

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ,  
Говаленков С.С., науч. сотр., НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ АКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА** (представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Построена математическая модель определения концентрации опасных химических веществ в воздухе при непрерывно действующем источнике выброса этих веществ. Модель позволяет дать оценку опасности, которую представляет выброс опасных химических веществ для личного состава подразделений МЧС, технического персонала предприятия и населения.

**Ключевые слова:** авария, чрезвычайная ситуация, опасные химические вещества.

**Постановка проблемы.** При авариях на объектах, использующих опасные химические вещества (ОХВ), необходимо знать концентрацию этих веществ в месте аварии. Однако на практике эта величина не известна и требует оценки, которая может быть получена, как правило, после прибытия подразделений МЧС к месту ликвидации аварии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Как отмечается в [1,2], использование стохастических моделей для прогнозирования возможного поражения людей – одно из наиболее широко используемых направлений при моделировании аварий и чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с выбросом ОХВ. Учитывая недостатки используемых моделей, методик и методов, в частности, учета среднего значения направления и скорости ветра при прогнозировании развития аварии и ее последствий, в [3] предложена математическая модель диффузии паров ОХВ в воздухе при мгновенной утечке газа, позволяющая оценить вероятность превышения концентрацией выброшенного вещества некоторого критического значения. В [4] проведена оценка вероятности достижения концентрацией вещества критических значений и вероятность превышения величины токсической дозы критического значения при мгновенном выбросе ОХВ. В [5] получена модель определения интенсивности ОХВ в воздухе при его медленном ис-

течения и позволяющая определять необходимые средства защиты для личного состава подразделений МЧС при ликвидации таких аварий.

**Постановка задачи и ее решение.** Из физических соображений ясно, что концентрация ОХВ (в стохастической постановке – математическое ожидание концентрации) в воздухе в любой точке пространства будет представлять собой неубывающую функцию времени, стремящуюся к некоторому конечному пределу (своему для каждой точки пространства [5]). При этом в точках, расположенных ближе к источнику ОХВ предельное значение будет достигнуто раньше.

Для выбросов, длящихся несколько часов, имеет смысл в качестве верхней оценки концентрации ОХВ в воздухе найти предельное значение концентрации при бесконечно долгом выбросе. Такие продолжительные выбросы имеют место в случае аварий на магистральных трубопроводах, когда большое избыточное давление и запас вещества обеспечивают возможность длительного выброса. Примером может служить авария на аммиакопроводе «Тольятти-Одесса», произошедшая в мае 2004 в Днепропетровской области, – ликвидация аварии заняла более 8 часов. Другой пример – разрыв трубы на трубопроводе «Западная Сибирь – Урал – Поволжье», произошедший в Башкортостане в 1989, повлекший утечку жидкого газа, образование и взрыв паровоздушного облака. При этом источником зажигания послужила искра электровоза, проходившего на расстоянии 900-1000 м от места разрыва.

Оценим предельное значение математического ожидания, соответствующее бесконечно продолжающемуся выбросу ОХВ. Учитывая асимптотически линейную зависимость дисперсий  $D_\theta(t)$  и  $D_\rho(t)$  от времени запишем

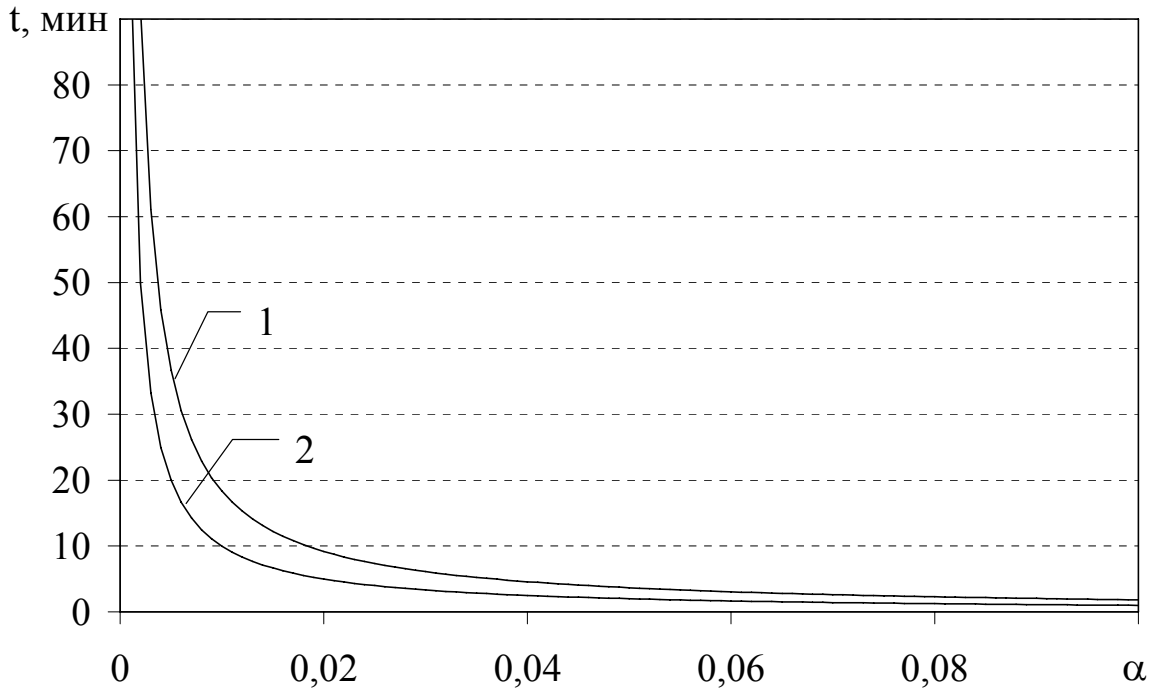
$$D_\theta(t) \approx At, \quad D_\rho(t) \approx Bt, \quad (1)$$

где  $A = 2\sigma_\xi^2 / \alpha_\xi$ ;  $B = 2\sigma_\eta^2 / \alpha_\eta$ .

Аппроксимация (1) дает завышенную оценку дисперсии и, следовательно, вносит погрешность в оценку концентрации. При этом погрешность аппроксимации (1) определяется величинами  $\alpha$  и  $t$ , входящими выражение для дисперсии – рис. 1.

Анализ рисунка 1 показывает, что аппроксимацию (1) имеет смысл проводить для оценки предельной концентрации ОХВ в то-

чках, розположених на такому відстані від місця виброса, щоб характерне час досягнення речовиною цієї точки (т.е. відношення відстані до швидкості вітра) забезпечувало достаточну точність.



**Рис. 1 – Час досягнення заданого рівня погрешності  $\delta = |D(t) - At|/D(t)$  в залежності від параметра  $\alpha$ : 1 –  $\delta = 10\%$ ; 2 –  $\delta = 20\%$**

Учитывая, что коэффициент корреляции  $r_{\theta\rho}(t)$  имеет предельное значение при  $t \rightarrow \infty$ , приближенно запишем

$$r_{\theta\rho}(t) \cong r = \frac{s_{\xi\eta}}{\sigma_{\xi}\sigma_{\eta}} \frac{\sqrt{\alpha_{\xi}\alpha_{\eta}}}{\alpha_{\xi\eta}}. \quad (2)$$

Полагая источник выброса расположенным вблизи поверхности земли, будем считать, что  $z_0 \approx 0$ . Тогда, подставляя (1) и (2) в выражение (7) полученное в [6] и переходя к пределу при  $t \rightarrow \infty$ , получим

$$\bar{\mu}_\infty(x, y, z) = \frac{E}{2\pi^{3/2} \sqrt{a_z AB}} \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{s^3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-r^2}} \times$$

$$\times \exp \left[ -\frac{\left( \frac{x - \bar{v}_x s}{\sqrt{As}} \right)^2 + \left( \frac{y - \bar{v}_y s}{\sqrt{Bs}} \right)^2 - 2r \left( \frac{x - \bar{v}_x s}{\sqrt{As}} \right) \left( \frac{y - \bar{v}_y s}{\sqrt{Bs}} \right)}{2(1-r^2)} \right] \times$$

$$\times \exp \left[ -\left( \frac{z - v_z s}{2\sqrt{a_z s}} \right)^2 \right] ds.$$

В подинтегральном выражении сделаем замену переменных  $t = 1/\sqrt{s}$ . Тогда

$$\bar{\mu}_\infty(x, y, z) = \frac{E}{\pi^{3/2} \sqrt{a_z AB}} \frac{1}{\sqrt{1-r^2}} \times$$

$$\times \int_0^\infty \exp \left[ -\frac{\left( \frac{x - \bar{v}_x/t^2}{\sqrt{A}} t \right)^2 + \left( \frac{y - \bar{v}_y/t^2}{\sqrt{B}} t \right)^2 - 2r \left( \frac{x - \bar{v}_x/t^2}{\sqrt{A}} t \right) \left( \frac{y - \bar{v}_y/t^2}{\sqrt{B}} t \right)}{2(1-r^2)} \right] \times$$

$$\times \exp \left[ -\left( \frac{z - v_z/t^2}{2\sqrt{a_z}} t \right)^2 \right] dt$$

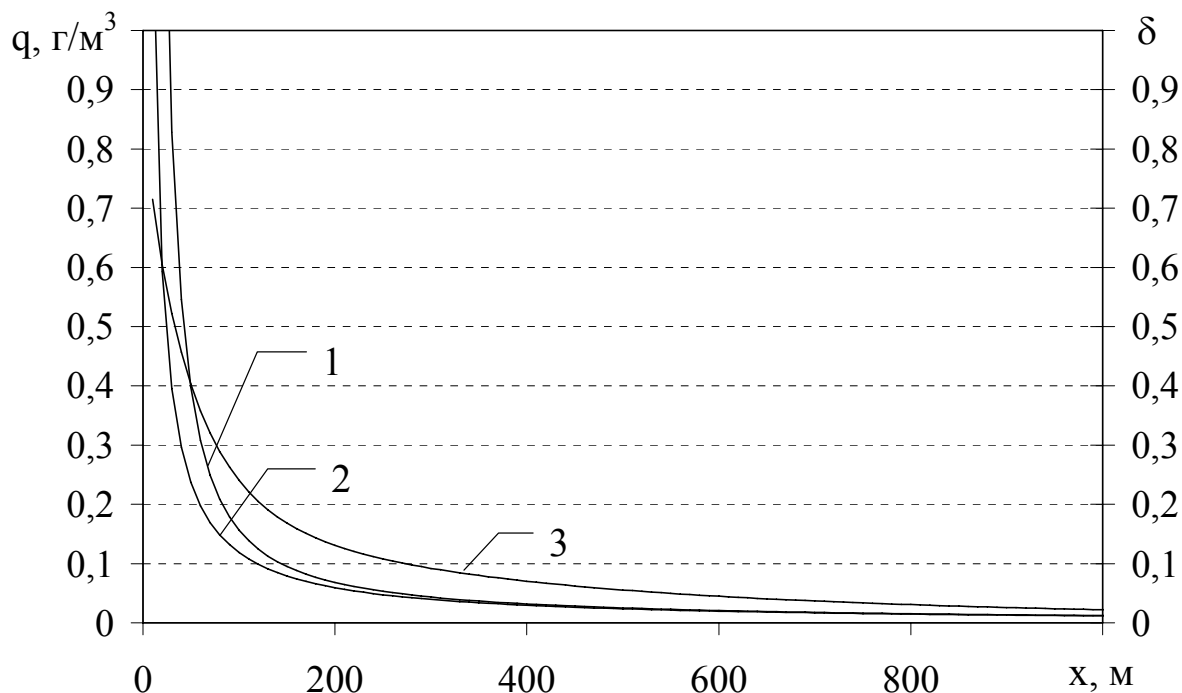
и после преобразований

$$\bar{\mu}_\infty(x, y, z) = \frac{2E\sqrt{1-r^2}}{\pi^{3/2} \sqrt{a_z A_1 B_1}} \times$$

$$\times \int_0^\infty \exp \left[ -\left( \frac{xt^2 - \bar{v}_x}{t\sqrt{A_1}} \right)^2 - \left( \frac{yt^2 - \bar{v}_y}{t\sqrt{B_1}} \right)^2 + 2r \left( \frac{xt^2 - \bar{v}_x}{t\sqrt{A_1}} \right) \left( \frac{yt^2 - \bar{v}_y}{t\sqrt{B_1}} \right) \right] \times$$

$$\times \exp \left[ -\left( \frac{zt^2 - v_z}{2t\sqrt{a_z}} \right)^2 \right] dt, \quad (3)$$

где  $A_1 = 2A(1-r^2)$ ,  $B_1 = 2B(1-r^2)$ .



**Рис. 2 – Изменение концентрации в направлении ветра в зависимости от расстояния до источника ОХВ: 1 – расчет по формуле (7) [6]; 2 – предельная концентрация по (4)-(6); 3 – относительная погрешность  $\delta$  (по правой оси)**

Интегрируя (3) с помощью математического пакета Maple, получим следующее выражение

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_{\infty}(x, y, z) = & \frac{2E\sqrt{1-r^2}}{\pi\sqrt{a_z A_1 B_1}} \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2 - 2rXY + Z^2}} \times \\ & \times \exp\left[\frac{1}{2}\left(XV_x + YV_y - rXV_y - rYV_x + ZV_z - \right. \right. \\ & \left. \left. - \sqrt{X^2 + Y^2 - 2rXY + Z^2} \sqrt{V_x^2 + V_y^2 - 2rV_x V_y + V_z^2}\right)\right], \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$X = \frac{2x}{\sqrt{A_1}} = \frac{x\sqrt{2}}{\sqrt{A(1-r^2)}}; \quad Y = \frac{2y}{\sqrt{B_1}} = \frac{y\sqrt{2}}{\sqrt{B(1-r^2)}}; \quad Z = \frac{z}{\sqrt{a_z}}; \quad (5)$$

$$V_x = \frac{2\bar{v}_x}{\sqrt{A_1}} = \frac{\bar{v}_x \sqrt{2}}{\sqrt{A(1-r^2)}}; V_y = \frac{2\bar{v}_y}{\sqrt{A_1}} = \frac{\bar{v}_y \sqrt{2}}{\sqrt{A(1-r^2)}}; V_z = \frac{v_z}{\sqrt{a_z}}. \quad (6)$$

Выражения (4)-(6), позволяют оценить максимально возможную концентрацию ОХВ в воздухе в точке  $(x, y, z)$  при бесконечно действующем источнике ОХВ заданной интенсивности. В качестве примера на рис. 2 приведено сравнение математических ожиданий концентрации ОХВ через 1 час, вычисленное по формуле (7) полученное в [6], и оценки (4)-(6), где  $\bar{v}_x = 1 \text{ м/с}$ ,  $\bar{v}_y = 0$ ,  $v_z = 0$ ,  $\sigma_\xi^2 = 0,3 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ,  $\sigma_\eta^2 = 0,1 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ,  $a_z = 0,0162 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $E = 0,05 \text{ кг/с}$ .

**Выводы.** При непрерывно действующем источнике выброса ОХВ перед подразделениями МЧС возникает задача ликвидации источника выброса. Это требует непосредственного контакта личного состава с источником выброса и, следовательно, пребывания личного состава в зоне с высокой концентрацией ОХВ. Поэтому возникает необходимость определения средств защиты и зон, в которых может находиться личный состав подразделений МЧС. Для решения такой задачи необходимо знать интенсивность истечения ОХВ с места аварии. Предложенная модель (4)-(6) позволяет дать оценку опасности, которую представляет выброс ОХВ для личного состава подразделений МЧС, технического персонала предприятия и населения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моніторинг надзвичайних ситуацій. / [Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю. та ін.]; під ред. Ю.О. Абрамова. – Х. : АЦЗУ, 2005. – 530 с.
2. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0): Сборник документов. Серия 27. Выпуск 5 / [Колл. авт]. – М. : Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2006. – 252 с.
3. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии паров опасных химических веществ в воздухе. / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2008. – № 8. – С.29-39.

4. Басманов А.Е. Оценка вероятности превышения концентрации вещества в воздухе допустимого значения. / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков, Е.А. Панина // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2008. – № 8. – С. 39-45.
5. Говаленков С.С. Оценка интенсивности истечения опасных химических веществ из источника выброса. / С.С. Говаленков, А.Е. Басманов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2010. – № 11. – С. 39-44.
6. Басманов А.Е. Определение безопасных зон при ликвидации аварии, связанной с выбросом опасных химических веществ. / С.С. Говаленков, А.Е. Басманов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2010. – № 10. – С. 44-51.

Басманов О.Є., Говаленков С.С.

**Оцінка концентрації небезпечних хімічних речовин у повітрі при неперервній активності джерела**

Побудована математична модель визначення концентрації небезпечних хімічних речовин у повітрі при неперервно діючому джерелі викиду цих речовин. Модель дозволяє дати оцінку небезпеки, яку представляє викид небезпечних хімічних речовин для особового складу підрозділів МНС, технічного персоналу підприємства та населення.

**Ключові слова:** аварія, надзвичайна ситуація, небезпечні хімічні речовини

Basmanov A.Ye., Govalenkov S.S.

**The concentration of hazardous chemicals in the air at a continuous activity of the source**

A mathematical model for determining the concentration of hazardous chemicals in the air is continuously acting source of emissions of these substances. The model allows to assess the danger posed by the release of hazardous chemicals for the personnel of MoES departments, technical staff of enterprises and households.

**Key words:** accident, emergency, hazardous chemicals.