

**Г.В. Котов**

(Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь;  
e-mail: kotovgv@mail.ru)

## **РАСПЫЛИТЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС**

*С участием авторов разработаны распылители, в которых реализуется принцип импульсного истечения струй при одновременной подаче воды и сжатого воздуха. Предложены способы применения таких распылителей для постановки завес.*

*Ключевые слова: распылитель импульсного действия, конструкция, водяная завеса, способ применения.*

**G.V. Kotov**

## **PULSE ACTION SPRAY FOR CREATION OF WATER CURTAIN**

*Sprays utilizing the principle of pulsed jet produced by simultaneous supply of water and compressed air were developed with participation of authors. Sprays application methods for screen setting were proposed.*

*Key words: pulse action spray, construction, water curtain, application method.*

При возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) опасных химических веществ, основным источником поражающего воздействия становится облако зараженного воздуха. Это облако формируется в результате поступления вещества (примеси) в атмосферу либо при испарении с поверхности жидкого пролива, либо непосредственно при истечении газа из повреждённых ёмкостей, трубопроводов, магистралей и т.п.

Распространение облака зараженного воздуха происходит в результате перемещения воздушных масс под действием ветра. При движении примеси в спутном потоке происходит её рассеивание в вертикальном и горизонтальном направлениях, приводящее к падению концентрации по мере удаления от источника выброса. Наиболее опасная обстановка складывается вблизи источника, где концентрация примеси максимальна за счёт её распределения в сравнительно небольшом по размерам потоке.

По статистике, основным способом ведения аварийно-спасательных работ по обеззараживанию распространяющегося облака примеси является постановка водяных завес.

В настоящее время при постановке водяных завес используются самые разнообразные распылители. Следует выделить два подхода к созданию завес. В первом случае используются точечные распылители, как правило, это различные виды насадок, установленных на ручные или лафетные стволы, во втором – рукавные распылители [1].

При использовании *точечного распылителя* создается завеса, форма которой определяется формой струи. С точки зрения эффективности влияния на паровоздушное облако, завеса, создаваемая точечным распылителем, имеет свои преимущества и недостатки. Достоинством такой завесы является достаточно плотный массив движущихся водяных капель, недостатком – малые размеры завесы при сравнительно большом расходе воды. При небольших значениях собственных геометрических параметров завесы её размеры могут значительно уступать размерам фронта распространения облака примеси. В ходе проведенных исследований [2] установлено, что при малой протяжённости завесы может происходить её обтекание потоком примеси, снижающее эффективность проведения аварийно-спасательных работ. Кроме того, большой расход воды может оказаться критическим фактором, определяющим саму возможность применения завесы.

Использование *рукавных распылителей, имеющих множество сопел*, даёт возможность получения линейных завес, длина которых значительно превышает их ширину. При длине завесы порядка 25 м, её протяжённость может обеспечить перекрывание достаточно масштабного фронта распространения примеси. Вместе с тем, рукавный распылитель создает сравнительно разреженный массив движущихся водяных капель, недостаточно эффективный при компактном потоке примеси.

Поэтому существует насущная необходимость разработки принципиально новых распылителей, сочетающих в себе достоинства как точечных, так и рукавных распылителей.

Целью проведённого исследования является разработка распылителя, позволяющего добиться при небольшом расходе воды эффективного воздействия на компактный паровоздушный поток с высокой концентрацией примеси.

Водяная завеса служит препятствием, обеспечивающим, прежде всего, рассеивание опасной примеси за счёт её механического перемешивания с набегающим потоком воздуха [2]. Набегающий воздушный поток, содержащий примесь опасного вещества, достигая завесы, попадает под её воздействие, приводящее к турбулентному перемешиванию примеси с воздухом, снижающему её концентрацию.

Геометрические параметры: высота, длина (ширина) и форма завесы определяют размеры перекрываемого фронта распространения облака. Соответственно, увеличение геометрических размеров завесы будет способствовать росту эффективности её применения. Вместе с тем, следует помнить о том, что работа завесы требует существенного расхода воды.

При постоянном расходе воды рост геометрических размеров завесы будет сопровождаться снижением её эффективности (частицы примеси будут легче проникать сквозь завесу). Количественно оценить эффективность завесы можно с использованием, например, коэффициента, описанного в работе [3]. Избежать падения эффективности завесы при увеличении её геометрических размеров можно двумя способами: во-первых, повысить расход воды; во-вторых, изменить форму и свойства самой завесы.

Таким образом, существуют два способа повышения эффективности воздействия водяной завесы на распространение потока примеси – экстенсивный и интенсивный. Расход воды является *экстенсивным способом* влияния, поскольку изменение параметров завесы достигается за счёт простого наращивания объёма распыляемой воды.

Увеличение расхода, несомненно, позволит повысить коэффициент эффективности завесы, но потребует дополнительного привлечения пожарной аварийно-спасательной техники и подачи большего количества воды, которого может не оказаться в наличии. С учётом того, что чрезвычайные ситуации, связанные с выбросом опасных химических веществ, характеризуются достаточно высокой продолжительностью, потребность в большом расходе воды может оказать существенное влияние на бесперебойную работу завесы.

Естественно, более рациональным представляется *интенсивный способ* повышения эффективности завесы за счёт изменения её собственных параметров, определяемых, прежде всего, конструкцией применяемого распылителя.

Создание необходимого распылителя становится возможным за счёт конструктивных особенностей, обеспечивающих повышение эффективности турбулентного перемешивания набегающего воздушного потока. Интенсивность турбулентного воздействия водяных струй может быть повышена в результате увеличения их кинетической энергии. Энергия истекающих струй растёт с ростом давления в распылителе. Это подтверждено результатами предыдущих исследований, направленных на определение коэффициента регрессии [3]. Соответственно, рост давления в линии повышает коэффициент эффективности завесы, вместе с тем, значительно растёт и расход воды.

Возникшая проблема может быть решена за счёт использования рабочего вещества, поставляющего дополнительную энергию водяным струям. Таким веществом является воздух. Подача сжатого воздуха позволит повысить интенсивность турбулентного перемешивания воздушного потока.

Серия проведённых испытаний различных типов распылителей со сжатым воздухом показала, что существует возможность создания распылителя, отвечающего выдвинутым требованиям, за счёт реализации импульсного истечения струй при неравномерном (периодическом) выпуске воды и воздуха через сопла.

Обеспечение импульсного истечения водяных струй является достаточно сложной технической задачей, для решения которой используются, как правило, устройства, перекрывающие водяной поток. Основным недостатком таких устройств является их сложность, определяемая наличием движущихся частей, и периодичность работы основного источника. Повышение сложности оборудования при применении дополнительных узлов и деталей снижает его надёжность. Периодичность действия снижает эффективность использования устройства подачи воды, поскольку в паузах между импульсами оно, практически, работает вхолостую. В связи с этим существует необходимость создания распылителя импульсного действия, отличающегося простотой конструкции и энергетической эффективностью.

Для решения задачи создания импульсного источника может быть использован принцип, в основе которого лежит применение дополнительного рабочего тела, аккумулирующего энергию источника воды (насоса) и регулирующего процесс истечения струй.

При использовании сжатого воздуха в качестве регулирующего устройства может применяться воздушный ресивер. Сжатый воздух позволяет не только аккумулировать энергию устройства, подающего воду, но и повышать её за счёт энергии компрессора. Использование ресивера, не имеющего движущихся частей, обеспечивает простоту конструкции и, соответственно, её надёжность.

Кроме этого, ресивер может быть совмещен с распылителем, при этом роль ресивера может играть свободный объём распылителя, находящийся выше уровня выпускных отверстий. При такой компоновке распылителя отпадает необходимость усложнения конструкции.

На рис. 1 представлены фотографии, иллюстрирующие работу такого распылителя при подаче воды (рис. 1а) и водо-воздушной смеси (рис. 1б). Хорошо видны отличия струй: свободно истекающей из сопла и смешанной с воздухом. Ширина струи, формирующейся при одновременной подаче воды и воздуха, значительно превышает ширину водяной струи, изображённой на рис. 1а. Длина струи при этом остается прежней. Добиваться этого позволяет дополнительная энергия, сообщаемая водяным струям сжатым воздухом. Особо следует отметить увеличение дисперсности капель, что также способствует росту интенсивности турбулентного воздействия.



*а*

*б*

**Рис. 1.** Истечение водяной струи из распылителя:  
*а* – без подачи воздуха; *б* – при подаче воздуха

Полученные данные свидетельствуют о значительных преимуществах применения пульсирующих струй, по сравнению со струями, равномерно истекающими. Эти преимущества определяются размерами области воздействия и степенью турбулентности потока.

Импульсное истечение струи приводит к интенсивной вибрации распылителя, которая может быть устранена при использовании нескольких сопел в одном распылителе одновременно.

На рис. 2 представлена схема разработанного распылителя импульсного действия, предназначенного для создания водяной завесы, препятствующей распространению опасных химических веществ непосредственно в приземном слое воздуха.

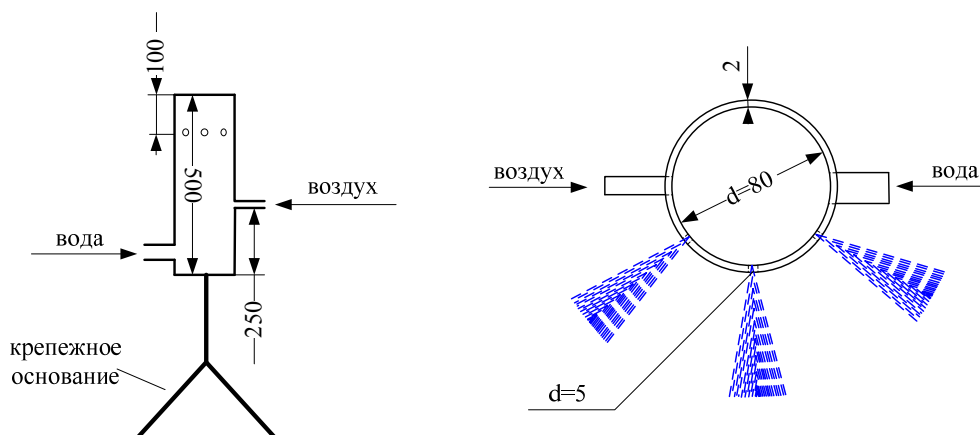


Рис. 2. Распылитель импульсного действия

Распылитель представляет собой цилиндрическую емкость, снабженную патрубками для подвода воды и воздуха, имеющую отверстия для выпуска струй (сопла). К нижнему патрубку распылителя, установленного на подставке, подводится вода от пожарного насоса (пожарного автомобиля) при давлении в линии 0,4-0,8 МПа. Через верхний патрубок от компрессора подается воздух под давлением 0,5-1 МПа. Давление воздуха должно превышать давление в водной магистрали на 0,1-0,2 МПа.

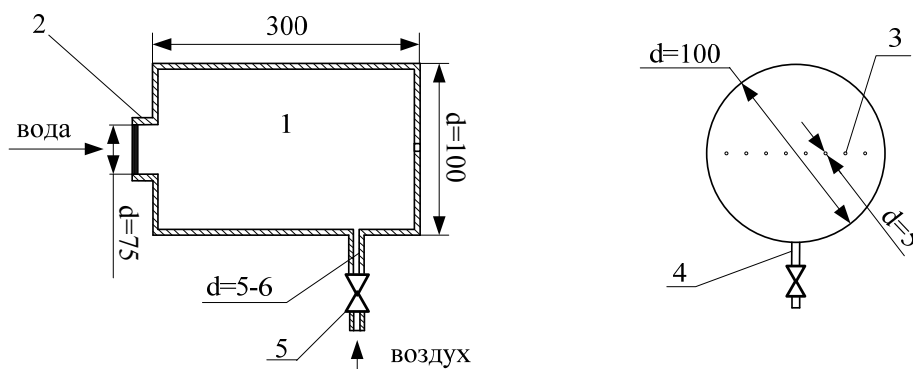
Вода и воздух, перемешиваясь друг с другом, неравномерно выбрасываются через сопла, в результате чего формируются пульсирующие струи. Завеса, создаваемая такими пульсирующими струями, по сравнению с обычной водяной завесой, во-первых, характеризуется значительным увеличением геометрических размеров, что обеспечивает возможность перекрытия фронта распространения опасного вещества большей протяженности, во-вторых, воздействие на поток, содержащий примесь, становится более интенсивным.

Распылитель укрепляется на подставке, обеспечивающей возможность его установки на местности. Высота подставки не менее 0,5 м (0,5-1 м).

Недостатком использования такого распылителя является необходимость его вертикального расположения, в результате чего возможна только горизонтальная ориентация водяных струй. В связи с этим возникла задача разработки мобильного устройства, позволяющего изменять ориентацию водяных струй в целях создания наклонной водяной завесы.

Для решения поставленной задачи разработан распылитель импульсного действия, устанавливаемый на лафетный ствол.

На рис. 3 изображена схема такого распылителя, представляющего собой насадку на лафетный ствол в виде цилиндрической емкости 1, имеющей в одном торцевом конце резьбовую часть 2. Резьбовая часть предназначена для соединения распылителя с лафетным стволом и ввода воды. В другом торцевом конце распылителя имеются отверстия 3 диаметром 5 мм, расположенные вдоль одной линии, перпендикулярной линии подачи воздуха через штуцер 4. На штуцере 4 установлен предохранительный клапан 5, регулирующий подачу воздуха.

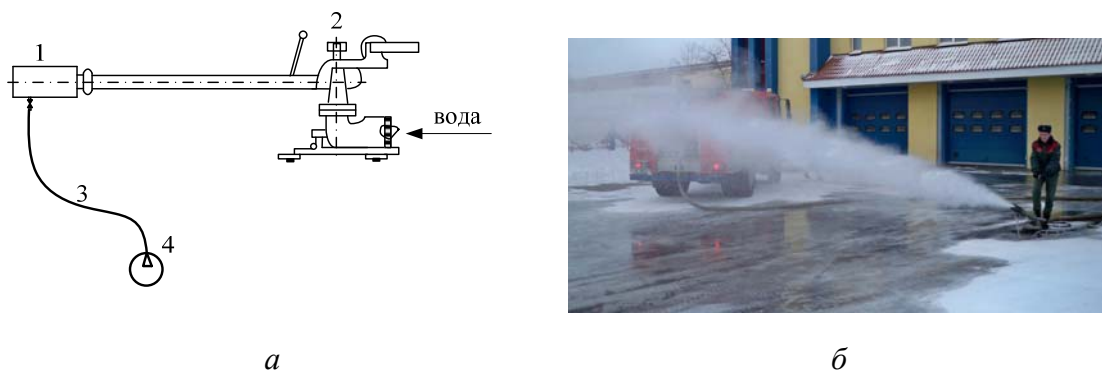


**Рис. 3.** Распылительная насадка на лафетный ствол

Распылитель 1 по сути своей представляет распылительную насадку (рис. 4а), которая с помощью резьбового соединения устанавливается на лафетный ствол 2, к которому подаётся вода по магистральной рукавной линии. Распылитель фиксируется таким образом, чтобы обеспечить горизонтальное расположение ряда выпускных отверстий и нижнее расположение штуцера для подачи воздуха. К штуцеру подачи воздуха через предохранительный клапан, открывающийся в случае, когда давление воздуха превышает давление воды в распылителе на 0,2 МПа, через воздушный рукав 3 подключается компрессор 4. При одновременной подаче воды и воздуха в распылитель происходит их неравномерный выпуск через отверстия, что приводит к возникновению интенсивных пульсаций истекающих струй. Предложенная конструкция не требует оборудования специального ресивера и позволит устанавливать распылитель под различным углом к горизонтальной плоскости.

Конструкция лафетного ствола позволяет создавать водяную завесу с углом поворота: в вертикальной плоскости до 60° вверх и 15° вниз; в горизонтальной плоскости – влево и вправо до 45°.

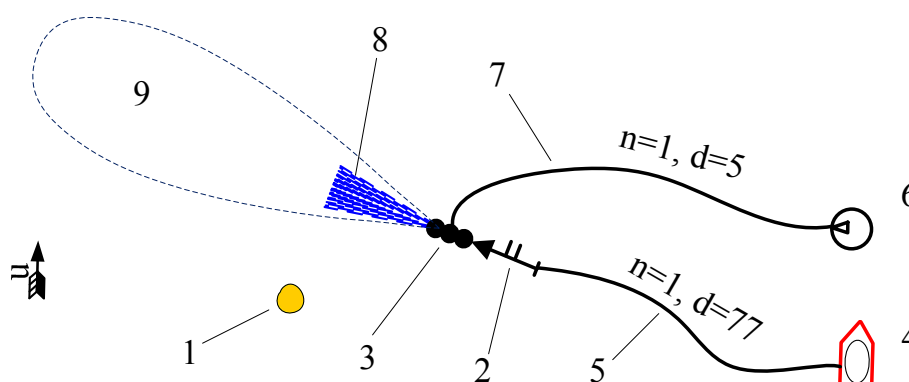
При любом угле наклона распылителя в указанном диапазоне его работа остается устойчивой. Этому способствует нижнее расположение штуцера подвода воздуха, поддерживающее неоднородность водо-воздушной смеси даже при горизонтальном положении распылителя. На рис. 4б представлена иллюстрация работы распылителя импульсного действия.



**Рис. 4.** Применение распылителя:  
*а* – распылитель, установленный на лафетный ствол;  
*б* – распылитель в действии

Достоинством распылителя импульсного действия является то, что он может работать при сравнительно низком давлении воды (порядка 0,2 МПа). Учитывая малый расход воды, данный распылитель может быть подключен непосредственно к гидранту или другому водоисточнику малой мощности.

Разработанные распылители предназначены, прежде всего, для постановки водяных завес в ходе ликвидации последствий выбросов (проливов) опасного химического вещества. На рис. 5 представлена схема, иллюстрирующая пример использования распылителя импульсного действия для постановки завесы в случае пролива опасного вещества. На схеме: 1 – пролив опасного химического вещества; 2 – лафетный ствол; 3 – распылитель; 4 – пожарный автомобиль; 5 – магистральная рукавная линия; 6 – компрессор; 7 – воздушный рукав; 8 – пульсирующие водяные струи; 9 – область действия завесы. Стрелкой указано направление ветра.



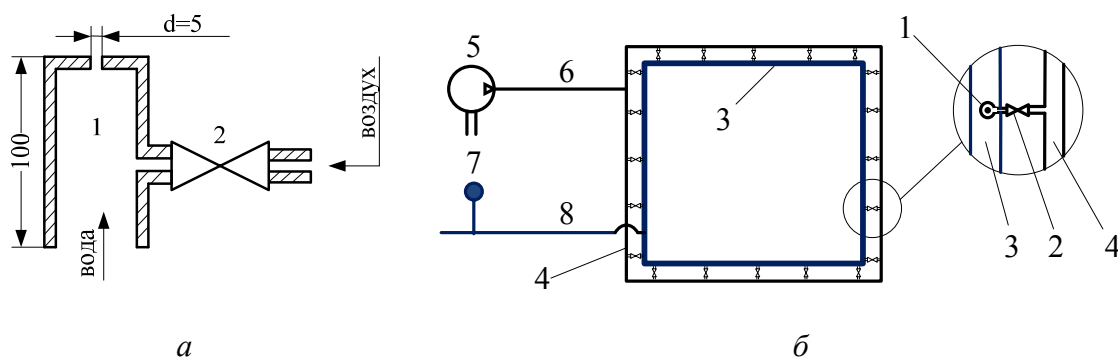
**Рис. 5.** Схема постановки завесы

Лафетный ствол с установленным на него распылителем размещается на местности таким образом, чтобы создаваемая завеса находилась под углом к потоку заражённого воздуха. При таком расположении завесы относительно пролива обеспечивается максимальная эффективность её применения.

Разработанные распылители могут использоваться мобильно или быть стационарно установленными на химически опасных объектах, а также применяться как при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, так и в ходе проведения профилактических противопожарных, противохимических и противоаварийных мероприятий.

Принцип формирования пульсирующих струй может использоваться для создания завесы на опасных объектах хозяйствования при оборудовании стационарных устройств. Схема подобного устройства представлена на рис. 6. Здесь используется точечный источник 1 (рис. 6а), установленный непосредственно на водяной коллектор, соединенный с воздушным коллектором через предохранительный клапан 2. В верхней части распылителя находится сопло 5 диаметром 5 мм. При одновременной подаче воды и воздуха в объём распылителя происходит неравномерный (импульсный) выброс водяных струй из сопла. Распылители устанавливаются по всей длине коллектора с интервалом 0,3-0,6 м (величина интервала определяется с учётом типа опасного вещества, технологических особенностей производства и возможной интенсивности парообразования).

На рис. 6б представлена схема стационарного устройства для создания завесы в целях локализации выброса опасного химического вещества. Здесь распылители 1 установлены на трубчатом водяном коллекторе 3. Через предохранительные клапаны 2 распылители связаны с воздушным коллектором 4. Воздушный коллектор соединяется с компрессором 5 воздушным рукавом 6. Водяной коллектор подключается к водоисточнику, например, гидранту 7 с помощью магистрального трубопровода 8.



**Рис. 6.** Стационарное устройство для ограничения распространения паров опасных химических веществ:

а – распылитель; б – схема подключения

При подаче воды и воздуха в трубчатые коллекторы при превышении давления воздуха над давлением воды порядка 0,2 МПа происходит открывание предохранительного клапана. При истечении струй формируется завеса, обладающая мощным турбулентным воздействием. Высота завесы достигает 5-10 м при давлении воды в магистрали 0,2-1 МПа.



## Выводы

Импульсное истечение струй, создаваемое за счёт одновременной подачи в распылитель воды и сжатого воздуха, позволяет добиться повышения энергии водяных струй, увеличения геометрических размеров факела распыления, повышения интенсивности турбулентного воздействия.

Как результат, интенсивность влияния такой завесы на распространяющийся поток примеси значительно превосходит интенсивность влияния завесы, создаваемой обычными водяными струями. Рост интенсивности определяется одновременным увеличением объёма факела распыления и степени турбулентности потока.

Распылители, обеспечивающие импульсное истечение водяных струй, отличаются простотой конструкции и надёжностью. Водяные завесы, создаваемые с их применением, могут перекрывать достаточно широкий фронт распространения примеси (10 и более метров). Вместе с тем, они могут применяться для рассеивания компактных потоков с высокой концентрацией примеси.

Водяные завесы с импульсным истечением струй могут быть ориентированы в любом направлении, что обеспечивает возможность их целевого применения.

Распылитель импульсного действия может использоваться в качестве точечного источника либо входить в состав устройств, предназначенных для формирования линейных завес. Устройства с распылителями импульсного действия могут использоваться мобильно или быть стационарно установленными на химически опасных объектах. Принцип создания завесы с импульсным истечением струй может быть реализован не только при проведении аварийно-спасательных работ в ходе ликвидации последствий выбросов (проливов) опасных химических веществ, но и в ходе проведения профилактических противопожарных, противохимических и противоаварийных мероприятий.

## Литература

1. **Котов Г.В., Еремин А.П., Тищенко В.Г.** Создание водяных завес с использованием рукавных распылителей // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, 2007, № 2 (6). С. 33-39.

2. **Котов Г.В., Еремин А.П., Тищенко В.Г.** Влияние водяных завес на снижение концентрации аммиака в воздухе // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация, 2007, № 1 (21). С. 114-121.

3. **Котов Г.В., Фисенко С.П., Голуб О.В.** Локальный коэффициент шероховатости поверхности при постановке водяных завес и рассеивание примеси // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, 2011, № 2 (14). С. 19-26.