

УДК 614.844.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ ДЛЯ НУЖД ПОЖАРОТУШЕНИЯ

**Двоенко Олег Викторович, Щербаков Николай Александрович,
Захаров Анатолий Иванович**

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Целью данной статьи является обзор применяемых механизмов диспергирования жидкостей в существующих средствах подачи огнетушащих веществ. На основании анализа научно-технической литературы была проработана классификация существующих методов распыления жидкостей. Происходящие процессы в разных методах диспергирования весьма отличаются, если рассматривать с точки зрения механики образования капель и физического воздействия на жидкость. Тем не менее все методы распыления сводятся к тому, что жидкости необходимо сообщить энергию для образования дисперсной среды, энергетические затраты, в зависимости от метода, имеют широкие диапазоны. Так же в статье рассмотрены различные средства подачи тонкораспыленной воды, применяемые для нужд пожаротушения. Диспергирование жидкости обеспечивает высокоразвитую поверхность контакта взаимодействующих фаз, в связи с чем был рассмотрен процесс распыления в единстве со всеми физическими явлениями, протекающими в средствах подачи огнетушащих веществ, и на основании особенностей их конструктивных исполнений были отмечены преимущества и недостатки. Рекомендуется в целях повышения эффективности пожаротушения, с учетом механики распыления жидкостей, разрабатывать и совершенствовать средства с возможностью подачи тонкораспыленной воды, тем самым делая конструкции более простыми в эксплуатации, обслуживании, с ориентиром на их финансовую доступность в массовом сегменте.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода, средства подачи, методы распыления жидкости, тушение пожаров

APPLICATION OF LIQUID DISPERSION MECHANISMS FOR FIRE EXTINGUISHING NEEDS

Oleg V. Dvoenko, Nikolay A. Shcherbakov, Anatoly I. Zakharov

State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The purpose of this article is to review the applied mechanisms for dispersing liquids in existing means of supplying fire extinguishing agents. Based on the analysis of scientific and technical literature, a classification of existing methods for spraying liquids was worked out. The processes occurring in different dispersion methods are very different when viewed from the point of view of the mechanics of droplet formation and the

physical impact on the liquid. However, all spraying methods boil down to the fact that the liquid must be supplied with energy to form a dispersed medium, energy costs, depending on the method, have wide ranges. The article also discusses various means of supplying mist water used for fire extinguishing needs. Dispersion of the liquid provides a highly developed contact surface of the interacting phases, in connection with which the spraying process was considered in unity with all physical phenomena occurring in the means of supplying fire extinguishing agents, and based on the features of their design, advantages and disadvantages were noted. It is recommended, in order to improve the efficiency of fire extinguishing, taking into account the mechanics of spraying liquids, to develop and improve tools with the ability to supply mist water, thereby making the structures easier to operate, maintain, with a focus on their financial affordability in the mass segment.

Keywords: mist water, supply means, liquid spray methods, fire extinguishing

Введение

В современных инженерно-технических устройствах и установках активно происходит применение процесса диспергирования. Невозможно представить транспортную, сельскохозяйственную, строительную отрасли без механизмов, предназначенных для распыления жидкостей. В области пожаротушения данный процесс активно применяется в средствах подачи огнетушащих веществ и отличается положительной эффективностью. Связано это с более высокой поглощающей способностью тепла у капель меньшего диаметра за счет большей активной площади поверхности капель [1]. Взяв во внимание эту особенность, мы получаем главное преимущество, относительно традиционного водяного пожаротушения, а именно – снижение потенциального материального ущерба от излишне пролитой воды с повышением эффективности пожаротушения. Тонкораспыленная вода является безвредной для человека и может применяться для тушения помещений на объектах различного функционального назначения.

Аналитическая часть

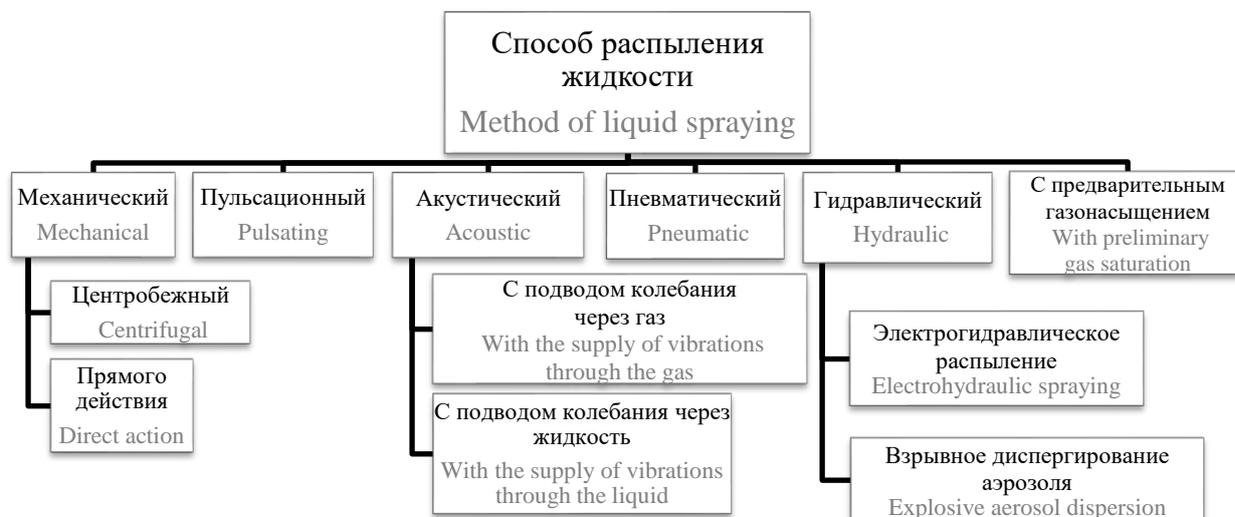
Аналитический обзор научно-технической литературы показал, что процессы

распыления жидких веществ рассмотрены детально во многих работах [2-6]. Как следствие, представляется возможным представить следующую классификацию способов распыления (рис. 1).

Пульсационное распыление является хорошим способом однородного и мелкого диспергирования жидкости. Более тонкое распыление достигается благодаря пульсациям давления и изменению расхода, вызывающим возмущения, которые усиливают дробление струи жидкости. Эти возмущения создаются периодическим перекрытием проходных каналов (или соплового отверстия) распылителя, что приводит к увеличению поверхностной энергии струи и быстрой потере устойчивости.

Для нужд пожаротушения способ не применяется по причине наличия в конструкции устройства подвижной части. Именно подвижная часть, перекрывающая проходной канал, делает устройство пожаротушения менее надежным в экстремальных условиях эксплуатации и может привести к травме участника тушения пожара.

Однако данный способ нашел активное применение в сельскохозяйственной отрасли (рис. 2).

**Рис. 1.** Классификация способов распыления**Fig. 1.** Classification of spraying methods**Рис. 2.** Пульсационный распылитель для полива растений**Fig. 2.** Pulsating sprayer for watering plants

Еще одним видом диспергирования жидкости является акустическое распыление. Это технология, которая использует звуковые волны для распыления жидкости. Основным принципом этой техники является использование ультразвуковых волн, которые создают высокочастотные колебания в жидкости, приводящие к ее распылению. Акустическое распыление имеет широкое применение в различных областях, включая фармацевтику,

пищевую и химическую промышленности, а также сельское хозяйство. Эта технология позволяет достичь равномерного и эффективного покрытия поверхности жидкостью, что делает ее незаменимой для процессов нанесения лаков, покраски и нанесения антисептиков. Однако этот метод имеет свои недостатки: высокая стоимость оборудования, сложность настройки и поддержания необходимых параметров процесса. По этим причинам на данный

момент использование данного метода в пожаротушении не представляется возможным.

Наиболее универсальным и простым способом распыления является механическое воздействие на жидкость. Этот способ нашел активное применение

в системах защиты объекта, а именно в автоматических установках пожаротушения. Примером механического распыления, чей принцип действия подобен в использовании конструкции центробежной форсунки, является ороситель (рис. 3).

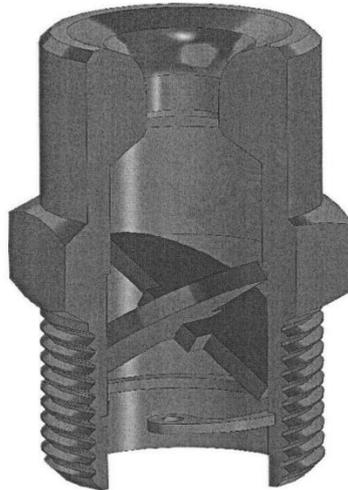


Рис. 3. Ороситель центробежный с диаметром выходного отверстия 9 мм

Fig. 3. Centrifugal sprinkler with an outlet diameter of 9 mm

Описание принципа работы центробежной форсунки были подробно рассмотрены в работе [6]. На рисунке 4 представлена центробежная форсунка, устройство которой взято за основу некоторых установок пожаротушения. Центробежная форсунка работает по следующему принципу: огнетушащее вещество поступает в камеру закручивания форсунки через тангенциальные каналы, где она приобретает вращательное движение. Затем огнетушащее

вещество поступает в сопло, где его частицы выходят по прямолинейным траекториям и образуют факел распыла. Угол φ можно выразить как отношение тангенциальной скорости вектора (под углом к оси сопла) к аксиальной скорости.

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{v_t}{v_z} \quad (1)$$

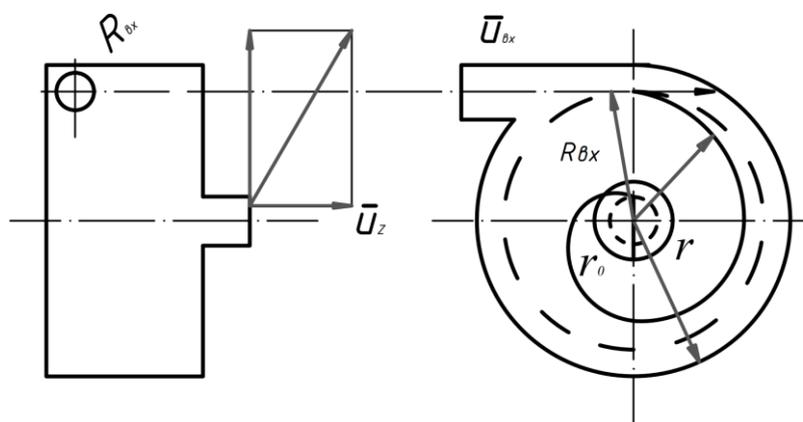


Рис. 4. Принципиальная схема работы центробежной форсунки

Fig. 4. Schematic diagram of the operation of a centrifugal nozzle

Профессор Генрих Наумович Абрамович разработал теорию идеальной центробежной форсунки, где рассматривается поток идеальной жидкости внутри форсунки. Данная теория получила применение в большом количестве инженерно-технических отраслей, в том числе была взята за основу при проектировании и создании реактивных двигателей. С учетом закона сохранения количества движения и отсутствия сил сопротивления возможно определить отношение скоростей на входе и на выходе из камеры форсунки. Тангенциальная составляющая скорости на выходе из камеры может быть выражена соотношением:

$$v_t = \frac{v_{\text{вх}} R_{\text{вх}}}{r}, \quad (2)$$

где r – радиус вращения элемента жидкости на выходе из камеры;

$R_{\text{вх}}$ – радиус вращения во входном сечении.

Полный напор, в соответствии с законом Бернулли, в пренебрежении разностью отметок на входе и выходе (по отношению к осевой плоскости) выявляет экспоненциальное убывание составляющей v_t , когда расстояние от оси увеличивается обратно пропорционально этому расстоянию в соответствии с формулой (2).

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v_z^2}{2g} + \frac{v_r^2}{2g} = \frac{p_{\text{вх}}}{\gamma} + \frac{v_z^2}{2g}, \quad (3)$$

где p , $p_{\text{вх}}$ – избыток давления в рассматриваемых сечениях. Напор одинаков для всех струй при заданных условиях на входе.

Если обратить внимание на выражения (2) и (3), то можно заметить, что жидкость не может заполнить выходное сечение. Если бы это произошло, то скорость на оси стала бы бесконечно положительной, а давление бесконечно отрицательным. Такое явление противоречит физической реальности, поэтому в центре сечения возникает воздушный вихрь с давлением, соответствующим давлению окружающей среды ($p_m = 0$).

Коэффициент живого сечения является показателем заполнения выходного сечения жидкости:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{r_m}{r_0}\right)^2, \quad (4)$$

где r_m – вихревой радиус; r_0 – радиус выходного сечения.

При проведении расчетов эквивалентную скорость можно определить по следующей формуле:

$$v_{\text{э}} = \frac{Q}{\pi r_0^2} = v_z \varepsilon. \quad (5)$$

Из сопоставления выражений (3) и (5) представляется возможным получить эквивалентную и тангенциальную скорости на границе вихря:

$$v_{tm} = \frac{A v_{\text{э}}}{\sqrt{1-\varepsilon}}. \quad (6)$$

Рассматриваемая безразмерная величина определяется через формулу:

$$A = (R_{\text{к}} - r_{\text{вх}}) k_0 / n r_{\text{вх}}^2 \quad (7)$$

Она непосредственно описывает соотношение между тангенциальной скоростью жидкой струи на ее наружном слое и эквивалентной скоростью этой жидкости. Формулы для эквивалентной скорости и для расхода жидкости через форсунку устанавливаются по соотношению:

$$\begin{cases} v_{\text{э}} = \xi \sqrt{2gH} \\ Q = \xi \pi r_0^2 \sqrt{2gH} \end{cases} \quad (8)$$

При этом коэффициент расхода форсунки определяется:

$$\xi = 1 / \sqrt{\frac{1}{\varepsilon^2} + \frac{A^2}{1-\varepsilon}}. \quad (9)$$

Система уравнений (8) позволяет определить условие устойчивости максимального расхода, при заданном напоре. В этом случае $\frac{d\xi}{d\varepsilon} = 0$. Тогда:

$$\begin{cases} A = \frac{1-\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon^3/2}} \\ \xi = \varepsilon \sqrt{\varepsilon/2 - \varepsilon} \end{cases} \quad (10)$$

Среднее значение угла конусности струи жидкости было получено путем подстановки среднего значения тангенциальной скорости в выражение (2):

$$tg\varphi = \frac{v_{\text{ср}}}{v_z} = \frac{(1-\varepsilon)\sqrt{8}}{(1+\sqrt{1-\varepsilon})\sqrt{\varepsilon}}. \quad (11)$$

Исследование работоспособности центробежной форсунки, выполненное Г. Н. Абрамовичем, подтверждает правильность его теории, но упускает из внимания вязкость, однако это необходимо учитывать, так как она может изменить параметры струи и коэффициент расхода форсунки за счет влияния на движение жидкости. Один из авторов, Л. Н. Клячко, учел эти изменения в камере закручивания, вызванные силами трения. Им была введена геометрическая эквивалентная характеристика:

$$A = \frac{A}{1 + \frac{\lambda}{2}(R^2 - r_3^2)}, \quad (12)$$

где $r_3 = \sqrt{f_{\text{вх}}/\pi}$;

$\lambda = \frac{1,05}{Re^{0,3}}$ коэффициент на входном

сечении $Re = \frac{v_{\text{вх}} d_{\text{вх}}}{\nu}$;

$f_{\text{вх}}$ – суммарная площадь входных отверстий;

λ – коэффициент трения.

Благодаря усовершенствованной теории Л. А. Клячко и Г. Н. Абрамовича, которая интегрирует в себе силы трения, возможно описать процессы движения жидкости в центробежных форсунках и оценить ключевые выходные характеристики (объемный расход жидкости, угол распыла) на основе нескольких геометрических свойств конструкции форсунки.

Детально рассмотрев вышеуказанный способ, стоит отметить, что приобретение жидкостью кинетической энергии достигается посредством действия центробежных сил, и в дальнейшем, происходит процесс дробления на капли. Представляется возможным определить средний диаметр капель, ориентируясь на условия равенства действующих на диспергируемую жидкость центробежной силы и силы поверхностного натяжения, из чего следует зависимость:

$$D = \frac{C}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{2R\rho}}, \quad (13)$$

где C – константа;

ρ – плотность ОТВ;

σ – поверхностное натяжение ОТВ;

R – радиус диска;

ω – угловая скорость ОТВ.

В справедливости данной зависимости возможно удостовериться, ориентируясь на множество исследований [7–9], которые проводились при разной угловой скорости вращения от 30 до 1000 с⁻¹, а диаметр получаемых капель варьировался от 0,03 до 4 мм.

Стоит отметить, что для нужд пожаротушения во многих случаях необходимо знать величину Q характеризующую расход огнетушащего вещества:

$$Q = \xi \pi r_0^2 \sqrt{2gH}, \quad (14)$$

где ξ – коэффициент расхода форсунки,

r_0 – радиус выходного сечения;

H – полный напор;

g – ускорение свободного падения.

Получаемый при этом распыл характеризуется высокой монодисперсностью. К преимуществам такого способа распыления стоит отнести возможность диспергирования огнетушащих веществ с высокой вязкостью, а также загрязненных. Тем не менее корректировки, связанные с производительностью распыления устройства, не оказывают существенного влияния на дисперсность жидкости.

В свою очередь, второй способ получения тонкораспыленной воды построен по принципу форсунки прямого действия. Примером данной конструкции, реализующим такой способ получения тонкораспыленной воды, является дренчерный ороситель HI-FOG (рис. 5).

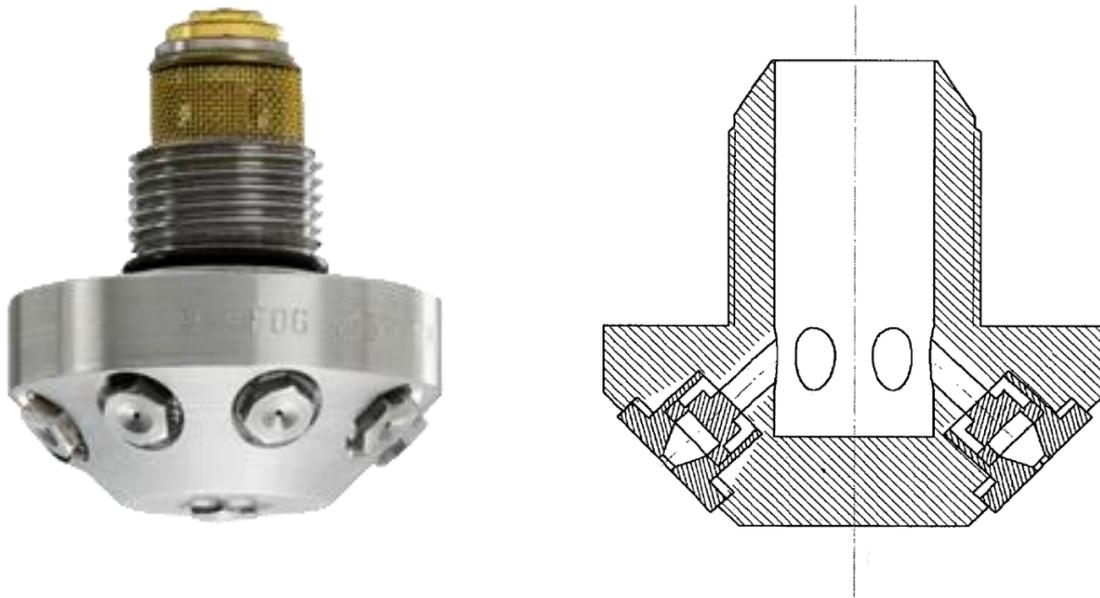


Рис. 5. Дренчерный ороситель с форсунками прямого действия HI-FOG

Fig. 5. Deluge sprinkler with HI-FOG direct nozzles

Основным элементом конструкции является корпус, который представляет собой усеченный конус, на боковой поверхности которого равноудаленно друг от друга расположено 6 форсунок, в корпусе расположен внутренний коллектор. Принцип действия основан на создании высокого давления в корпусе распылителя 8–14 Мпа, под действием которого происходит вытеснение воды через отверстия равные 1–3 мм. Теоретический расход струи жидкости Q представляется возможным вычислить по формуле 15:

$$Q = \mu F \sqrt{2\rho \cdot \Delta p}, \quad (15)$$

где μ – коэффициент, зависящий от режима течения «отрывной/безотрывной» и вида края кромки;

F – площадь струи жидкости в сечении среза сопла форсунки;

ρ – плотность жидкости;

Δp – разница давлений окружающей среды и внутри форсунки.

Конструкция обеспечивает равномерное диспергирование жидкости. Недостатком данного распылителя является то, что энергия, которую необходимо сообщить жидкости, весьма велика, что требует усиленной конструкции и накладывает дополнительные условия на систему подачи жидкости. Также по причине маленького диаметра отверстий форсунок существует вероятность их засорения.

Конструкции, чей принцип действия основан на механизме пневматического диспергирования жидкостей, активно применяются в штатных системах защиты объекта от пожара и на мобильных средствах пожаротушения. С положительной стороны зарекомендовала себя автоцистерна пожарная АЦ-3,0-40 на шасси КАМАЗ 43502, в которой подача диспергированного огнетушащего вещества обеспечивается системой тушения ТРВ HIROMAX (рис. 6).



Рис. 6. АЦ-3,0-40 (43502) с системой тушения ТРВ HIROMAX

Fig. 6. АЦ-3,0-40 (43502) with HIROMAX water mist fire extinguishing system

Метод пневматического распыления основан на динамическом взаимодействии потока жидкости с потоком распыляющего газа, который выходит в канал с большей скоростью (50–300 м/с). Именно разность скоростей потоков посредством силы трения обеспечивает закрепление струи жидкости с одной стороны, тем самым производя вытягивание. Эти струи в местах утончения быстро распадаются и приводят к образованию мелких капель. К достоинствам следует отнести однородное диспергирование, возможность распылять жидкости различной вязкости. Недостатками такого типа устройства являются повышенный расход энергии в срав-

нении с другими способами, необходимость в распыливающем агенте и связанном с ним оборудованием.

Метод импульсного (взрывного) диспергирования является не столь распространенным в области пожаротушения, но все же стоит упомянуть его в связи с перспективностью. Наибольший вклад в разработки данных систем пожаротушения были сделаны профессором Владимиром Дмитриевичем Захматовым и отечественной компанией ООО «Айфэкс Технологии» [11–13]. Наглядным примером механизма получения тонкораспыленной воды вышесказанным методом является распылитель пиротехнической жидкостный (рис. 7) и ранцевая система импульсного пожаротушения (рис. 8).

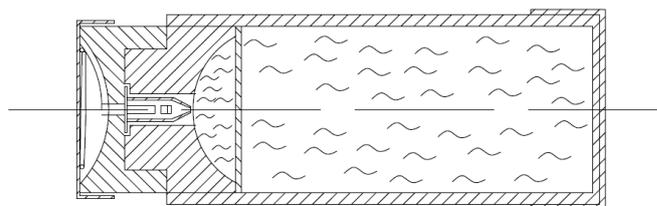


Рис. 7. Распылитель пиротехнической жидкостный

Fig. 7. Liquid pyrotechnic sprayer

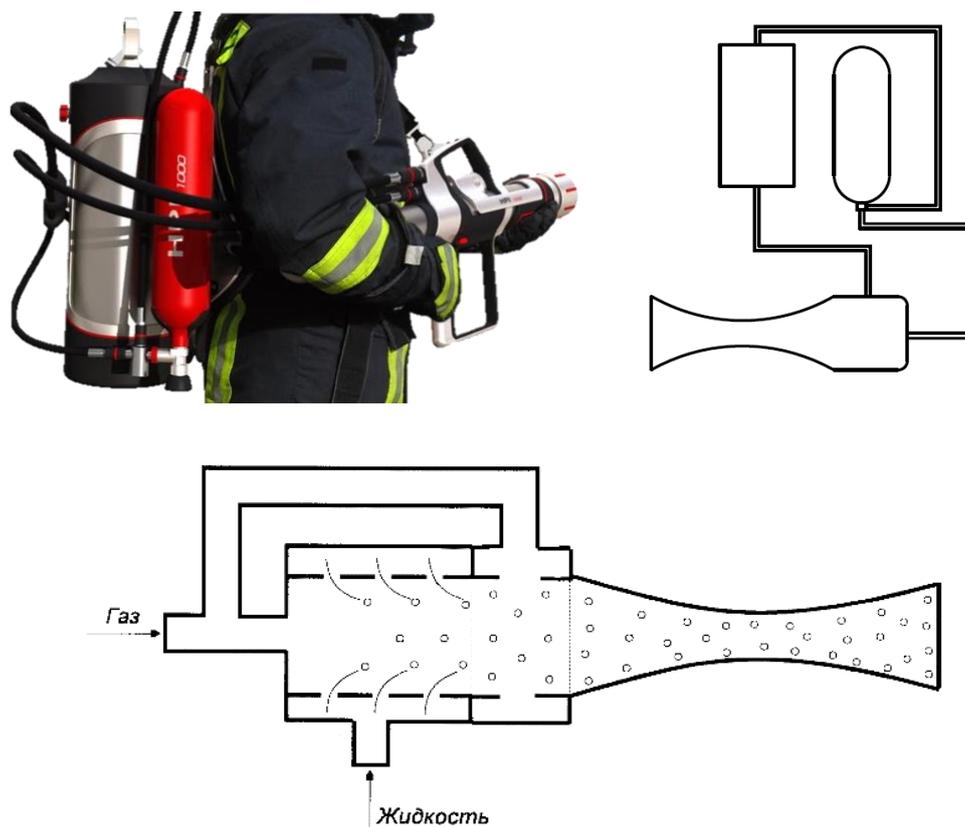


Рис. 8. Система импульсного пожаротушения (сокращенно IFEX)

Fig. 8. Impulse fire extinguishing system (abbreviated as IFEX)

Распылитель приводится в действие посредством высвобождения энергии взрывчатого вещества. В системе происходит резкое повышение давления, газы, полученные в результате взрыва, оказывают импульсное воздействие на огнетушащее вещество. Ударная волна на границе выхода ОТВ с воздухом становится причиной образования кавитационных пузырьков, что является существенным условием для создания мелкодисперсного аэрозоля [16].

При взрыве взрывчатого вещества продукты детонации стремительно расширяются, заставляя воду пройти через сопловое отверстие, освобождая свое пространство. Это вызывает вытеснение кавитационных пузырьков, которые находятся в воде. По мере того как вода выходит, давление снижается, приводя к замедлению прохождения жидкости. Если каждый кавитационный пузырек распределяется

равномерно в объеме жидкости, то каждая единица объема жидкости будет содержать пузырек, наполненный парами. Данные включения появляются в потоке, нарушают его сплошность. Давление в камере влияет на диаметр этих включений. Элементы разрушаются при расширении пара и создают капли жидкости, которые в свою очередь формируют аэрозоль. В результирующем аэрозоле могут находиться различные частицы, такие как микронные, субмикронные и крупные. Крупные частицы могут быть разделены на более мелкие за счет трения воздуха в процессе движения. Обозначим динамическое давление окружающей среды как P_d :

$$P_d = \frac{\rho_0 u^2}{2}, \tag{16}$$

где u – скорость движения капли;
 ρ_0 – плотность среды.

Для определения диаметра частиц результирующего аэрозоля важно учитывать движение потока через выходное сопло и разрушение сплошности потока при помощи лопающихся пузырьков. Кроме того, кавитационные пузырьки имеют аналогичное воздействие на поток, как и пузырьки воздуха при предварительном газонасыщении жидкости.

Стоит отметить, что большие капли аэрозоля, подвергаясь динамическому давлению среды, разрушаются до того, как достигнут минимальный размер капель [6]:

$$D_{min} = \frac{4 \cdot \sigma}{\rho_0 v^2}, \quad (17)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

В гидравлическом приближении скорость истечения пароводяной смеси u находится из соотношения:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_0)}, \quad (18)$$

где ρ – плотность смеси пара и воды.

В соответствии с формулой (18) можно установить, что скорость выхода пара и воды из смеси составляет величину от 150 до 200 м/с. Также, согласно формуле (17), наименьший размер капель составляет 10–15 мкм (для воды).

Тем не менее в аэрозоле, получаемом в рассматриваемой конструкции распылителя, размер капель характеризуется своей неоднородностью 0,03–15 мкм. Разовость применения конструкции – самый большой недостаток, однако, взяв во внимание мобильность, которая позволяет приступить к тушению пожара на его начальной стадии, а также возможность распыления относительно большого количества огнетушащего вещества в очень короткий промежуток времени, позволяют сказать о высокой эффективности таких средств пожаротушения.

Заключение

Рассмотрев детально все известные на сегодняшний день способы диспергирования жидкостей, стоит отметить, что с физической точки зрения каждый из способов имеет весьма различный процесс образования капель. Как следствие, у каждого из способов распыления имеются свои достоинства и недостатки, которые необходимо рассматривать с позиции применяемой области. Для нужд пожаротушения необходимо распылять жидкости в больших объемах, конструкция распылителя должна быть надежной, а затраты на изготовление средства тушения пожара конкурентными. Ориентируясь на данные показатели, способы механического и пневматического распыления, с учетом современных технологий, остаются наиболее оптимальными для тушения пожаров, имеющих большую площадь. Способ импульсного диспергирования показывает высокую эффективность при локализации небольших очагов. Остальные способы распыления на данный момент не нашли широкое применение в области пожаротушения. Теоретическая и практическая базы диспергирования жидкостей активно развиваются. На основании этого открываются новые способы и, как следствие, разрабатываются новые устройства, интеграция которых в пожаротушении может принести положительный эффект. Применение устройств подачи мелкодисперсных капель в пожаротушении имеет положительный опыт и весьма перспективно в связи с повышением процента огнетушащего вещества, которое принимает участие в пожаротушении. Уменьшение количества применяемого ОТВ позволит снизить вес рукавных линий и, как следствие, приступить к тушению пожара на ранней стадии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Виноградов А. Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 4. С. 72–84.
2. Архипов В. А., Шереметьева У. М. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность. Томск, 2007. 136 с.
 3. Шкарабура Г. Н., Захматов В. Д., Щербак Н. В. Импульсная техника многоплановой защиты. Возможности использования на транспорте // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. М., 2010. Вып. 7–8. С. 76–84.
 4. Пажи Д. Г., Корягин А. А., Ламм Э. Л. Распыливающие устройства в химической промышленности. М., 1975. 200 с.
 5. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей // Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М., 1984. 324 с.
 6. Витман Л. А., Кацнельсон Б. Д., Палеев И. И. Распыливание жидкости форсунками. М.; Л., 1962. 264 с.
 7. Бондарюк М. М., Ильяшенко С. М. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели. М., 1958. 440 с.
 8. Дунский В. Ф., Никитин Н. В.. Распыление жидкости вращающимся распылителем при обдуве его воздушным потоком // Инженерно-физический журнал 1983. Т. 44, №3. С. 390-396.
 9. Дунский В. Ф., Южный З. М. Монодисперсные аэрозоли // Аэрозоли в сельском хозяйстве. М., 1956. С. 7–18.
 10. Абрашкин В. Ю. Физические основы теплотехнических измерений. Самара, 2012. С. 34–37.
 11. Захматов, В. Д., Турсенев, С. А., Булатов, В. О. Организация при Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России добровольной пожарной команды быстрого реагирования, оснащенной новыми видами пожарной техники импульсного распыления огнетушащих составов // Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : Материалы Междунар. научн.-практ. конф. Санкт-Петербург, 14 июня 2019 года. СПб., 2019. С. 334–340. EDN BVDUBN.
 12. Захматов, В. Д., Щербак, Н. В. Системы импульсного тушения лесных пожаров // Безопасность в чрезвычайных ситуациях : сб. науч. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 23–25 апреля 2015 года. СПб., 2015. С. 226–232. EDN ZDSJCH.
 13. Захматов, В. Д. Самоуправляемые автоматические системы импульсного пожаротушения и многоплановой защиты // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 6. С. 59–68. EDN PAOITN.
 14. Патент № 2795921 С2 Российская Федерация, МПК А62С 13/20, А62С 19/00, А61Р 17/02. Компактный импульсный распылитель противоожогового агента для тушения горящей одежды на человеке и спасения его от ожогов : № 2021106640 : заявл. 29.09.2020 : опубл. 15.05.2023 / Захматов В. Д., Булатов В. О., Щербак Н. В. EDN LTVTTC.
 15. Патент № 2121390 С1 Российская Федерация, МПК А62С 31/02, А62С 2/00, А62С 3/02. Установка для пожаротушения : № 97107903/12 : заявл. 14.05.1997 : опубл. 10.11.1998 / Зуев Ю. В., Карпышев А. В., Лепешинский И. А. ; заявитель Научно-исследовательский институт низких температур при МАИ (Московском государственном авиационном институте – техническом университете). EDN WXIBOO.
 16. Несветайлов Г. А., Серебряков Е. А. Теория и практика электрогидравлического эффекта. Минск, 1966. 244 с.

REFERENCES

1. Vinogradov A.G. Absorption of thermal radiation by water curtains. Part 2. Fire and explosion safety. 2013; 22(4):72–84. (rus).
2. Arkhipov V.A., Sheremetyeva U.M. Aerosol systems and their impact on life. Tomsk, TPU Publishing House, 2007; 136. (rus).
3. Shkarabura G.N., Zakhmatov V.D., Shcherbak N.V. Impulse technique of multiplan protection. Possibilities of use in transport. Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. Moscow, STC "Informtehnika", 2010;7–8:76–84. (rus).
4. Pages D.G., Koryagin A.A., Lamm E.L. Spray devices in the chemical industry. Moscow, Chemistry, 1975; 200. (rus).
5. Pages D.G., Galustov V.S. Fundamentals of fluid spraying technique. Processes and apparatuses of chemical and petrochemical technology Moscow, Chemistry, 1984; 324. (rus).
6. Vitman L.A., Katsnelson B.D., Paleev I.I. Spraying liquid with nozzles. Moscow, Gosenergoizdat, 1962; 264. (rus).
7. Bondaryuk M.M., Ilyashenko S.M. Direct-flow air-jet engines. Moscow, Oborongnz, 1958; 440. (rus).

8. Dunsky V.F., Nikitin N.V. Spraying liquid with a rotating spray gun when blowing it with an air stream // Engineering and Physics Journal, 1983, 44(3):390–396. (rus).
9. Dunsky V.F., Yuzhny 3.M. Monodisperse aerosols. Aerosols in agriculture. Moscow, Selkhozgiz, 1956; 7–18. (rus).
10. Abrashkin V.Yu. Physical foundations of thermotechnical measurements. Samara. SSAU, 2012; 34–37. (rus).
11. Zakhmatov V.D., Tursenev S.A., Bulatov V.O. Organization of a voluntary rapid response fire brigade at St. Training of personnel in the system of prevention and elimination of consequences of emergency situations: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, June 14, 2019. St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, 2019; 334–340. (rus).
12. Zakhmatov V.D., Shcherbak N.V. Systems of impulse extinguishing of forest fires. Safety in emergency situations: Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, April 23–25, 2015 year. St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great. St. Petersburg, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University", 2015; 226–232. (rus).
13. Zakhmatov V.D. Self-controlled automatic systems of impulse fire extinguishing and multifaceted protection. Fire and explosion safety. 2012; 21(6): 59–68. (rus).
14. Patent No. 2795921 C2 Russian Federation, IPC A62C 13/20, A62C 19/00, A61P 17/02. Compact impulse anti-burn agent sprayer for extinguishing burning clothes on a person and saving him from burns: No. 2021106640: Appl. 09/29/2020 : publ. May 15, 2023 / V. D. Zakhmatov, V. O. Bulatov, N. V. Shcherbak. (rus).
15. Patent No. 2121390 C1 Russian Federation, IPC A62C 31/02, A62C 2/00, A62C 3/02. fire extinguishing installation : No. 97107903/12 : Appl. 05/14/1997: publ. 11/10/1998 / Yu. V. Zuev, A. V. Karpyshev, I. A. Lepeshinsky; applicant Research Institute for Low Temperatures at MAI (Moscow State Aviation Institute - Technical University). (rus.).
16. Nesvetailov G.A., Serebryakov E.A. Theory and practice of electrohydraulic effect. Minsk, Science and technology, 1966; 244. (rus).

Информация об авторах

Двоенко Олег Викторович, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры пожарной техники (в составе учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники), Академия ГПС МЧС России, Россия, 129366, г. Москва, улица Бориса Галушкина, д. 4; SPIN-код: 2013-9651, AuthorID: 772016 e-mail: dvoenko_oleg@mail.ru

Щербаков Николай Александрович, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС России, Россия, 129366, г. Москва, улица Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID 1142294; e-mail: snikolais@bk.ru

Захаров Анатолий Иванович, старший преподаватель кафедры пожарной техники (в составе учебно-научного ком-

Information about the authors

Oleg V. Dvoenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Fire Engineering (as part of the educational and scientific complex of fire and rescue equipment) of State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; SPIN-code: 2013-9651, AuthorID: 772016

Nikolay A Shcherbakov., post graduate student of State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 1142294; e-mail: snikolais@bk.ru

Anatoly I Zakharov, Senior lecturer of the Department of Fire Engineering (as part of the educational and scientific complex of fire and rescue equipment) of State Fire

плекса пожарной и аварийно-спасательной техники), Академия ГПС МЧС России, Россия, 129366, г. Москва, улица Бориса Галушкина, д. 4; SPIN-код: 1432-2824, AuthorID: 1021604

Academy of EMERCOM of Russia, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; SPIN-code: 1432-2824, AuthorID: 1021604