

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

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

Н. А. ВЛАСОВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ЭФФЕКТ ОГНЕПРЕГРАЖДЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ

В экспериментах с использованием специально созданной установки получены зависимости удельного расхода порошка, а также времени тушения бензина, дизельного топлива и смеси бензина и дизельного топлива от интенсивности подачи порошка. Приведены оригинальная методика и последовательность выполнения эксперимента. Выделен сопутствующий тушению эффект — увлечение кислорода воздуха дисперсной струей порошка в зону горения, который способствует основному действию огнетушащего вещества — сьему тепла из зоны горения. Показано, что высокая эффективность действия дисперсной струи порошка объясняется высокой удельной площадью поверхности дисперсной системы. Выделен дополнительный механизм воздействия на пламя, приписываемый порошкам, — эффект огнепреграждения. Приведены количественные соотношения для оценки удельного расхода порошка и времени тушения пламени горючей жидкости. Анализ приведенных соотношений показывает наличие минимума на зависимости удельного расхода от интенсивности подачи порошка, что удовлетворительно согласуется с результатами экспериментов.

Ключевые слова: удельный расход огнетушащего порошка; эффект огнепреграждения; сопутствующий тушению эффект; дисперсность порошка; время тушения.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.67-74

Огнетушащее действие порошковых огнетушителей определяется огнетушащей способностью порошка и конструкцией порошкового огнетушителя.

Оценка сравнительной эффективности порошкового состава не может быть проведена с использованием готовых огнетушителей различных марок, поскольку они различаются способом подготовки порошковой дисперсии, режимом подачи и распыления порошка. Часто при маркировке указывается тип порошка и условное наименование, но химический состав порошка при этом остается неизвестным.

Огнетушащая эффективность порошков была исследована в ряде работ [1–4]. Общим выводом этих исследований является обнаруженная экстремальная зависимость удельного расхода порошка от интенсивности его подачи [1]. В работах [5, 6] предложено объяснение этого эффекта, который связывают с сопутствующим фактором — увлечением кислорода воздуха дисперсной порошковой струей в зону горения.

Поскольку публикации [1, 2] содержат только качественную информацию, то была поставлена задача выявить количественную взаимосвязь удельного расхода и интенсивности подачи порошка.

Получить экспериментальную зависимость удельного расхода порошка от интенсивности его подачи существующими методами, в которых используются готовые огнетушители, не представляется возможным. Поэтому для оценки огнетушащей способности порошкового состава была создана стендовая установка (рис. 1 и 2), в которой обеспечены одинаковая дисперсность при подготовке порошка, режим его подачи и распыления. Установка состоит из ротаметра 1, весов электронных с компенсацией веса 2, герметичной емкости 3, эластичной трубки диаметром 5–6 мм 4, распылителя 5, металлической емкости (горелка с горючей жидкостью) 7.

Для решения поставленной задачи была разработана специальная методика. В соответствии с ней подача порошка 8 на факел пламени осуществляет-

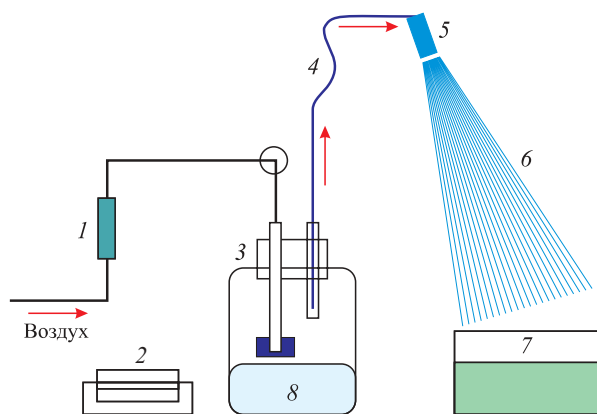


Рис. 1. Стендовая установка для определения сравнительной огнетушащей эффективности огнетушащих порошков



Рис. 2. Основные элементы установки для испытания огнетушащей способности порошка



Рис. 3. Взвешивание порции порошка

ся в виде струи *б* с дозированной концентрацией и прекращается в момент тушения пламени. Взвешиванием определяют убыль массы порошка, поданного на тушение (рис. 3). Обеспечить постоянство концентрации порошка сложно, поэтому измерения проводят многократно, и результаты всех измерений наносят на график зависимости удельного расхода порошка от интенсивности его подачи.

Струя порошка неоднородна в процессе тушения. Строго задать интенсивность подачи порошка



Рис. 4. Демонстрация свободной подачи порошковой струи при калибровке расходной характеристики распылителя

не представляется возможным, поэтому ее определяют по количеству порошка, истраченного во время тушения. Для обеспечения заданного интервала интенсивности подачи огнетушащего порошка постепенно увеличивают диаметр металлической горелки и стараются поддерживать постоянным секундный расход порошка.

Огнетушащая способность порошка характеризуется экспериментально полученной зависимостью времени тушения и удельного расхода порошка от интенсивности его подачи при тушении пламени горючей жидкости. Основным показателем огнетушащей способности порошка является его минимальный удельный расход, полученный при анализе экстремальной зависимости удельного расхода порошка от интенсивности его подачи.

Поскольку подача порошка в чистом виде по трубкам малого диаметра затруднена, предварительно готовится порошок определенной дисперсности, который затем подается с потоком воздуха в зону горения. Дисперсную струю порошка готовят непосредственно в процессе тушения пламени путем перемешивания посредством распыленной струи воздуха и простым встряхиванием порошка. Поскольку концентрация дисперсной системы неоднородна, то и состав порошковой струи, подаваемой в очаг горения, будет неоднородным (рис. 4). В связи с этим эксперименты по тушению повторяют несколько раз, а все результаты наносят на график зависимости времени тушения и удельного расхода порошка от интенсивности его подачи, которая рассчитывается делением расхода на площадь горящей жидкости в соответствии с диаметром горелки. Основная сложность заключается в обеспечении постоянства расхода порошка в процессе тушения пламени.



Рис. 5. Фрагменты процесса тушения пламени бензина огнетушащим порошком со средним размером частиц 110 мкм

Последовательность выполнения работы

По ротаметру 1 (см. рис. 1) предварительно определяли необходимый расход воздуха, который поддерживался в процессе тушения пламени. В герметичную емкость 3 помещали 100 г порошка 8, взвешивали и обнуляли показания весов. Емкость герметично закрывали пробкой с подводящими эластичными трубками 4. В металлическую горелку 7 заливали горючую жидкость так, чтобы высота свободного борта составляла $(2,0 \pm 0,5)$ см. Затем зажигали горючее в горелке 7 и засекали время свободного горения, которое должно составлять 1 мин. На 55-й секунде включали подачу воздуха и начинали встряхивать емкость с порошком с периодичностью порядка одно встряхивание в секунду.

Фрагменты процесса тушения пламени бензина огнетушащим порошком со средним размером частиц 110 мкм представлены на рис. 5. На втором фрагменте видно, как сильно увеличивается объем факела пламени при подаче струи порошка. Этот эффект связан с увлечением в зону горения дополнительного кислорода воздуха. В дальнейшем, по мере покрытия порошком горячей поверхности дизельного топлива, испарение углеводорода прекращается и пламя исчезает.

Для формирования дисперсной струи порошка воздух подавали в герметичную емкость через насадок с распылителем. Создаваемая при этом струя воздуха, движущаяся с высокой скоростью, перемешивала навеску порошка. Для предохранения от разрыва стеклянной банки из-за возможного нарушения крепления металлического насадка емкость помещали в матерчатый мешочек, который также предотвращал попадание порошка в воздух в случае ненадежного крепления крышки.

При тушении пламени струю порошка подавали в середину горелки с расстояния (50 ± 5) см под углом $45-55^\circ$.

Время тушения определяли с момента подачи струи порошка на горящую поверхность до полного прекращения горения. После тушения пламени

фиксируют время тушения, а затем открывали герметичную емкость, взвешивали оставшийся порошок и определяли потери его массы за счет расхода на тушение пламени. Опыт по тушению повторяли три раза, и все результаты заносили в таблицу, по результатам которой строили график зависимости времени тушения и удельного расхода порошка от интенсивности его подачи (рис. 6–9).

Эксперименты показали, что зависимость удельного расхода порошка от интенсивности подачи проходит через минимум, положение которого позволяет определить оптимальную интенсивность подачи порошка. Для тушения использовали огнетушащие порошки ОП-4 и “Вексон-25”. Огнетушащая эффективность порошка ОП-4 при тушении пламени бензина характеризуется минимальным удельным расходом $1,2 \text{ кг/м}^2$ и оптимальной интенсивностью подачи $0,5 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$.

Порошок использовали как непосредственно после приобретения, так и после дополнительного помола в электромиксере. Средний размер частиц порошка при этом менялся со 100–110 до 40–60 мкм. Повышение дисперсности порошка позволило снизить минимальный удельный расход его с 2,3 до

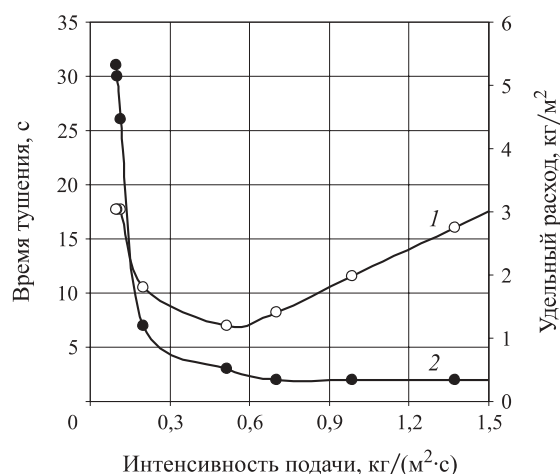


Рис. 6. Зависимость удельного расхода (1) и времени тушения пламени бензина (2) порошком ОП-6 со средним размером частиц 110 мкм от интенсивности его подачи

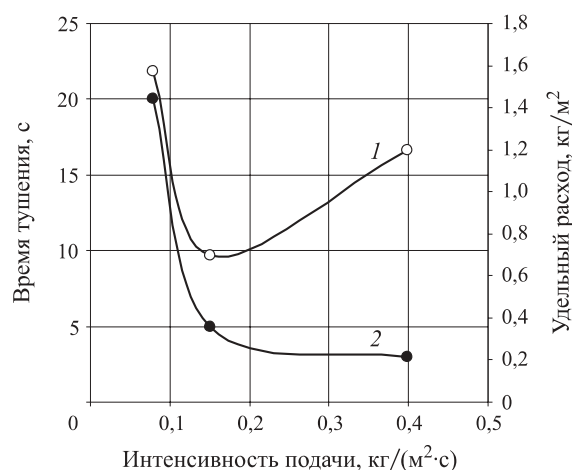


Рис. 7. Зависимость удельного расхода (1) и времени тушения пламени смеси дизельного топлива и бензина (10 % об.) (2) порошком “Вексон 25” со средним размером частиц 50 мкм (после дополнительного помола) от интенсивности его подачи

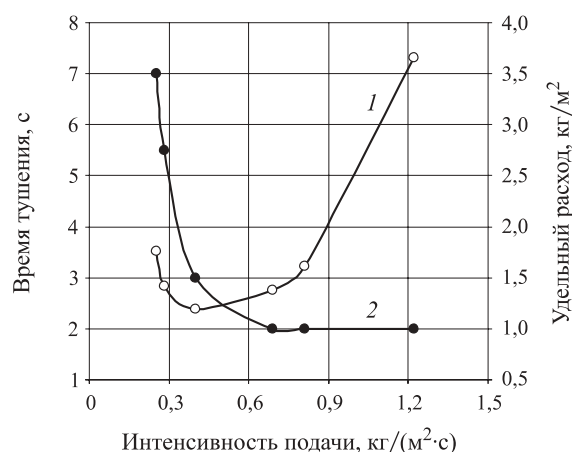


Рис. 8. Зависимость удельного расхода (1) и времени тушения пламени дизельного топлива (2) порошком “Вексон-25” со средним размером частиц 80–100 мкм от интенсивности его подачи

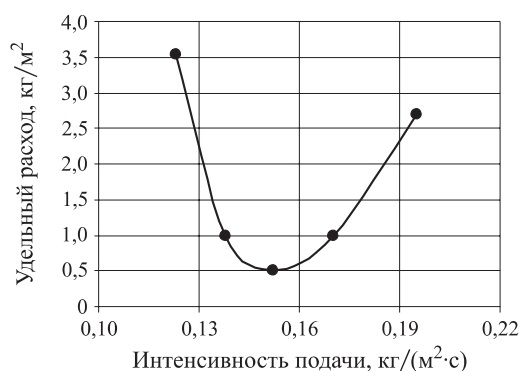


Рис. 9. Зависимость удельного расхода молотой смеси карбамида и бикарбоната натрия в соотношении 1:1 с размером частиц 40 мкм от интенсивности ее подачи при тушении бензина

0,7 $\text{кг}/\text{м}^2$, а оптимальную интенсивность — с 0,4 до 0,1 $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Эти результаты показывают важную

роль, которую играет дисперсность частиц порошка в процессе тушения.

Учитывая эффективность известного состава, в котором используется смесь карбамида с содой, провели опыты по тушению пламени бензина приготовленной перед использованием композицией карбамид – сода в соотношении 1:1. Этот состав очень гигроскопичен, поэтому смесь готовили непосредственно перед испытаниями. Результаты испытаний представлены на рис. 9. На графике наблюдается явно выраженный минимум зависимости удельного расхода от интенсивности подачи порошка.

Увлечение воздуха дисперсной струей порошка является эффектом, сопутствующим основному действию огнетушащего вещества — съему тепла из зоны горения. По существу, одновременно протекают два процесса: первый — съем тепла, собственно тушение, а второй — повышение температуры в зоне горения и увеличение площади зоны тушения. Чем выше расход порошка, тем больше значимость второго фактора. Оптимальный режим тушения, при котором удельный расход вещества на тушение пламени минимален, определяется соотношением вклада эжекции воздуха и расхода тушащего вещества.

Тушение пламени газовыми, порошковыми, аэрозольными составами и распыленной водой целиком базируется на этой теории, хотя способы снижения температуры пламени и уменьшения скорости тепловыделения в единичном объеме достигаются по-разному, в зависимости от физических свойств огнетушащего состава, используемого для тушения пожара.

Закономерности тушения пламени с помощью огнетушащих порошков и аэрозольных составов имеют много общего с механизмом огнетушащего действия воды высокой степени дисперсности. Как и в случае с распыленной водой, основной механизм их огнетушащего действия концентрируется в зоне пламенного горения смеси паров горючего с кислородом воздуха, но имеются и отличительные моменты. Высокая эффективность действия распыленного порошка и аэрозоля объясняется высокой удельной площадью поверхности дисперсной системы. За счет высокоразвитой поверхности порошок быстро поглощает тепло, которое расходуется на нагревание и плавление твердых частиц.

Наряду с тепловым механизмом действия порошка, который во многом похож на действие распыленной воды и жидких фреонов, имеются дополнительные эффекты, которые рассматриваются только для высокодисперсных систем с высокой удельной площадью поверхности.

Особое влияние порошка на газовую смесь проявляется в ингибировании химической реакции окисления молекул горючего кислородом воздуха.

В результате неполного сгорания молекул горючего выделяется пониженное количество тепла [7]. Так, при полном сгорании этилового спирта с образованием CO_2 выделяется 27760 кДж/кг, а при ингибирующем механизме воздействия, когда образуется преимущественно CO , — только 15456 кДж/кг [8].

Порошкам и аэрозолям приписывается еще один механизм воздействия на пламя — эффект огнепреграждения по аналогии с шахтерскими лампами, в которых прямой контакт пламени с наружным воздухом предотвращается с помощью тонкой металлической сетки [9]. Эффект огнепреграждения, приписываемый порошкам, по существу, также является результатом теплосъема из горящей газовой смеси. При прохождении через узкие каналы металлической сетки поток пламени резко остужается за счет съема тепла на поверхность сетки. Эффект огнепреграждения используется для предотвращения распространения пламени в системах газоулавливания в резервуарных парках, в которых часть резервуаров объединена трубопроводами [9–11]. Такая конструкция предотвращает выброс в атмосферу насыщенного пара нефтепродукта, вероятность которого высока при уменьшении свободного пространства в резервуаре во время его заполнения.

Таким образом, для огнетушащих порошков в качестве основного механизма огнетушащего действия могут рассматриваться три эффекта:

- теплосъем из зоны горения на нагревание и плавление частиц;
- ингибирование химической реакции горения;
- эффект огнепреграждения.

Кроме основных видов воздействия, дополнительно может рассматриваться воздействие порошка на поверхность горящего твердого горючего материала, которая покрывается слоем оплавленного порошка, разложение химического соединения на компоненты, а также влияние частично испарившейся массы порошка [12–16].

Особый случай представляет сопутствующий эффект, который возникает при тушении составами, способными “разрываться” в зоне горения на мелкие частицы. Такой эффект наблюдается при использовании в составе порошка мочевины — карбамида, который при попадании в зону с высокой температурой частично распадается на аммиак и угольную кислоту, что приводит к разрыву частиц на более мелкие. Данная технология очень удобна в применении, поскольку исходные частицы имеют крупные размеры и могут подаваться на большие расстояния [17, 18]. Однако составы порошков с карбамидом очень гигроскопичны и быстро слеживаются, поглощая влагу из атмосферы [19].

Детальный анализ перечисленных выше эффектов выявляет определяющую роль теплового фактора — поглощения тепла в различных ситуациях.

Механизм тушения пламени порошками не может быть сведен только к одному из выделенных ранее эффектов. Каждый из них вносит свой вклад в процесс тушения, поскольку трудно отделить механизм огнепреграждения объемной сеткой порошка от влияния развитой поверхности на процесс горения и полноту сгорания молекул горючего вещества.

Наиболее очевидным воздействием порошка на процесс окисления является изменение полноты сгорания углеводорода, что ведет к заметному снижению теплового эффекта реакции горения. По аналогии с огнетушащими хладонами — флегматизаторами горения [4] можно принять, что потухание пламени достигается, если в газовой смеси стехиометрического состава обеспечена концентрация порошка, достаточная для теплосъема по любому из перечисленных механизмов.

В работе [4] получены количественные соотношения для оценки расхода порошка на тушение Q (кг/м²) и времени тушения пламени горючей жидкости τ_t (с):

$$\tau_t = -\frac{h\rho_{\text{см}}}{u_0} \ln\left(1 - \frac{U_0}{J}\right), \quad (1)$$

где h — высота зоны горения, м;
 $\rho_{\text{см}}$ — плотность смеси, г/м³;

$$\rho_{\text{см}} = \varphi_T M / 22,4; \quad (2)$$

φ_T — тушащая концентрация, кг/м³;

M — молярная масса горючего, кг/моль;

U_0 — удельная скорость выгорания, кг/(м²·с);

$$u_0 = q\varphi_T / (\varphi_T S_0); \quad (3)$$

q — расход порошка, кг/с;

φ_T — концентрация паров горючей жидкости, кг/м³;

S_0 — площадь поверхности резервуара (горелки), м²;

J — интенсивность подачи порошка, кг/(м²·с);

$J = q/J_{\text{кр}}$.

Конечное соотношение для оценки зависимости времени тушения от интенсивности подачи порошка имеет вид:

$$\tau_t = -\frac{h\varphi_T^2 M}{22,4 J_{\text{кр}}} \varphi_T \ln\left(1 - \frac{q\varphi_T}{J_{\text{кр}} S_0}\right), \quad (4)$$

где $J_{\text{кр}}$ — критическая интенсивность подачи порошка, кг/(м²·с).

Расход порошка на тушение Q рассчитывается по формуле

$$Q = J\tau_t = (\beta J^2 + Jh_0) \ln(1 - U_0/J), \quad (5)$$

где β — коэффициент пропорциональности, определяемый эжектирующим действием частиц порошка, или коэффициент эжекции, $\text{м}^3 \cdot \text{с} / \text{кг}$;

h_0 — высота зоны горения до начала тушения, м.

Качественный анализ формулы (5) показывает наличие минимума на зависимости удельного расхода порошка от интенсивности его подачи, что удовлетворительно согласуется с результатами экспериментов.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования механизма тушащего действия порошков подтвердили наличие минимума на кривых, характеризующих зависимость удельного расхода порошка от интенсивности его подачи.

Наличие сопутствующего фактора — увлечения кислорода воздуха струей порошка является при-

чиной наличия экстремума на кривой зависимости удельного расхода порошка от интенсивности его подачи.

В первый момент подачи порошка происходит сильное увеличение факела пламени за счет вовлекаемого струей порошка кислорода воздуха. Процесс тушения пламени горючих жидкостей проходит через формирование изолирующего слоя порошка над горячей поверхностью, что приводит к снижению скорости испарения углеводорода и ликвидации горения за счет эффекта огнепреграждения.

Повышение дисперсности порошка дало возможность снизить минимальный удельный расход его с 2,3 до 0,7 $\text{кг} / \text{м}^2$, а оптимальную интенсивность подачи — с 0,4 до 0,1 $\text{кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Эти результаты показывают важную роль, которую играет дисперсность частиц порошка в процессе тушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nash P. The essentials of dry powder and gaseous extinguishing systems // Fire Prev. — 1977. — No. 118. — P. 21–45.
2. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. — М.: Стройиздат, 1975. — 240 с.
3. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 63–68.
4. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 59–68.
5. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 84–88.
6. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Тушение горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.
7. Баратов А. Н., Андрианов Р. А., Корольченко А. Я., Михайлов Д. С., Ушков В. А., Филин Л. Г. Пожарная опасность строительных материалов / Под ред. А. Н. Баратова. — М.: Стройиздат, 1988. — 380 с.
8. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко. — М.: Пожнаука, 2000. — 482 с.
9. Трякина Н. П. Ацетиленовая шахтерская лампа // Памятники науки и техники в музеях России. Альбом. — М.: Государственный политехнический музей, 1996. — Вып. 2.
10. Стрижевский И. И., Заказнов В. Ф. Промышленные огнепреградители. — М.: Химия, 1974. — 264 с.
11. Авт. свид. 387718 СССР. МПК А62С 39/00. Огнепреградитель для резервуаров с горючими жидкостями / Абросимов Б. З., Вильдер С. И., Мамонтов Г. В., Бапоидзе П. Л., Шувалова Л. Н., Мацкин Л. А., Стрижевский И. И., Заказнов В. Ф. — № 1445894/23-26; заявл. 08.06.1970; опубл. 22.06.1973, Бюл. № 28.
12. Баратов А. Н., Возман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. — М.: Стройиздат, 1982. — 72 с.
13. Hofman W. Beeinflussung der laminaren Flammengeschwindigkeit durch Alkalimetall-Salze // Chemie Ingenieur Technik. — 1971. — Vol. 43, Issue 9. — P. 556–560. DOI: 10.1002/cite.330430904.
14. Корольченко Д. А., Азатян В. В., Горшков В. И., Шебеко Ю. Н., Навценя В. Ю., Яшин В. Я. Основные факторы, определяющие воздействие газоаэрозольных огнетушащих составов на процессы горения // Пожаровзрывобезопасность. — 1997. — Т. 6, № 4. — С. 3–6.
15. Пат. 2153376 Российская Федерация. МПК А62D1/06. Способ получения пиротехнического аэрозольобразующего состава для тушения пожаров / Емельянов В. Н., Козырев В. Н., Корольченко Д. А., Сидоров А. И. — № 99104412/12; заявл. 15.03.1999; опубл. 27.07.2000, Бюл. № 2.

16. Корольченко Д. А. Тушение пожаров аэрозольными составами : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1998.
17. Ульянов Н. И. Обоснование параметров струеобразующих устройств для подачи огнетушащих порошковых составов : дис. ... канд. техн. наук. — М. : АГПС МВД России, 2000. — 219 с.
18. Корольченко Д. А. Изменение характеристик горения горючей жидкости при тушении тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 79–80.
19. Гидрофобизация огнетушащих порошков : обзорная информация. — М. : ВНИИПО, 1983. — Вып. 6/82. — 16 с.

Материал поступил в редакцию 10 июля 2015 г.

Для цитирования: Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Власов Н. А. Эффект огнепреграждения при оценке огнетушащей способности порошковых составов // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 10. — С. 67–74. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.67-74.

English

EFFECT OF FIRE OBSTRUCT FOR ASSESSMENT OF FIRE EXTINGUISHING ABILITY OF POWDER STRUCTURES

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head 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)

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor of Technical Sciences, 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)

VLASOV N. A., Postgraduate Student 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)

ABSTRACT

Experimental dependences of the specific consumption of extinguishing powder, and also the time of suppression of gasoline, diesel fuel and mix of gasoline and diesel fuel from the powder flow rate received during tests with specially created installation are given. The original methodology of experiment is presented. The sequence of experimental processes is given. During extinguishing it was detected concurrent effect — entrainment of atmospheric oxygen by disperse stream of powder in combustion zone, accompanying the main action of fire extinguishing substance — removal of heat from combustion zone. It is shown that the high efficiency of action of powder disperse stream is explained by high specific surface area of a disperse system. It is detected that additional mechanism of impact on a fire, attributed to powders, is the flame arresting effect. Quantitative ratios for estimation of the powder specific consumption and the time of suppression of combustible liquid flame are given. The analysis of these ratios indicates the presence of a minimal dependence of the specific consumption from the powder flow rate that is in satisfactory agreement with experimental results.

Keywords: specific consumption of extinguishing powder; flame arresting effect; accompanying effect of extinguishing; dispersion of powder; time of extinguishing.

REFERENCES

1. Nash P. The essentials of dry powder and gaseous extinguishing systems. *Fire Prev.*, 1977, no. 118, pp. 21–45.
2. Shrayber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva. Khimiko-fizicheskiye protsessy pri gorenii i tushenii* [Extinguishing media. Chemical-physical processes in combustion and extinguishing]. Moscow, Stroyizdat, 1975. 240 p.
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tusheniye plameni ognetushashchimi poroshkami i aerolzolnymi sostavami [Extinguishing of a flame by dry chemical powders and aerosol compositions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 63–68.

4. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Analiz dvoystvennogo mekhanizma tusheniya plameni [Analysis of the dual fire suppression mechanism]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 59–68.
5. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Universalnost mekhanizmov tusheniya plameni razlichnymi ognnetushashchimi veshchestvami [Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 84–88.
6. Sharovarnikov S. A., Korolchenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspylennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.
7. Baratov A. N., Andrianov R. A., Korolchenko A. Ya., Mikhaylov D. S., Ushkov V. A., Filin L. G. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire danger of construction materials]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 380 p.
8. Brushlinskiy N. N., Korolchenko A. Ya. (eds.). *Modelirovaniye pozharov i vzryvov* [Modeling of fires and explosions]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000. 482 p.
9. Tryakina N. P. Atsetilenovaya shakhterskaya lampa [Miner's acetylene lamp]. *Pamyatniki nauki i tekhniki v muzeyakh Rossii. Albom* [Relics of science and technology in Russian Museums. Album]. Moscow, State Polytechnical Museum Publ., 1996, issue 2.
10. Strizhevskiy I. I., Zakaznov V. F. *Promyshlennyye ognepregraditeli* [Industrial flame arrestors]. Moscow, Khimiya Publ., 1974. 264 p.
11. Abrosimov B. Z., Vilder S. I., Mamontov G. V., Bapoidze P. L., Shuvalova L. N., Matskin L. A., Strizhevskiy I. I., Zakaznov V. F. *Ognepregraditel dlya rezervuarov s goryuchimi zhidkostyami* [Flame arrestor for tanks with flammable liquids]. Copyright certificate no. 387718, 22.06.1973.
12. Baratov A. N., Vogman L. P. *Ognnetushashchiye poroshkovyye sostavy* [Fire extinguishing powder compounds]. Moscow, Stroyizdat, 1982. 72 p.
13. Hofman W. Beeinflussung der laminaren Flammengeschwindigkeit durch Alkalimetall-Salze. *Chemie Ingenieur Technik*, 1971, vol. 43, issue 9, pp. 556–560. DOI: 10.1002/cite.330430904.
14. Korolchenko D. A., Azatyan V. V., Gorshkov V. I., Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Yashin V. Ya. Osnovnyye faktory, opredelyayushchiye vozdeystviye gazoerozolnykh ognnetushashchikh sostavov na protsessy goreniya [Main factors that determine the exposure of aerosol fire-extinguishing agents on combustion processes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1997, vol. 6, no. 4, pp. 3–6.
15. Emelyanov V. N., Kozyrev V. N., Korolchenko D. A., Sidorov A. I. *Sposob polucheniya pirotekhnicheskogo aerolobrazuyushchego sostava dlya tusheniya pozharov* [The method of producing of pyrotechnic aerosol forming agent for fire suppression]. Patent RU, no. 2153376, 27.07.2000.
16. Korolchenko D. A. Tusheniye pozharov aerololnymi sostavami: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Suppression of fire by aerosol agents. Abstract of cand. tech. sci. diss.]. — M., 1998.
17. Ulyanov N. I. Obosnovaniye parametrov struyeobrazuyushchikh ustroystv dlya podachi ognnetushashchikh poroshkovykh sostavov. Dis. kand. tekhn. nauk [Substantiation of parameters of the jet-forming devices for supply of fire extinguishing powders. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of the Interior of Russia Publ., 2000. 219 p.
18. Korolchenko D. A. Izmeneniye kharakteristik goreniya goryuchey zhidkosti pri tushenii tonkoraspylennoy vodoy [Changes in burning characteristics of the combustible liquid during suppression by finely atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 79–80.
19. Gidrofobizatsiya ognnetushashchikh poroshkov. Obzornaya informatsiya [Hydrophobization of fire extinguishing powders. Review]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, 1983, issue 6/82. 16 p.

For citation: Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Vlasov N. A. Effekt ognnepregrazhdeniya pri otsenke ognnetushashchey sposobnosti poroshkovykh sostavov [Effect of fire obstruct for assessment of fire extinguishing ability of powder structures]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 10, pp. 67–74. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.67-74.