании взрывчатых веществ или пиротехнических составов [23, 24] (рис. 1).

При попадании в зону горения под действием внутренних сил контейнер разрывается, освобождая инертные продукты детонации и порошковый состав.

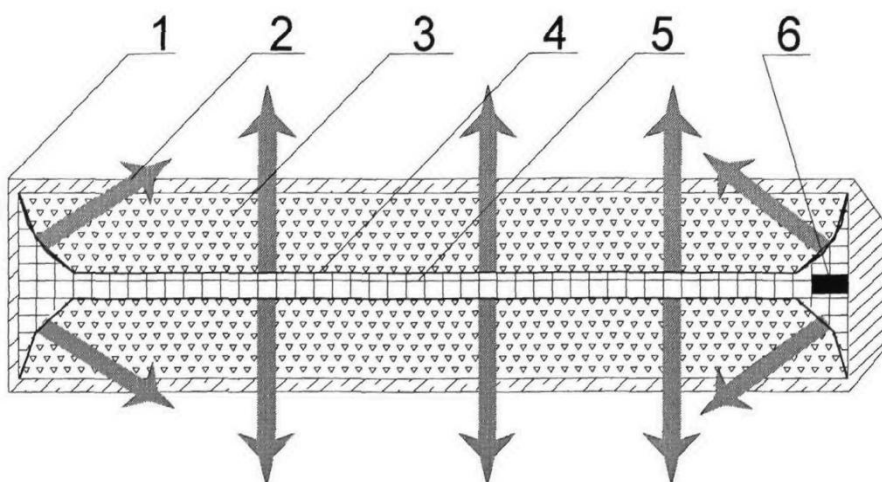


Рис. 1. Действие сил в контейнере при выбросе огнетушащего состава с использованием энергии, выделяющейся при сгорании пиротехнических составов: 1 – корпус контейнера; 2 – направление действия сил выброса огнетушащего состава; 3 – диспергированное огнетушащее вещество; 4 – эластичная газопроницаемая оболочка; 5 – пиропобудитель; 6 – пиропатрон

При этом флегматизация процесса горения кроме огнетушащего действия порошковых составов достигается: 1) отрывом фронта пламени от горючей нагрузки; 2) дроблением фронта пламени на отдельные участки, не способные поддерживать горение; 3) разбавлением зоны горения инертными продуктами взрыва. Скорость разлета продуктов взрыва (а вместе с ними и порошковых составов) зависит от формы, массы оболочки контейнера, характеристик и массы детонирующего вещества [25].

При взрывах в контейнерах конденсированных (твердых) взрывчатых веществ выделение энергии вследствие детонации может быть описано уравнением баланса [26]

$$E_K = S_E - S_M, \quad (11)$$

где E_K – суммарный тепловой эффект взрывного превращения и расширения энергоносителя – взрывного источника (энергия взрывной волны); S_M – суммарная величина внутренней потенциальной E_P , кинетической E_k энергий продукта детонации, энергии, переданной осколками контейнера окружающей среде E_{os} и идущей на деформацию и разрушение оболочки E_r ; E_k – кинетическая энергия разлета осколков оболочки, Дж.

Кинетическая энергия осколков определяется [27]

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m_{OB} \cdot v_0^2, \quad (12)$$

где m_{OB} – масса оболочки, кг; v_0 – скорость осколков, $m \cdot c^{-1}$, под которой понимается их скорость в момент максимального разгона.

Под массой оболочки понимается масса вещества обволакивающего взрывчатое вещество и рассчитывается по формуле:

$$m_{OB} = m_K + m_{PS}, \quad (13)$$

где m_K – масса корпуса контейнера, кг; m_{PS} – масса ПОС, содержащегося в контейнере, кг.

Для конденсированных взрывчатых веществ [26]

$$S_E = m_Z \cdot Q_V, \quad (14)$$

где m_Z – масса заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг; Q_V – теплота взрыва, Дж. Для энергии E_K и E_P запишем соотношения

$$E_K = \frac{1}{\Psi} \cdot m_Z \cdot v_0^2, \quad (15)$$

где Ψ – константа формы: для сферической, цилиндрической и плоской соответственно $\Psi = 10 \cdot 3^{-1}, 4, 6$ [26]; v_0 – скорость осколков, $m \cdot c^{-1}$, под которой понимается их скорость в момент максимального разгона; m_Z –

масса заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг.

$$E_p = \frac{1}{\rho_{PD} \cdot (\gamma - 1)} \cdot m_z \cdot P, \quad (16)$$

где P – давление окружающей среды, Па; ρ_{PD} – плотность продуктов детонации к моменту полного разгона материала оболочки, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; γ – показатель, характеризующий склонность продуктов детонации к расширению (изентропа), для конденсированных взрывчатых веществ $\gamma = 3$; m_z – масса заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг.

Пренебрегая энергией, затрачиваемой на разрушение оболочки и передаваемой осколками окружающей среде, в сумме, не превышающей примерно 8% [27] от величины S_M , из (12) получим начальную скорость полета осколков контейнера

$$v_0 = \sqrt{\left(Q - \frac{P}{\rho_{PD} \cdot (\gamma - 1)} \right) \cdot \frac{2 \cdot \frac{m_z}{m_{OB}}}{1 + 2 \cdot \frac{m_z}{m_{OB} \cdot \Psi}}}, \quad (17)$$

где P – давление окружающей среды, Па; ρ_{PD} – плотность продуктов детонации к моменту полного разгона материала оболочки, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; γ – показатель, характеризующий склонность продуктов детонации к расширению (изентропа), для конденсированных взрывчатых веществ $\gamma = 3$; m_z – масса заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг; Ψ – константа формы: для сферической, цилиндрической и плоской соответственно $\Psi = 10 \cdot 3^{-1}, 4, 6$; m_z – масса заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг; m_{OB} – масса оболочки, кг; Q – теплота взрыва, Дж.

Введем скорость детонации конденсированных взрывчатых веществ W

$$W = 4 \cdot \sqrt{\left(Q - \frac{P}{\rho_{PD} \cdot (\gamma - 1)} \right)}, \quad (18)$$

где P – давление окружающей среды, Па; ρ_{PD} – плотность продуктов детонации к моменту полного разгона материала оболочки, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; γ – показатель, характеризующий склонность продуктов детонации к расширению (изентропа), для конденсированных взрывчатых веществ $\gamma = 3$; Q – теплота взрыва, Дж.

Подставляя (18) в (17) выведем формулу зависимости начальной скорости движения фронта взрывной волны от скорости детонации, массы взрывчатых веществ и оболочки

$$v_0 = \frac{W}{2} \cdot \sqrt{\frac{m_z \cdot \Psi}{2 \cdot (m_{OB} \cdot \Psi + 2 \cdot m_z)}}, \quad (19)$$

где Ψ – константа формы: для сферической, цилиндрической и плоской соответственно $\Psi = 10 \cdot 3^{-1}, 4, 6$; m_z – масса заряда взрывчатого вещества (ВВ), кг; m_{OB} – масса оболочки, кг; W – скорость детонации взрывчатых веществ, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Применяя (19) для конденсированных ВВ в цилиндрической оболочке и приравнивая скорость полета осколков к скорости полета частиц порошковых составов $v_0 = v_{PS}^{SR}$, получаем начальную скорость полета частиц порошкового состава при детонации ВВ

$$v_{PS}^{SR} = \frac{W}{2} \cdot \sqrt{\frac{m_z}{2 \cdot m_{OB} + m_z}}, \quad (20)$$

где m_z – масса заряда ВВ, кг; m_{OB} – масса оболочки, кг; W – скорость детонации взрывчатых веществ, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Подставляя (8) в (20) получаем аналитическую зависимость для расчета минимального количества порошкового состава, которое необходимо для тушения очага пожара площадью F_{PG}

$$m_{PS}^R = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR2} \cdot F_{PG}^{\frac{3}{2}} \cdot \rho_{PS}}{2 \cdot W \cdot \sqrt{\frac{m_z}{2 \cdot (m_K + m_{PS}) + m_z}} \cdot \lambda_{PS}}, \quad (21)$$

где β – минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, с^{-1} ; d_{PS}^{SR} – средний диаметр частицы порошкового состава, м; F_{PG} – площадь горения, м^2 ; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; λ_{PS} – длина свободного пробега частицы порошка, м; m_K – масса корпуса контейнера, кг; m_{PS} – масса порошкового состава, содержащегося в контейнере, кг; m_z – масса заряда ВВ, кг; W – скорость детонации взрывчатых веществ, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

По аналогии с (9) получим количество контейнеров, необходимых для тушения при выбросе порошковых составов вследствие воздействия взрывчатого вещества

$$N_{PS}^{RW} = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR2} \cdot F_{PG}^{\frac{3}{2}} \cdot \rho_{PS}}{2 \cdot W \cdot \sqrt{\frac{m_z}{2 \cdot (m_K + m_{PS}) + m_z}} \cdot \lambda_{PS} \cdot m_{PS}}, \quad (22)$$

где d_{PS}^{SR} – средний диаметр частицы порошкового состава, м; F_{PG} – площадь горения, м^2 ; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; λ_{PS} – длина свободного пробега частицы порошка, м; m_K – масса корпуса контейнера,

кг; m_{PS} – масса порошкового состава, содержащегося в контейнере, кг; m_Z – масса заряда ВВ, кг; W – скорость детонации взрывчатых веществ, $m \cdot c^{-1}$; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, $kg \cdot m^{-3}$.

Аналитическая зависимость (22) позволяет рассчитать количество контейнеров, начиненных огнетушащими порошковыми составами для тушения пожаров классов А, В, при выбросе ПОС в результате сгорания пиротехнических составов.

Выводы. 1) Результаты аналитических исследований позволяют утверждать о возможности эффективного применения контейнеров, начиненных порошковыми огнетушащими составами для тушения особо важных и особо сложных объектов.

2) Аналитически выведены зависимости дающие возможность рассчитать необходимое количество контейнеров для тушения пожаров классов А, В в помещениях.

3) Выявлены следующие причины увеличения огнетушащей эффективности ПОС в контейнерах по сравнению с существующими способами доставки:

- помещение заряда огнетушащего вещества непосредственно в очаг горения, что обеспечивает участие в процессе тушения практически 100% порошкового состава;
- увеличение скорости полета частиц порошка за счет высвобождающейся энергии пиротехнических составов;
- отрыв фронта пламени от горючей нагрузки;
- дробление фронта пламени на отдельные участки, не способные поддерживать горение;
- разбавление зоны горения инертными продуктами взрыва.

4) Определено, что существует корреляция между скоростью движения частиц порошковых составов и огнетушащей эффективностью порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. – К.: МВС, затверджений наказом № 340 від 26.04.2018.
2. Довідник керівника гасіння пожежі. – К.: ДСНС. – 2015. – 358 с.
3. Kent R. Crawford An Estimation of the Pneumatic Gun's Effectiveness / Kent R. Crawford, Nicholas W. Mitiukov, Patrick McSherry // Voennyi Sbornik – 2014, Vol. 4, No. 2, pp. 89-94.
4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 170-98. – М., 1999. – 17 с.
5. Порошки огнетушащие специального назначения. Общие технические требования. Методы испытаний. Классификация: НПБ 174-98. – М., 1998. – 10 с.
6. Агаларова С. М. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса / С.М. Агаларова, О.Ю. Сабинин // Пожаровзрывобезопасность, 2007. – Том № 16, № 6.

7. Нестеренко Н.А., Таран Э.Н. Спектроскопическое изучение механизма ингибирования диэтиламино и галоидосодержащими соединениями процесса горения ацетилено-воздушного пламени. – 1978. – Т. 14. – С. 96.

8. Баратов А.Н. Взаимодействие смесей диамонийфосфата и хлорида калия с активными радинолами пламени гептана / А.Н. Баратов, А.Г. Тропинов, В.М. Жартовский // Кинетика и катализ: Сб. научн. тр. – М., 1988. – Т. 29. – С. 524 – 529.

9. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К.Г. Бромштейна; Под ред. А.Ю. Кошмарова, В.Е. Макарова. – М., 1990. – 424 с.

10. Сабинин Олег Юрьевич Оптимальные характеристики огнетушащих порошков и параметры их подачи для импульсных модулей порошкового пожаротушения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук – М., 2008.

11. Добриков В.В., Федотов А.П., Ковальчук В.Ю. Расчет испарения частиц огнетушащих порошков в пламени / В.В. Добриков, А.П. Федотов, В.Ю. Ковальчук // Пожарная профилактика: Сб. науч. тр. – М., 1997. – С. 23-26.

12. Баратов А.Н. Горение Пожар Взрыв Безопасность. – М., 2003. – 364 с.

13. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. Издание второе, переработанное. – М., 1981. – 272 с.

14. Воль К., Шипмен К. Диффузионные пламенна // Процессы горения: Сб. науч. тр. – М., 1961. – С. 306 – 328.

15. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К. Процессы горения. – М., 1984. – 383 с.

16. ГОСТ 27331–87 Пожарная техника. Классификация пожаров. – М., 1988.

17. Киселев Я.С. Физические модели горения в системе предупреждения пожаров. – СПб., 2000. – 264 с.

18. Повзик Я.С. Пожарная тактика: М., 1999. – 416 с.

19. Шароварников А.Ф., Салем. Р.Р., С.С. Воевода. Общая и специальная химия: Учебное пособие. – М., 2005. – 458 с.

20. Салем. Р.Р., Шароварников А.Ф. Общая химия. – М., 2002. – 472 с.

21. Салем Р.Р., Шароварников А.Ф. Термодинамика химических, фазовых и электрохимических превращений. – М., 1999. – 393 с.

22. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. Издание третье, переработанное. – М., 1972. – 177 с.

23. Захматов В.Д. Разработка способов взрывной подачи огнетушащих порошков в очаг пожара: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1983. – 26 с.

24. Захматов В.Д., Кожемякин А.С. Перспективные импульсные устройства и автоматические системы пожаровзрывозащиты радиационно зараженных объектов / Пожарная безопасность зданий, сооружений и объектов тушения пожаров: Сб. науч. тр. – М., 1999. – С. 33 – 36.

25. Кукиб Б.Н., Росси Б.Д. Высокопредохранительные взрывчатые вещества. – М., 1980. – 172 с.

26. Кочетков К.Е., Котляревский В.А. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий / Под ред. Забегаева А.В. – М., 1996. – 384 с.

27. Ловля С.А., Каплан Б.Л., Майоров В.В. Взрывное дело. Издание второе, переработанное. – М., 1976. – 272 с.

Получено редколлегией 11.10.2018

О.О. Ковальов, А.Я. Калиновський, І.М. Хмиров

Розробка окремих аспектів контейнерного методу пожежогасіння

Запропоновано використання стволкових установок пожежогасіння, що забезпечують контейнерну доставку різного виду вогнегасних речовин в зону горіння на відстані більше 100 м. Розглянуто використання порошкових вогнегасячих складів в якості наповнювачів контейнера. Аналітично виведено залежності, що дають можливість розрахувати необхідну кількість контейнерів для гасіння пожеж класів А, В в приміщеннях.

Ключові слова: пожежогасіння, стволова установка, контейнер, порошкові вогнегасники склади.

O. Kovalev, A. Kalinovsky, I. Khmyrov

Development of individual aspects of container method of fire extinguishing

The use of stem fire extinguishing installations, providing container delivery of various types of fire extinguishing substances to the combustion zone at a distance of more than 100 m is proposed. The use of powder fire extinguishing compositions as a container filler is considered. Analytical dependencies are derived that make it possible to calculate the required number of containers for extinguishing fires of classes A, B in rooms.

Keywords: fire extinguishing, stem installation, container, powder fire extinguishing compositions.