

*Созник А.П., д-р физ.-мат. наук, проф.,  
Захаренко О.В., адъюнкт*

*Академия гражданской защиты Украины*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ИЗ РЕЗЕРВУАРА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Предложена модель для расчёта распределения концентраций химических веществ при нестационарных условиях, с учётом ветра и явлений турбулентной диффузии

**Постановка проблемы.** Аварии, пожары на химических предприятиях ликвидируются аварийно-спасательными подразделениями МЧС совместно с сотрудниками предприятий. При разливе или выбросе химического вещества в атмосферу локализацию и ликвидацию последствий такой аварии проводят в условиях следующих опасных факторов: токсического заражения; избыточного давления, которое возникает при возможной вспышке горючего химического вещества; мощного теплового потока в случае возникновения огненного шара [1]. Во всех случаях для безопасной расстановки сил и средств, выбора маршрута следования до места аварии, необходимо знать пространственно-временное распределение концентрации химических веществ, а также размеры зон действия указанных поражающих факторов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Существующие в настоящее время методики [2,3] прогнозирования последствий выброса при авариях на химических объектах и транспорте предлагают очень грубые и приближённые методы расчётов зон возможного химического заражения, которые не учитывают концентрацию химического вещества в зоне заражения, её изменение с течением времени, а также возможность образования взрывопожароопасных смесей. В то же время методы расчётов концентрации, представленные в [4,5], зачастую сложны для проведения оперативных расчётов и требуют значения большого количества трудноопределяемых параметров. Кроме того, собственно характеристики химического вещества используются только для нахождения количества выброшенного вещества или мощности выброса. Само же распространение облака и значения концентраций описывается одинаково для любых химических веществ с помощью либо гауссовских либо дробно-рациональных полуэмпирических функций.

Кроме того, в [2,5] обычно отдельно рассматривают распространение первичного облака, образующегося в результате очень быстрого перехода в атмосферу части химического вещества, и вторичного, которое возникает при длительном выбросе и испарении из разлива. В результате описания концентрации в обоих случаях существенно отличается.

**Постановка задачи и её решение.** Нами рассмотрена модель для расчёта распределения концентраций химических веществ при точечном источнике выброса и нестационарных условиях их распространения в атмосфере. Предлагаемая модель базируется на решении уравнения диффузионного типа [6] для распределения концентрации  $\varphi = \varphi(\vec{r}, t)$ , которое представлено в виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \vec{u} \vec{\nabla} \varphi + \sigma \varphi - \mu \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \varphi - \nu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = Q \delta(\vec{\rho}) \delta(z - z_0) \theta(\tau - t), \quad (1)$$

где  $\vec{u} = (v_x, v_y, v_z)$  - скорость ветра, м/мин,  $\sigma$  - коэффициент, который описывает убывание вещества за счет химических реакций, проходящих в атмосфере,  $\text{мин}^{-1}$ ,  $\mu$  и  $\nu$  - коэффициенты горизонтальной и вертикальной диффузии,  $\text{м}^2/\text{мин}$ ,  $Q$  - мощность источника, кг/мин,  $\delta(\rho)$  - дельта-функция,  $\vec{r} = (x, y, z)$ ,  $\vec{\rho} = (x, y)$ ,  $z_0$  - высота источника выброса, м,  $z$  - высота наблюдения, м, ось  $Oz$  направлена вверх,  $\tau$  - время работы источника, мин,  $t$  - время наблюдения, мин.

Решение уравнения (1), удовлетворяющее начальному условию  $\varphi(\vec{r}, 0) = 0$  и граничным условиям  $\varphi(\vec{r}, t)_{r \rightarrow 0} \rightarrow 0$  и  $\partial \varphi(\vec{r}, t) / \partial z|_{z=0} = 0$ , можно представить в виде

$$\varphi(\vec{r}, t) = t \int_0^1 \Phi(\vec{r}, t(1-u)) du, \quad t < \tau \quad (2)$$

$$\varphi(\vec{r}, t) = \tau \int_0^1 \Phi(\vec{r}, t - \tau u) du, \quad t > \tau \quad (3)$$

а функция источника  $\Phi(\vec{r}, t)$  определяется выражением

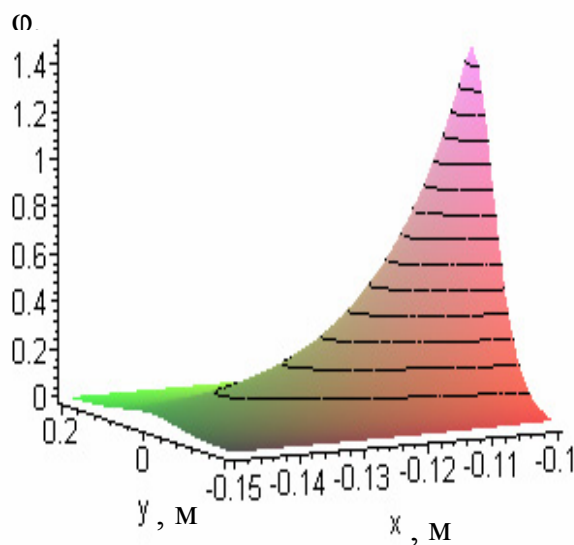
В [2,4] предполагается, что ветер направлен вдоль оси  $Ox$  ( $v$ ), а величина  $v_z$  описывает скорость опускания (поднимания) химических веществ под действием силы тяжести. Выражения (2), (3) учитывают высоту нахождения источника химического вещества, позволяют рассчитывать рас-

пределение концентраций на различных расстояниях от поверхности земли и учитывают время работы источника и время наблюдения.

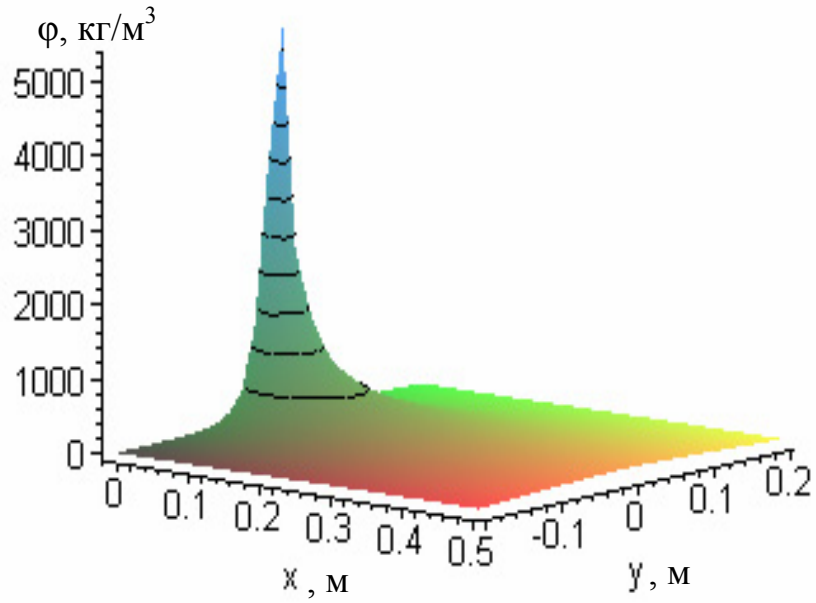
$$\Phi(\vec{r}, t) = \frac{Q}{2(2\pi)^3} \frac{\pi}{\mu} \sqrt{\frac{\pi}{v}} \frac{1}{t^{3/2}} \exp\left[-\sigma t - \frac{y^2 + (x - vt)^2}{4\mu t}\right] \times \{H_1(z) + H_2(z)\} \quad (4)$$

$$H_{1,2}(z) = \exp\left[-\frac{(z \pm z_0 \pm v_z t)^2}{2\mu t}\right]$$

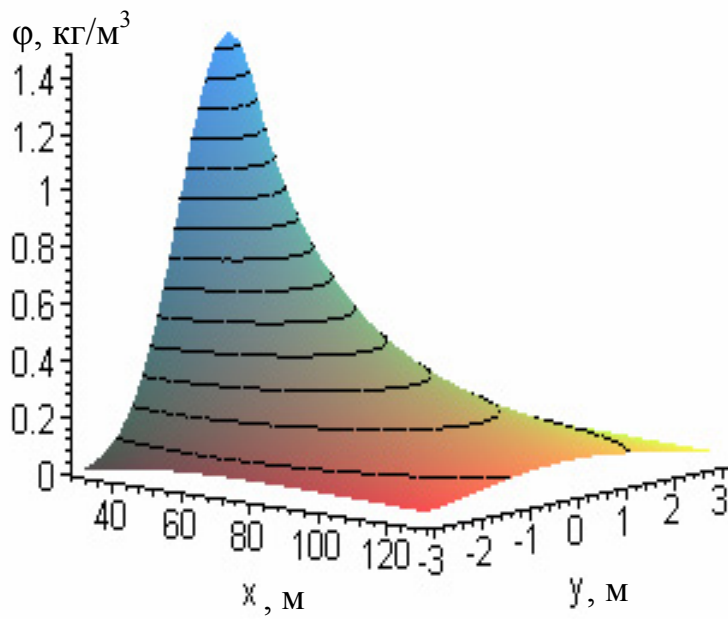
При этом формула (2) описывает ситуацию действующего источника и соответствует распространению вторичного облака в течении времени  $t < \tau$ . Выражение (3) можно использовать для определения концентрации в облаке в момент времени  $t > \tau$ , т.е. для описания распространения первичного облака. Отметим, что значение  $Q$  в обоих случаях можно рассчитать, пользуясь [4,5]. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты наших расчётов распределений концентраций в случае выброса химического вещества с использованием выражений (2), (3) при таких значениях параметров:  $Q = 1500 \text{ кг/мин}$ ,  $\sigma = 1,2 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\mu = v = 2 \text{ м}^2/\text{мин}$ ,  $z_0 = z = 2 \text{ м}$ ,  $V = 120 \text{ м/мин}$ ,  $Vz = 0.6 \text{ м/мин}$ ,  $\tau = 10 \text{ мин}$ ,  $t = 5 \text{ мин}$ ,  $t = 15 \text{ мин}$ .



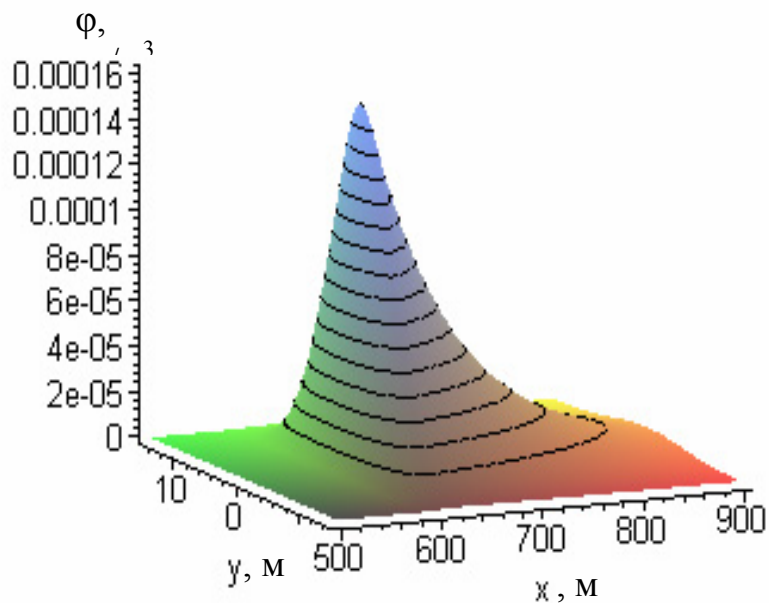
а



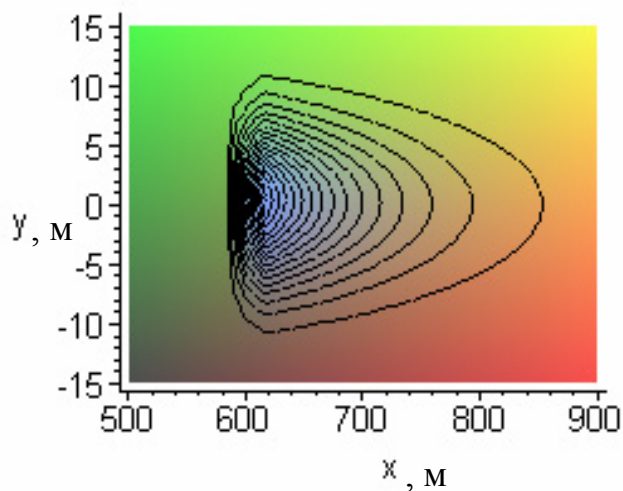
б



в



Г



Д

**Рис. 1 – Пространственное распределение концентрации вещества: а,б,в – через 5 мин после начала выброса при работающем источнике, г,д – через 15 мин после начала выброса вещества из источника (или через 5 мин после окончания работы источника)**

Представим оперативную обстановку в случае выброса химического вещества, который продолжается в течении 10мин.

Первый вариант - подразделения аварийно-спасательной службы прибыли на место через 5 мин. после начала выброса вещества и проводят ликвидацию аварии в условиях продолжающего работать источника. Используя формулу (2) получаем распределение концентрации (рис. 1а, б, в), которое имеет максимум при  $x \approx 0$  и существенно отличные от нуля значения в направлении против ветра. В направлении по ветру на расстояниях от 40м до 120м от работающего источника концентрация убывает (при  $y=0$ ) от  $1,4 \text{ кг/м}^3$  до  $0,1 \text{ кг/м}^3$  (рис. 1в). Облако токсического заражения в плане (на плоскости  $Oxy$ ) имеет форму вытянутого по оси  $ox$  эллипса.

Другой вариант - источник проработал 10 мин. и локализация аварии проводится через 5 мин после его остановки (через 15 мин. после начала работы источника). Применяя выражение (3) находим распределение концентрации химического вещества, которое имеет максимальное значение  $0,00016 \text{ кг/м}^3$  на расстоянии 600 м от источника (рис. 1г). Приведенные на рис. 1д линии равных значений концентрации показывают, что в плане (на плоскости  $Oxy$ ) распространяющееся облако имеет форму близкую к треугольной.

**Выводы.** Выражения (2), (3) позволяют провести расчёт токсического заражения атмосферы пассивными и активными примесями с учётом высоты нахождения источника и высоты наблюдения, а также времени работы источника и времени наблюдения, т.е. как для первичного, так и для вторичного облаков. Значение рассчитанных распределений концентраций позволяет оперативно получить информацию о зоне токсического заражения по известному значению предельно допустимой концентрации. Кроме того, предлагаемый подход даёт возможность найти зоны, в которых концентрация достигает верхнего и нижнего концентрационных пределов воспламенения. В результате, при наличии в этой области источника зажигания можно рассчитать влияние других, отмеченных в начале статьи, опасных факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств-М.: Мир,1989.-672с.
2. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. Затверджена Наказом Міністерства з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Міністерства аграрної політики, Міністерства економіки, Міністерства екології і природних ресурсів від 27.03.2001 р. № 73/82/64/122.

3. Методика прогнозування масштабів зараження сильнодіючими ядовитими речовинами при аваріях (разрушеннях) на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті. Затверджена начальником Гражданської оборони СРСР і головою Госкомгідромета СРСР 23 березня 1990р.
4. 4.Методика оцінки наслідків хімічних аварій (Методика „Токсичність”. Редакція 2.2). Затв. ГУП „НТЦ „Промислова безпека”, 2002
5. 5.Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться в викидах підприємств. ОНД-86
6. Г.І.Марчук. Математичне моделювання в проблемі навколишнього середовища.-М.: Наука, 1982.-320с.

