

А.Д. Булва, Е.Н. Корбут, А.В. Сухвал, Т.А. Панкевич
(Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь;
e-mail: Bulva@list.ru)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫБРОСОВ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

Предлагается метод оценки эффективности применения различных типов распылителей при ликвидации последствий выбросов химически опасных веществ. Приводится сравнительный анализ эффективности применения некоторых типов распылителей.

Ключевые слова: распылитель, водяная завеса, эффективность применения.

A.D. Bulva, E.N. Korbut, A.V. Suhval, T.A. Pankevich **EFFECTIVENESS OF USAGE SPRAYER'S** **IN ELIMINATING THE CONSEQUENCES TO EMISSION** **OF CHEMICALLY HAZARDOUS SUBSTANCES**

Propose a method of evaluating the effectiveness of usage sprayer's different types in eliminating the consequences to emission of chemically hazardous substances. Compared the effectiveness of different types of sprayers.

Key words: sprayer, water curtain, efficacy, involving air emergency.

На сегодняшний день существует несколько критериев для оценки эффективности работы водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) химически опасных и пожаро-, взрывоопасных веществ. Наиболее часто используются коэффициент пропускания завесы [1] и локальный коэффициент шероховатости [3].

Однако приведённые в [1, 2] оценочные показатели отражают лишь эффекты взаимодействия завесы и конкретного типа вещества, но не в полной мере отражают физические свойства непосредственно завесы, а также характер её работы. Оценить эффективность работы того или иного технического средства, с помощью которого формируется завеса, произвести сравнительный анализ различных типов распылителей существующими оценочными методами весьма затруднительно. Например, на коэффициенты, приведённые в [1, 2], значительное влияние оказывают наклон завесы, тип вещества в парогазовом облаке, пространственное положение распылителя, скорость и направление ветра и т.д. Все это не позволяет говорить об универсальности оценочных показателей.

Тем не менее, следует отметить, что в практике применения различных технических средств для создания водяных завес необходимо не только качественно оценивать сам эффект их взаимодействия с опасными примесями в воздухе, но и сравнивать технические и тактические возможности распылителей, производить расчёт их необходимого количества и оценивать максимальный эффект от применения.

При использовании оценочных методов, приведённых в [1, 2], это сделать достаточно сложно, так как необходимо проводить отдельные натурные испытания не только для каждого типа вещества, но и конкретной водяной завесы и из конкретного технического средства. Например, при наличии 10 распылителей и 5 различных типов химически опасных веществ, необходимо получить минимум 50 данных. При этом данные должны быть получены в сравнительно равных условиях, что также сложно достигнуть.

Сложно определить и направления дальнейшего технического совершенства тех или иных средств ликвидации чрезвычайных ситуаций (рукавные распылители, стволы-распылители, насадки и т.д.).

В данной статье мы попытаемся сделать качественную и количественную оценку эффективности работы различных распылителей, предназначенных для ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также предложить метод проведения сравнительного анализа различных технических средств по вовлечению воздуха в объём водяной завесы – механизм, оказывающий наиболее существенное влияние на распространение химически опасных примесей в атмосфере.

Основная часть

При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом пожаро-, взрывоопасных и химически опасных веществ в атмосфере между водяными завесами и облаком опасной примеси происходят сложные физико-химические и теплофизические механизмы взаимодействия, основными из которых являются [3, 4]:

вовлечение и перемешивание воздуха с примесью до безопасных значений концентраций;

отвод опасных паров из приземного слоя атмосферы в более высокие слои, в том числе и в слои, где завеса уже не оказывает существенного влияния на распространяющееся облако опасных веществ;

нагревание холодных паров, в результате которого облако газа, плотность которого при нормальных условиях меньше плотности воздуха, может приобрести положительную плавучесть и начать интенсивно рассеиваться в воздухе в процессе конвективного движения;

абсорбция парогазовой фазы мелкодисперсными каплями воды и химическое взаимодействие воды и веществ из парогазовой фазы (например, аммиак, хлор и др.).

При этом в ряде работ также показано, что основным механизмом при взаимодействии завесы и облака опасной примеси является первый, то есть вовлечение и перемешивание воздуха с последующим разбавлением опасной примеси до безопасных значений концентрации [5, 6]. Остальные механизмы вносят незначительный вклад.

Например, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) аммиака абсорбируется не более 15 % от количества примеси, содержащейся в опасном облаке, не смотря на очень высокую

растворимость аммиака в воде при нормальных условиях [7].

Именно механизм вовлечения и рассеивания опасной примеси рассмотрим более подробно и попытаемся дать количественную оценку вовлекаемого воздуха воздушной струей.

В качестве примера рассмотрим вертикальную струю, выходящую из какого-либо сопла.

Струя увлекает за собой граничащий с ней воздух, и поэтому общая масса газо-воздушной смеси, протекающей через поперечное сечение струи, увеличивается по мере удаления от сопла. При этом струя по мере удаления от сопла расширяется, но одновременно уменьшается её скорость, однако полный импульс струи остается постоянным [8].

Таким образом, для любого сечения струи вполне справедливо можно принять, что напор водяной струи преобразуется с течением времени в напор самой водяной струи (он уменьшается), движение увлеченного воздуха и расходуется на преодоление силы тяжести [9].

Для дальнейшего исследования удобно записать вышеназванные положения не через закон изменения импульса, а через закон сохранения энергии, так как часть импульса струи также расходуется на преодоление сил тяжести:

$$\frac{m_{\text{ж}} \cdot \bar{v}^2}{2} = \frac{m_{\text{ж}} \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_{\text{в}} \cdot \bar{v}_2^2}{2} + (m_{\text{ж}} + m_{\text{в}}) \cdot g \cdot H \quad (1)$$

где:

$m_{\text{ж}}$ – масса жидкости, выходящая из сопла, кг;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

$Q_{\text{ж}}$ – расход жидкости из сопла, м³/с;

$Q_{\text{в}}$ – объём вовлекаемого воздуха в струю, м³/с;

\bar{v} – средняя скорость струи на выходе из сопла, м/с;

v_1 – средняя скорость воды в некотором сечении струи, м/с;

$m_{\text{в}}$ – масса вовлеченного воздуха в струю, кг;

\bar{v}_2 – средняя скорость вовлечения воздуха, м/с.

H – высота сечения струи, м.

Выражение (1) показывает, что начальная кинетическая энергия струи в любой момент времени равна кинетической энергии движения струи, кинетической энергии движения воздуха и потенциальной энергии воды и вовлеченного воздуха. Для упрощения расчётов потерями энергии на теплообмен, а также на другие термодинамические и газо-, гидродинамические эффекты мы пренебрегаем (например, не учитываем эффект абсорбции).

При рассмотрении движения распыленной струи принимаем допущение, что через её любое сечение проходит равное количество жидкости, равное расходу из сопла, а масса вовлеченного воздуха постепенно изменяется, достигая максимального значения в конце струи, когда средняя скорость жидкой фазы

равна нулю.

В момент времени, когда $\bar{v}_1 = 0$, квадрат средней скорости вовлечения воздуха равен:

$$\bar{v}_2^2 = \frac{m_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \bar{v}^2}{m_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} - 2 \cdot \left(\frac{m_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{m_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} + 1 \right) \cdot g \cdot H_{\max} \quad (2)$$

где:

H_{\max} – максимальная высота струи, м.

Найдем отношение $\frac{m_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{m_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}}$ в сечении струи, где $\bar{v}_1 = 0$. При этом полагаем, что весь воздушный поток вовлекается только через поперечное сечение струи (часть сечения струи, занятая жидкой фазой пока учитывать не будем).

Получаем:

$$\frac{m_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{m_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} = \frac{Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \Delta t}{S_{\max} \cdot v_2 \cdot \rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}} \cdot \Delta t} = \frac{Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{S_{\max} \cdot v_2 \cdot \rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} \quad (3)$$

где:

Δt – достаточно малый промежуток времени, с;

S_{\max} – максимальное поперечное сечение струи, м²;

$Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}$ – расход воды из сопла, м³/с;

$\rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

$\rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}$ – плотность воды, кг/м³.

Тогда уравнение (2), учитывая (3), можно переписать в следующем виде (4):

$$\bar{v}_2^2 = \frac{Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{S_{\max} \cdot v_2 \cdot \rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} \cdot \bar{v}^2 - 2 \cdot \left(\frac{Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{S_{\max} \cdot v_2 \cdot \rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} + 1 \right) \cdot g \cdot H_{\max} \quad (4)$$

После преобразования уравнения (4) получаем:

$$\bar{v}_2 \approx \frac{Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{S_{\max} \cdot \rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} \cdot \frac{(\bar{v}^2 - 2 \cdot g \cdot H_{\max})}{2 \cdot g \cdot H_{\max}}$$

Зная скорость вовлечения воздуха в конечный момент времени, объём вовлекаемого воздуха в струю в единицу времени, определим

$$Q_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}} \approx \frac{Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{S_{\max} \cdot \rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} \cdot \frac{(\bar{v}^2 - 2 \cdot g \cdot H_{\max})}{2 \cdot g \cdot H_{\max}} \cdot S_{\max} \approx \frac{Q_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}} \cdot \rho_{\omega\epsilon\grave{a}\grave{a}}}{\rho_{\acute{a}i\grave{c}\grave{a}}} \cdot \frac{(\bar{v}^2 - 2 \cdot g \cdot H_{\max})}{2 \cdot g \cdot H_{\max}} \quad (5)$$

Таким образом, объём вовлекаемого воздуха распыленной струей можно определить из следующих параметров: скорость распыленной струи на выходе из сопла, её максимальная высота и расход воды.

Анализируя зависимость (5), видим, что распределение жидкости по се-

чению распыленной струи не оказывает существенного влияние на объём вовлекаемого воздуха и этим фактором можно пренебречь.

Соотношение (5) не является предельно точным и строгим. Оно получено при ряде допущений, но, тем не менее, позволяет проводить сравнительную оценку эффективности работы различных распылителей, используемых при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом химически и пожаро-, взрывоопасных веществ. В этом случае в формулу (5) вместо расхода, высоты одной струи подставляются соответствующие значения в целом для вертикальной водяной завесы.

Также следует заметить, что соотношение (5) не учитывает влияние скорости ветра, который деформирует геометрические параметры завесы, её профиль и влияет на физические свойства.

Для сравнительной оценки различных распылителей по вовлечению в вертикальную водяную струю воздуха введем такое понятие, как коэффициент эффективности работы завесы, который равен отношению объёма вовлекаемого воздуха к расходу воды из технического средства, то есть:

$$k_{y\acute{o}} = \frac{Q_{\acute{a}i\check{c}a}}{Q} \quad (6)$$

Используя соотношения (5) и (6) произведем сравнительную оценку работы вертикальных завес, которые могут быть получены с помощью рукавных распылителей.

Результаты сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ рукавных распылителей

Тип распылителя	Параметры завесы					
	Объём вовлекаемого воздуха, м ³ /с	Коэффициент эффективности работы, м ³ /л	Давление у сопел, МПа	Расход воды, м ³ /с	Высота завесы, м	Максимальная площадь сечения завесы, м ²
PP (20x0,066x0,5x0,005) 5)	31,5	4,49	0,3	0,007	4,5	160
	64,1	7,13	0,5	0,009	5	180
	102,1	9,28	0,7	0,011	5,5	200
	138,5	11,08	0,9	0,0125	6	230
PP (20x0,066x0,5x0,006) 6)	35,94	4,49	0,3	0,008	5	220
	85,52	7,13	0,5	0,012	6	260
	139,23	9,28	0,7	0,015	6,5	300
	188,32	11,08	0,9	0,017	7	340

Анализируя данные таб.1, можно сделать вывод, что с увеличением давления эффективность работы водяных завес становится выше; расход воды и

диаметр сопел в рукавном распылителе на эффективность вовлечения воздуха влияют незначительно, но позволяют увеличить объемы вовлекаемого воздуха при неизменном коэффициенте эффективности.

Пользуясь вышеизложенными соображениями, оценим объем воздуха, вовлекаемого горизонтальными распыленными струями:

$$\frac{m_{\alpha\epsilon\delta\alpha} \cdot \overline{v^2}}{2} = \frac{m_{\alpha\epsilon\delta\alpha} \cdot \overline{v_1^2}}{2} + \frac{m_{\alpha\iota\zeta\alpha} \cdot \overline{v^2}}{2} + (m_{\alpha\epsilon\delta\alpha} + m_{\alpha\iota\zeta\alpha}) \cdot g \cdot h^{\tilde{n}\alpha^+}_{\max} \quad (7)$$

где:

$h^{\tilde{n}\alpha^+}_{\max} \approx \frac{D}{2} + h$ – максимальная высота сечения струи (рис.1), м;

D – диаметр струи на некотором расстоянии от сопла распылителя, м;

h – высота до нижней части сечения струи, м.

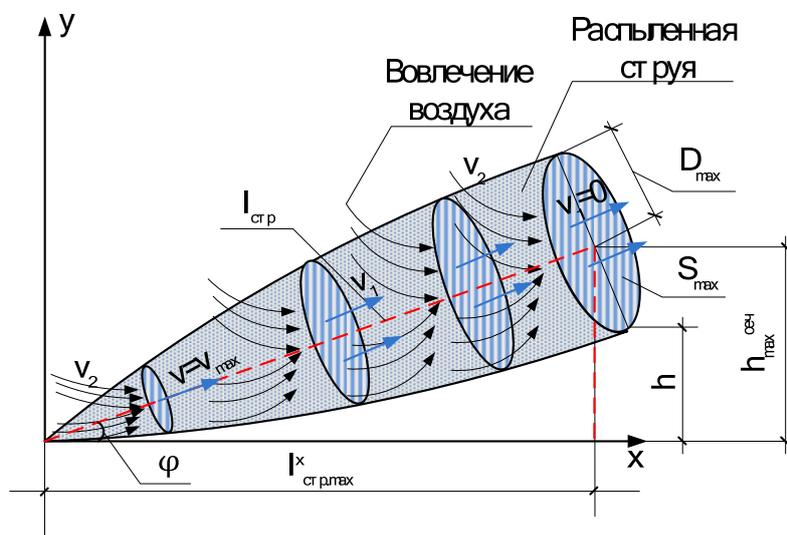


Рисунок 1 – Схема распыленной струи

Если распыленная струя имеет форму, отличающуюся от круглой, то можно воспользоваться эффективным диаметром струи, который определяется по формуле (8):

$$D_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\max}}{\pi}} \quad (8)$$

Тогда средняя скорость вовлечения воздуха горизонтальной струей в конечный момент времени будет равна:

$$\overline{v_2} \approx \frac{Q_{\alpha\epsilon\delta\alpha} \cdot \rho_{\alpha\epsilon\delta\alpha}}{S_{\max} \cdot \rho_{\alpha\iota\zeta\alpha}} \cdot \frac{(\overline{v^2} - 2 \cdot g \cdot h^{\tilde{n}\alpha^+}_{\max})}{2 \cdot g \cdot h^{\tilde{n}\alpha^+}_{\max}} \quad (9)$$

Объем вовлекаемого воздуха определим по формуле (11):

$$Q_2 \approx \frac{Q_{\alpha\epsilon\delta\alpha} \cdot \rho_{\alpha\epsilon\delta\alpha}}{\rho_{\alpha\iota\zeta\alpha}} \cdot \frac{(\overline{v^2} - 2 \cdot g \cdot h^{\tilde{n}\alpha^+}_{\max})}{2 \cdot g \cdot h^{\tilde{n}\alpha^+}_{\max}} \quad (10)$$

Как видно из соотношения (10) на объём вовлекаемого воздуха влияние оказывает высота сечения струи, в т.ч. диаметр струи. При его увеличении объём вовлекаемого воздуха уменьшается, так как влияние начинает оказывать сила тяжести, действующая в сечении распыленной струи.

Оценим объём вовлекаемого воздуха при работе различных распылителей (таб.2). В качестве общего параметра для всех распылителей принят напор, равный 0,6 МПа. Другие параметры приняты из технической документации на насадки (геометрические параметры, давление, расход и т.д.) [10].

Таблица 2 – Сравнительный анализ турбинных распылителей по вовлечению воздуха в распыленную струю

Тип распылителя	Объём вовлекаемого воздуха при горизонтальном расположении распылителя, м ³ /с	Коэффициент эффективности работы распылителя, м ³ /л
НРТ-5	55,4	11,08
НРТ-10	76,2	7,62
НРТ-20	103	5,15

Как видно из приведенных в таблице 2 данных, коэффициент эффективности работы распылителей при увеличении расхода воды (смене распылителя) снижается. При этом максимальный коэффициент эффективности работы имеет насадка НРТ-5.

При изменении угла наклона распылителя относительно горизонта объём вовлекаемого воздуха и коэффициент эффективности завесы снижаются, достигая минимального значения при вертикальном расположении струи.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, когда необходимо осуществлять рассеивание пожаро-, взрывоопасных и химически опасных веществ, наиболее целесообразно использование стволов-распылителей и соответствующих насадок со сравнительно небольшим расходом воды. Эффективность вертикальных водяных завес становится выше с увеличением расхода воды и давлением на выходе из сопла.

Определенный интерес представляет скорость вовлечения воздуха по длине струи. Она не остается неизменной. Рассмотрим движение горизонтальной струи, обратившись к уравнениям (7) и (3). Запишем их в следующем виде:

$$\frac{\overline{v^2} - \overline{v_1^2} - 2 \cdot g \cdot h_{\max}^{\overline{h\dot{a}^+}}}{\left(\overline{v^3} + 2 \cdot g \cdot h_{\max}^{\overline{h\dot{a}^+}} \cdot \overline{v_2}\right)} = \frac{S_{\max} \cdot \rho_{\dot{a}i\dot{c}\ddot{a}}}{Q_{\alpha\dot{e}\ddot{a}} \cdot \rho_{\alpha\dot{e}\ddot{a}}}$$

При этом для распыленной струи можно записать [8, 11]:

$$\overline{v^2} - \overline{v_1^2} = \frac{\overline{v^2} \cdot l}{l_{\dot{h}\ddot{o}\ddot{d}}}$$

$$D = \gamma \cdot l = \frac{D_{\max}}{l_{\tilde{n}\tilde{o}\tilde{d}}} \cdot l$$

$$h_{\max}^{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{z}} = l \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Тогда имеем зависимость (12):

$$\frac{(\overline{v^2} - 2 \cdot g \cdot l_{\tilde{n}\tilde{o}\tilde{d}.\max} \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot Q_{\omega\tilde{e}\tilde{a}} \cdot \rho_{\omega\tilde{e}\tilde{a}}}{S_{\max} \cdot \rho_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{c}\tilde{a}} \cdot l_{\tilde{n}\tilde{o}\tilde{d}.\max}} = \left(\frac{\overline{v^2}}{l} + 2 \cdot g \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \overline{v_2} \right) \quad (12)$$

где:

l – расстояние по оси струи от сопла, м;

$l_{\tilde{n}\tilde{o}\tilde{d}.\max}$ – максимальная длина струи (проекция на горизонтальную ось), м;

φ – угол наклона распылителя, ° (рис.2);

γ – константа струи (зависит от конструкции распылителя).

Исследуем эту зависимость для турбинной насадки НРТ-5. В ходе испытаний водяная завеса была получена при следующих заданных условиях и имела геометрические параметры (рис.2): давление на стволе – $6 \cdot 10^5 \text{ Па}$; максимальная длина струи – $l_{\tilde{n}\tilde{o}\tilde{d}.\max} = 13,5 \text{ м}$; проекция на горизонтальную ось струи – $l_{\tilde{n}\tilde{o}\tilde{d}.\max}^x = 12,5 \text{ м}$; максимальная площадь сечения струи – $S_{\max} = 50 \text{ м}^2$; угол наклона распылителя к горизонту – 24° ; расстояние от земли до центра струи в зоне её максимального расширения – $5,5 \text{ м}$; расход из ствола – 5 л/с ; плотность жидкости – $\rho_{\omega\tilde{e}\tilde{a}} = 1000 \text{ кг/м}^3$; плотность воздуха – $\rho_{\tilde{a}\tilde{i}\tilde{c}\tilde{a}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

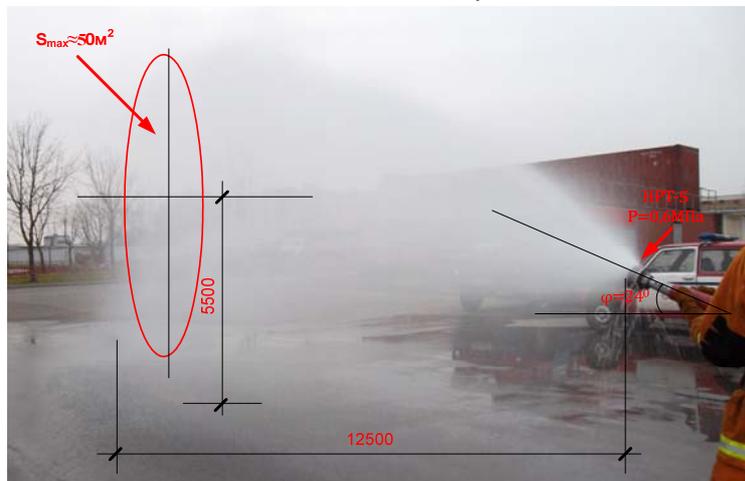


Рисунок 2 – Испытание турбинного насадка НРТ-5

Оценим изменение средней скорости вовлечения воздуха в зависимости от расстояния до сопла по формуле (12). Результаты представим в виде диаграммы (рис.3).

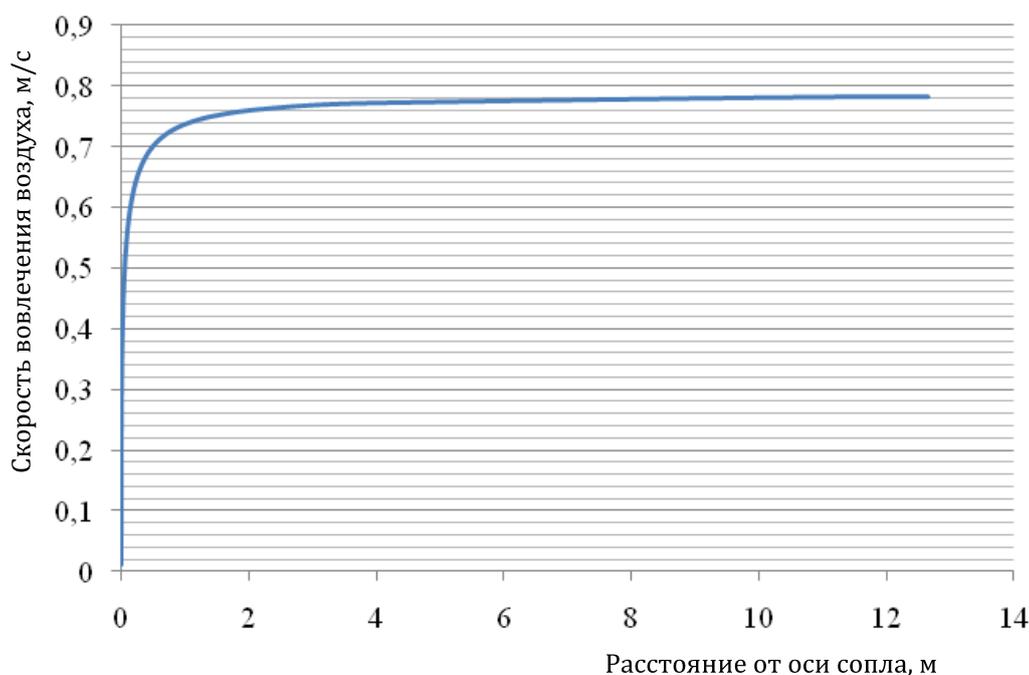


Рисунок 3 – Зависимость изменения средней скорости вовлечения воздуха струей воды из насадки НРТ-5 в зависимости от расстояния до сопла

Как видно из диаграммы (рис.1), средняя скорость вовлечения воздуха, достигая определенного значения, в дальнейшем остается практически неизменной и равной 0,74-0,78 м/с.

Для проверки полученных расчётных значений была измерена скорость вовлечения воздуха на срезе сопла с помощью чашечного анемометра МС-13 (здесь скорость вовлечения наиболее близка к средней). Измеренная скорость вовлечения воздуха на срезе сопла на расстоянии 0,1-0,2 м от сопла составила 1,9-2 м/с, что не согласуется с расчётными значениями (расчётные значения ниже измеренных в 2,5 раза). Расхождения можно объяснить погрешностью измерения прибора и значением максимальной площади струи, не занятой капельной жидкостью (в первом приближении мы приняли, что воздух вовлекается полностью всем сечением струи). Данные, однако, говорят об обратном: дисперсность струи может оказать более существенное влияние на среднюю скорость вовлечения воздуха в струю.

Исследуем, какое влияние оказывает этот параметр на скорость вовлечения воздуха, заменив в формуле (12) параметр S_{\max} на значение $S_{\hat{a}\hat{i}\hat{c}\hat{a}}$:

$$S_{\hat{a}\hat{i}\hat{c}\hat{a}} = S_{\max} \cdot (1 - \beta) \tag{13}$$

где:

β – доля площади сечения распыленной струи, занятая капельной фракцией в конечный момент времени;

$S_{\hat{a}\hat{i}\hat{c}\hat{a}}$ – площадь сечения распыленной струи, занятая воздухом.

Результаты расчёта представим графически, задавшись значениями β от 0

до 0,9 с шагом 0,1 (рис.4). Из графика видно, что средняя скорость вовлечения воздуха в струю тем выше, чем выше доля капельной фракции в струе в конечный момент времени.

Учитывая показания анемометра на срезе сопла насадка, а также погрешность измерений, можно предположить, что доля капельной жидкости в распыленной струе из насадка НРТ-5 в конечный момент времени составляла 0,7-0,8.

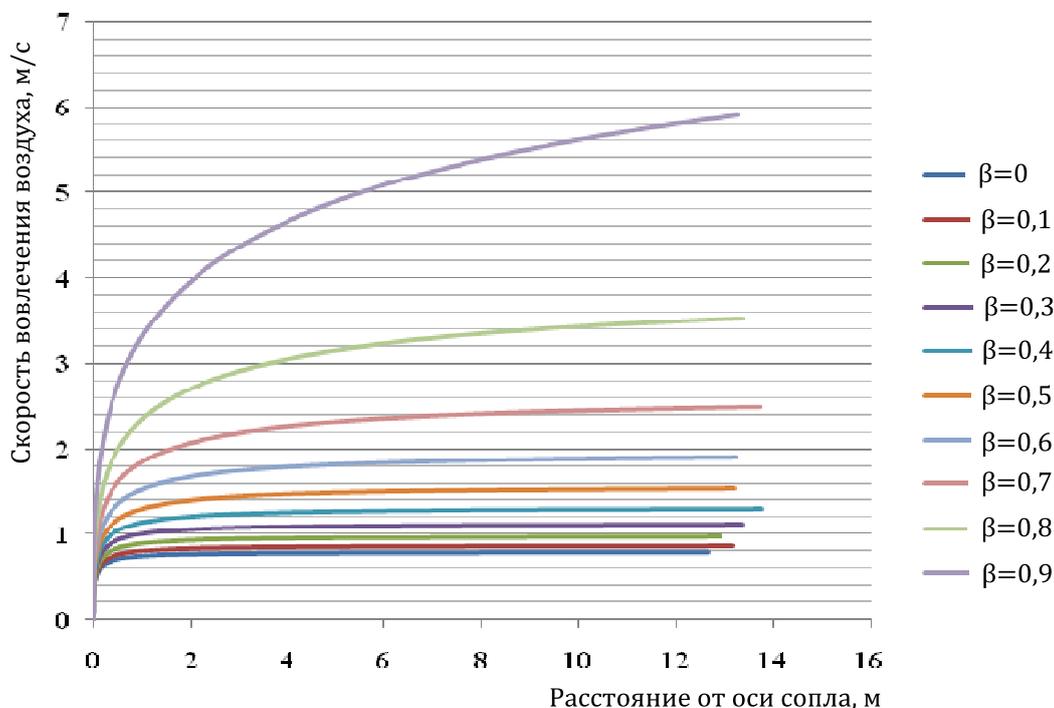


Рисунок 4 – Зависимость изменения средней скорости вовлечения воздуха струей воды из насадка НРТ-5 в зависимости от расстояния до сопла и доли площади сечения распыленной струи, занятой капельной фракцией в конечный момент времени

Сделаем еще одну оценку по определению скорости вовлечения воздуха распыленной струей из НРТ-5.

Если принять, что напор водяной струи преобразуется с течением времени полностью в напор увлеченного воздуха, а доля площади сечения распыленной струи, занятая капельной фракцией в конечный момент времени, составляет 0,75, то скорость вовлечения воздуха будет равна:

$$\rho_{\alpha} \cdot v_{\alpha} \cdot Q_{\alpha} = \rho_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} \cdot S_{\max} \cdot (1 - \beta) \cdot v_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}^2 \quad (14)$$

Тогда,

$$v_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} = \sqrt{\frac{\rho_{\alpha} \cdot v_{\alpha} \cdot Q_{\alpha}}{\rho_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}} \cdot S_{\max} \cdot (1 - \beta)}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 34,64 \cdot 0,005}{1,29 \cdot 50 \cdot (1 - 0,75)}} = 3,27 \text{ м/с} / \tilde{n}$$

Как видим, значение скорости вовлечения воздуха практически совпадает со значением, которое можно определить из рис.4. Немного завышенное расчётное значение связано с тем, что не учтено действие силы тяжести на распыленную струю.

Полученные в работе соотношения позволяют осуществлять оценку эф-

фективности применения технических средств для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом пожаро-, взрывоопасных и химически опасных веществ. В качестве основного критерия принято отношение объёма вовлекаемого водяной завесой воздуха в единицу времени к расходу воды.

Сравнительная оценка различных технических средств, с помощью которых происходит формирование водяных завес, показывает, что наилучшими характеристиками с точки зрения вовлечения и перемешивания воздуха обладают при небольших расходах горизонтальные водяные завесы, при повышенных – вертикальные. При этом изменение давления у сопла влияет на коэффициент эффективности для разных типов водяных завес по-разному: так, коэффициент эффективности вертикальной завесы с увеличением давления также увеличивается, для горизонтальной завесы – он снижается.

Также было замечено, что скорость увлечения воздуха водяной струей остается практически постоянной на протяжении всей длины струи.

Следует сказать, что результаты, полученные в работе, основаны на ряде принятых допущений (не учтены термодинамические, газо-, гидродинамические, эффекты, химическое взаимодействие примеси с водяными струями и др.). Например, показано, что дисперсность струи (вначале мы этот параметр не принимали во внимание) оказывает существенное влияние на скорость вовлечения воздуха – с уменьшением дисперсности струи (ростом коэффициента β) скорость вовлечения воздуха растет и наоборот. Ключевыми параметрами для оценки объёма вовлекаемого воздуха являются высота (длина) распыленной струи, скорость истечения жидкости, расход воды и давление на выходе из сопла, а также положение распылителя.

Не смотря на ряд принятых допущений, полученные расчётные соотношения и результаты расчёта не исключают возможность их практического применения, в том числе и при оценке дисперсности струи, а также расчёте необходимого количества сил и средств для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Литература

1. Котов, Г.В. Натурные испытания по определению эффективности влияния водяных завес на распространение хлора в приземном слое воздуха / Г.В. Котов, О.В. Голуб // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – №1 (29). – С.23-31.
2. Котов, Г.В. Определение коэффициента пропускания водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с проливом аммиака / Г.В. Котов, А.П. Еремин // Оралдын гылым жаршысы=Урал. Науч. Вестн. – 2007. – №2. – С.44-50.
3. Котов, Г.В. Локальный коэффициент шероховатости поверхности при постановке водяных завес и рассеивание примеси / Г.В. Котов, С.П. Фесенко, О.В. Голуб // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2011. – №2(14). – С.19-26.
4. Puttock I.S. A model for gravits-dominated dispersion of dense clouds. Stable stratified flow and dense gas dispersion. Oxford, Clarendon, 1988.
5. Van Doorn M. The Control and Dispersion of Hazardous Gas Clouds with Water Sprays. // PhD Thesis, Delft University of Technology, 1981

6. Zalosh, R.G., Alpert, R.L., Heskeetad G. Dispersal of LNG Vapor Clouds With Water Spray Curtains. // Annual Report. – Phase 1. Factory Mutual Research Corporation, Gas Research Institute. Report №. GRI-80/0107, August 1982.

7. Zalosh, R.G., Alpart, R.L., Heskeetad, G. Dispersal of LNC Vapor Clouds With Water Spray Curtains. // Institution of Chemical Engineers Symposium on Containment and Dispersion of Flammable and Toxic Cases with Water Sprays. Manchester, England, November II, 1985

8. Котов, Г.В. Исследование абсорбции аммиака движущимися водяными каплями из аммиачно-воздушной смеси / Г.В. Котов, А.П. Еремин, С.Ю. Елисеев // Вестн. Команд.-инженер.ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2007. – №1. – С.12-17.

9. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Физматгиз, 1972. – 711 с.

10. Иванов, Е.Н. Противопожарное водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с., ил.

11. Терещнев, В.В. Справочник спасателя-пожарного / В.В. Терещнев, А.С. Артемьев, В.А.Грачев. – М.: Центр пропаганды, 2006. – 528 с.

12. Карпенчук, И.В. Дифференциальные уравнения одномерного осредненного движения распыленной струи жидкости / И.В. Карпенчук, Ю.В. Заневская // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2005. – №7 (17). – С.14-20.

Сведения об авторах:

А.Д.Булва – старший преподаватель кафедры ликвидации чрезвычайных ситуаций ГУО "Командно-инженерный институт" МЧС Республики Беларусь (тел.: +37517-340-35-59; +37529-118-12-18)

Е.Н. Корбут – слушатель практико-ориентированной магистратуры ГУО "Командно-инженерный институт" МЧС Республики Беларусь (+37529-654-43-11)

А.В. Сухвал – ведущий научный сотрудник Научно-практического центра Минского областного управления МЧС Республики Беларусь (тел.: +37517-508-02-29)

Т.А. Панкевич – инженер Научно-практического центра Минского областного управления МЧС Республики Беларусь (тел.: +37529-391-04-73)