

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.О., Росоха В.О. и др.. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Підручник. Вид-во: АЦЗУ м.Харків, 2005. -530с.
2. Брушлинский Н.Н., Глуховенко Ю.М. и др.. Управление безопасностью сложных систем: методология, технологии, опыт // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. -2002. –вып.6. – С.22-47.
3. Вишняков Я.Д. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и антикризисное управление // ВИНТИ. Пробл. безоп. при чрезв. ситуациях. -2004. - №2. – С.38-47.
4. Идентификация и моделирование управляющих систем. /НАН Украины; редкол. И.В. Скрыпник (гл. ред.) и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 147с.

## УДК 614.8

*Шляхов Н.А., канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., ННЦ ХФТИ,  
Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф., УГЗУ,  
Захаренко О.В., нач. сектора, ГУМЧСУ в Днепропетр. обл.*

### **ОЦЕНКА ХАРАКТЕРНЫХ ОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Получены выражения, которые позволяют оценить координаты центра тяжести газоздушного первичного облака, возникающего при разрушении резервуара. Показано, что исходя из полученных значений координат, зная массу облака и тепловоздушную способность химического вещества можно рассчитать величину избыточного давления при его взрыве в зависимости от расстояния до центра облака.

**Постановка проблемы.** Чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при авариях на предприятиях, использующих и перерабатывающих опасные химические вещества, ведут к поражению разной степени тяжести большого количества людей. Такая обстановка зачастую усложняется возникновением дополнительных факторов поражения, связанных с загоранием или взрывом распространяющегося облака химического вещества. Поэтому,

---

Оценка характерных опасных расстояний при ликвидации аварий  
на химических предприятиях

при організації ліквідації аварій, зв'язаних з вибухом або розливом пожежовзривоопасних речовин, необхідно мати інформацію про основні характерні розміри областей можливого зараження людей і виникнення пожежі або вибуху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [1-3] проведені дослідження різної ступеня точності і складності, які дозволяють в принципі розраховувати розміри зон поширення хмар речовин. Нами [4, 5] запропоновані прості моделі, використовуючи які можна розраховувати просторово-часове розподілення концентрації як во вторичному, так і в первинному хмарі. Однак, для визначення зон уражаючого впливу факторів, виникаючих при пожежі або вибуху, недостатньо знання тільки зон з нижнім і верхнім концентраційними межами запалення.

**Постановка задачі і її рішення.** В зв'язі з цим нами проведені додаткові дослідження, які дозволяють визначити координати центру тяжкості первинного хмари в залежності від часу. Розраховані координати центру згідно широко використовуваному в даний час методу розрахунку уражаючих факторів пожежі або вибуху хмари [6, 7] можна використовувати як координати центру вибуху і флегматизаційного горіння.

Згідно [4, 5] для випадку, коли вісь  $Ox$  направлена по напрямку вітру  $V_{\perp} = (V_1, 0)$ , позначаючи  $V_z = V_2$ , вираження для нестационарної турбулентної дифузії можна записати в вигляді

$$\varphi(\vec{r}, t) = \frac{Q_G}{(2\pi)^3} \frac{\pi}{\mu t} \sqrt{\frac{\pi}{\nu t}} \exp(-\sigma t) \exp\left[-\frac{(x - Vt_1)^2}{4\mu t} - \frac{y^2}{4\mu t}\right] \times \\ \times [H_1(z, t) + H_2(z, t)] \quad (1)$$

де позначення збігаються з наведеними в [4, 5].

Визначимо середнє значення  $\overline{x(t)}$ ,  $\overline{y(t)}$ , і  $\overline{z(t)}$  вираженнями

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{Q_G} \int \varphi(\vec{r}, t) x d^3 r, \quad \overline{y(t)} = \frac{1}{Q_G} \int \varphi(\vec{r}, t) y d^3 r, \\ \overline{z(t)} = \frac{1}{Q_G} \int \varphi(\vec{r}, t) z d^3 r. \quad (2)$$

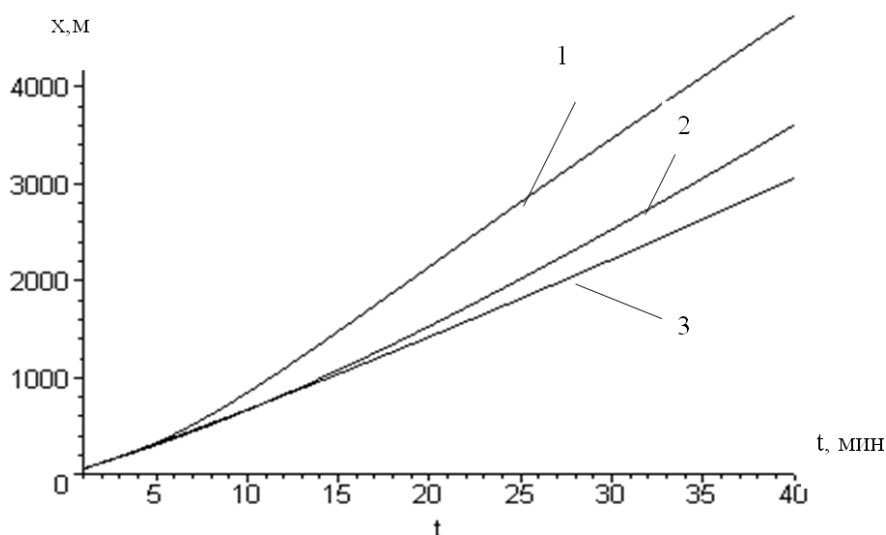
В силу симметрии зависимости  $\varphi(\vec{r}, t)$  от  $y$  немедленно получаем  $\overline{y(t)}=0$ . Значения  $\overline{x(t)}$  и  $\overline{z(t)}$  можно получить путем простого интегрирования и представить в виде

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{2} V_1 t \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\frac{h + V_2 t}{\sqrt{4vt}}\right) - \Phi\left(\frac{h - V_2 t}{\sqrt{4vt}}\right) \right] \right\} \exp(-\sigma t), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \overline{z(t)} = & \left\{ V_2 t + 2\sqrt{\frac{vt}{\pi}} \operatorname{ch} \frac{hV_2}{2v} \exp\left(-\frac{h^2 + V_2^2 t^2}{4vt}\right) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \left[ (h + V_2 t) \Phi\left(\frac{h + V_2 t}{2\sqrt{vt}}\right) + (h - V_2 t) \Phi\left(\frac{h - V_2 t}{2\sqrt{vt}}\right) \right] \right\} \exp(-\sigma t), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\Phi(x)$  – интеграл вероятностей [8].

Из выражения (3) при достаточно больших временах (при  $t \rightarrow \infty$ ), учитывая, что выражение в квадратных скобках в (3) стремится к 2, получаем  $\overline{x(t)} = V_1 t$ . Следовательно, при достаточно больших значениях  $t$  центр тяжести облака перемещается со скоростью ветра вдоль оси  $Ox$ . Чтобы прояснить зависимость  $\overline{x(t)}$  при меньших временах нами были проведены численные расчеты, результаты которых для нескольких вариантов представлены на рис. 1 при  $h=7$ м,  $V_1=120$  м/мин и  $\sigma=0$ .

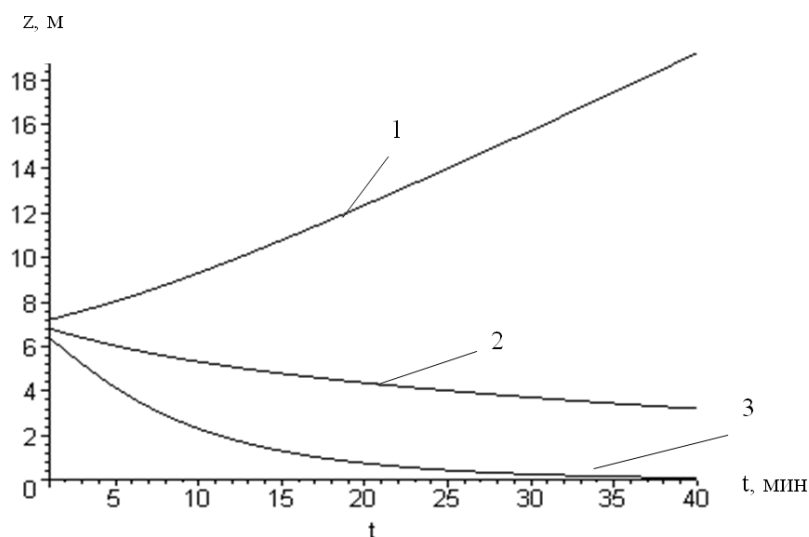


**Рис. 1 – Зависимость  $\overline{x(t)}$  от времени: кривая 1- расчет при  $V_2=0,6$  м/мин,  $\mu = \nu = 0,972\text{м}^2/\text{мин}$ ; кривая 2 – при  $V_2= 0,2$  м/мин,  $\mu = \nu = 0,972\text{м}^2/\text{мин}$ ; кривая 3- при  $V_2= 0,2$  м/мин,  $\mu = \nu = 6\text{м}^2/\text{мин}$**

Такая зависимость  $\bar{x}(t)$  полностью соответствует картине, которая была получена в работе [1] путем достаточно сложных рассуждений и выкладок с использованием различных безразмерных параметров. В частности, в [1] показано, что при относительно малых значениях  $t$  величина  $\bar{x}(t) = \tilde{V}t$ , где  $\tilde{V} < V_1$ , а значение  $\tilde{V}$  зависит от  $V_1$  и постоянной Кармана.

Таким образом, нами для  $\bar{x}(t)$  получено простое и физически прозрачное выражение. Его смысл состоит в том, что в начальный момент времени на небольших расстояниях от источника, когда турбулентность еще не установилась, скорость центра облака меньше скорости ветра. Однако, начиная с расстояний (а значит и времени  $t$ ), когда турбулентность движения потока становится стационарной, скорость движения центра облака совпадает со скоростью ветра  $V_1$ . Кроме того, наличие множителя  $\exp(-\sigma t)$  приводит к замедлению скорости за счет убывания вещества.

Для среднего значения  $\bar{z}(t)$  выражение (4) более сложное, а его величина не зависит от скорости ветра  $V_1$  и определяется параметром  $\nu$ , высотой источника  $h$  и скоростью  $V_2$ . Примеры расчетов зависимости  $\bar{z}(t)$  от времени  $t$  представлены на рис. 2 при  $h = 7$  м,  $\nu = 0,972$  м<sup>2</sup>/мин.



**Рис. 2 – Зависимость среднего значения  $\bar{z}(t)$  от времени  $t$ : кривые 1, 2 и 3 - расчеты при  $V_2 = 0,2; -0,2$  и  $-0,6$  м/мин**

В отличие от [1] полученная зависимость для  $\bar{z}(t)$  от времени  $t$ , как видно и из рис. 2, существенно зависит от состояния атмосферы. Так, при инверсии и паров с плотностью, большей плотно-

сти воздуха ( $V_2 < 0$ ), зависимость от  $t$  различна при разных значениях  $V_2$ , а  $\bar{z}(t)$  уменьшается со временем. При конверсии и паров с плотностью, меньшей плотности воздуха ( $V_2 > 0$ ), величина  $\bar{z}(t)$  почти линейно возрастает с увеличением  $t$ . При нейтральном состоянии атмосферы значения  $\bar{z}(t)$  определяются только плотностью паров испаряющейся жидкости.

Аналогичным способом можно рассчитать значения  $\overline{x^2(t)}$  и  $\overline{z^2(t)}$  и найти соответствующие дисперсии

$$\sigma_x^2(t) = \overline{x^2(t)} - \overline{x(t)}^2, \quad \sigma_z^2(t) = \overline{z^2(t)} - \overline{z(t)}^2, \quad \sigma_{zh}^2(t) = \overline{[z(t) - h]^2}. \quad (6)$$

Дисперсия  $\sigma_z^2(t)$  вычисляется относительно среднего значения  $\bar{z}(t)$ , а  $\sigma_{zh}^2(t)$  - относительно высоты  $h$  источника выброса. В связи с громоздкостью полученных выражений мы не приводим их явный вид. Однако, можно показать, что при достаточно больших  $t$  ( $t \gg 1$ )

$$\sigma_x^2(t) \approx [2\mu t + V_1^2 t^2 (1 - \exp(-2\sigma t))] \exp(-\sigma t), \quad (7)$$

$$\sigma_z^2(t) \approx \left[ \frac{1}{2} H^2 + h V_2 t \right] \exp(-\sigma t), \quad \sigma_{zh}^2(t) = 2[V_2^2 t^2 + vt] \exp(-\sigma t), \quad (8)$$

где  $H$  - числовой коэффициент.

Из (7) следует, что неопределенность положения центра облака по оси  $Ox$  определяется коэффициентом турбулентной диффузии  $\mu$ , скоростью ветра  $V_1$  и параметром  $\sigma$ . Величина  $\sigma_z^2(t)$  при  $\sigma = 0$  линейно растет со временем, а при нейтральной стратификации атмосферы (при  $V_2 = 0$  и  $\sigma \neq 0$ ) убывает со временем. Значение  $\sigma_{zh}^2(t)$  с возрастанием времени сначала возрастает, а потом убывает до нуля.

Полученное выражение (3) для  $\bar{x}(t)$ , которое определяет дальность нахождения максимума концентрации в первичном облаке от источника выброса, определяется, таким образом, только скоростью ветра  $V_1$  и параметром  $\sigma$ . Указанное значение  $\bar{x}(t)$  устраняет один из главных недостатков методики [9], в которой даль-

ность удаления облака при всех скоростях  $V_1$  значительно превышает величину  $V_1 t$ .

Исходя из рассчитанных значений  $\bar{x}(t)$  и  $\bar{z}(t)$ , можно согласно [7] определить избыточное давление  $\bar{P}$

$$\bar{P} = \frac{P - P_0}{P_0} = 0,285 \frac{\exp(0,52(\ln \bar{R})^2)}{\bar{R}^{0,9}}, \quad (9)$$

где  $\bar{R} = \sqrt{\bar{x}(t)^2 + \bar{z}(t)^2} / R_0$ ,  $R_0 = (m \frac{Q}{P_0})^{1/3}$ ,  $m$  – масса облака,  $Q$  –

удельная теплота взрыва газозвушной смеси.

Простые оценки показывают, что при массе выброшенного метанола от 200 до 300 кг и через 10 мин после образования первичного облака величина  $\bar{R} \geq 1$ . Тогда для избыточного давления на расстоянии 600 м от центра облака получаем 3-4 атмосферы. Учитывая, что на этом расстоянии находится источник выброса, необходимо при ликвидации аварии учитывать возможность поражения взрывной волной.

**Выводы.** Предложенный подход позволяет рассчитывать взрывоопасные зоны при разрушении резервуаров с химическими веществами и распространении первичного облака. Показано, что возникающая ударная волна может быть даже более существенным фактором поражения, чем возможность интоксикации. Поэтому при составлении планов ликвидации аварии необходимо кроме зон заражения определять зоны поражения ударной волной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бызова Н.Л. Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчёты рассеяния примеси. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 280 с.
2. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1975.– 448 с.
3. Берлянд М. Е. Временные методические указания по определению содержания примесей в атмосфере. -Л.: Гидрометеиздат, 1971 – 365с.
4. Захаренко О.В. Созник А.П. Определение зон заражения при разрушении резервуара с метанолом на открытом складе хи-

- мического підприємства // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. праць УЦЗ України. Вип.4.-Харків:Фоліо, 2006.- С.106 – 114.
5. Захаренко О.В. Созник А.П. Распространение вторичного облака заражения при разливе химического вещества из резервуара // Наук.-практ. конф. „Захист населення і території у надзвичайних ситуаціях”.- Харків: УЦЗУ, 2006. - С.25.
  6. Маршалл В. Основные опасности химических производств - М.: Мир, 1989.- 672с.
  7. Количественная оценка риска химических аварий / Под ред. В.М. Колодкина. – Ижевск, 2001. - 226с.
  8. Грандштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений – М. : Гос. издат. физ.-мат. лит-ры, 1962.- 1097с.
  9. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. Затверджена Наказом МНС, Міністерства аграрної політики, Міністерства економіки, Міністерства екології і природних ресурсів від 27.03.2001 року № 73/82/64/122.  
nuczu.edu.ua