

5. Мартынюк И.В. О разработке принципов и методов прогнозной оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта, 2006. -№4.-С 52-58.

УДК 504.056

*Шматко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Говаленков С.С., адъюнкт, УГЗУ*

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ ВЫБРОСЕ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Предложен алгоритм построения стохастической математической модели распределения концентраций опасных химических веществ в воздухе, позволяющий реализовать вероятностный подход для прогнозирования распределения концентрации опасных веществ в воздухе

Постановка проблемы. Одним из основных параметров аварий на химически опасных объектах, негативно влияющих на человека, является токсическое воздействие опасных химических веществ (ОХВ). Количественная оценка последствий таких аварий производится на основе определения концентраций и токсической дозы ОХВ [1, 2]. Для решения таких задач используются различные модели и допущения, учитывающие параметры конкретного химического вещества. Однако существующие модели не учитывают влияние случайных параметров, таких как скорость и направление ветра, температура и др. Кроме того, прогноз возможной чрезвычайной ситуации опирается на предсказание направления и скорости ветра, которые являются оценкой среднего направления и скорости ветра. Учитывая этот факт, актуальной является задача построения стохастической математической модели распределения концентраций ОХВ в атмосфере.

Анализ последних исследований и публикаций. В зависимости от метеоусловий, характера и площади пролива, физико-

химических свойств самого ОХВ, поведение облака зависит от плотности ОХВ по отношению к воздуху, концентрации, скорости и направления ветра. Основным поражающим фактором является токсическое воздействие паров ОХВ на человека [3,4]. Для малых высот источника характерно быстрое возрастание концентрации до максимальных значений на малых расстояниях (до 50-60 м) и сравнительно быстрое падение концентрации для больших расстояний (более 100 м.). С увеличением высоты источника уменьшается максимальная концентрация и усиливается асимметрия кривой распределения концентрации в направлении распространения облака [4].

В общем случае токсическое воздействие на человека (эффект поражения) оценивают вероятностью $P_{пор}$ поражения [1,2,5,7,8]

$$P_{пор} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r - 5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (1)$$

где $Pr = a + b \cdot \ln(C_t^n \cdot \tau)$ – пробит-функция, a , b – константы, имеющие конкретные значения для каждого ОХВ (токсиканта), C_t – концентрация токсиканта, (мг/л), n – показатель степени, определяемый экспериментально, τ – время воздействия токсиканта на человека, мин.

Такой подход требует проведения необходимых расчетов для каждого ОХВ отдельно, использования громоздких аналитических моделей, задания стандартных граничных условий (следовательно, не учитываются варьируемые параметры – скорость и направление ветра, температура окружающей среды), необходимых таблиц и поправочных коэффициентов [6,7]. В связи с этим, важной является задача построения математической модели, лишенной указанных недостатков.

Постановка задачи и ее решение. Для построения стохастической математической модели на первом этапе определим алгоритм ее реализации. Концентрация паров жидкостей или газообразных веществ в воздухе описывается уравнением диффузии

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} - v_x \frac{\partial q}{\partial x} - v_y \frac{\partial q}{\partial y}, \quad (2)$$

где $q(x, y, z, t)$ – концентрация вещества, кг/м³; D, D_z – коэффициенты диффузии в горизонтальном и вертикальном направлениях; $\vec{v}(v_x, v_y)$ – вектор, определяющий направление и скорость ветра, м/с.

Начальные и краевые условия определяются видом аварии. Для мгновенной утечки вещества (например, пролив быстроиспаряющейся жидкости, разгерметизация емкости со сжиженным газом) начальное условие примет вид

$$q(x, y, z, 0) = M\delta(x - x_0, y - y_0, z - z_0), \quad (3)$$

где M – масса разлившегося и испарившегося вещества, кг; $\delta(x, y, z)$ – дельта-функция Дирака. Краевое условие описывает непроницаемость поверхности земли для диффундирующего в атмосфере вещества

$$\frac{\partial q}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

При медленном испарении с поверхности жидкости (т.е. когда испарение нельзя считать мгновенным) начальное условие описывает отсутствие опасного вещества в воздухе до аварии

$$q(x, y, z, 0) = 0. \quad (5)$$

а краевое условие имеет вид

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \begin{cases} E, & (x, y) \in S, \\ 0, & (x, y) \notin S, \end{cases} \quad (6)$$

где S – область пролива; E – интенсивность испарения, кг/м²с.

В настоящее время используются методы прогнозирования распределения концентрации опасных веществ в воздухе, основанные на решении уравнения (1) с начальными и краевыми условиями (2)-(3) или (4)-(5) известны [8]. При этом предполагается, что направление и скорость ветра остаются постоянными. Однако и направление, и скорость ветра меняются со временем, особенно если продолжительность прогнозируемого интервала состав-

Алгоритм построения стохастической модели определения полей концентраций при выбросе опасных химических веществ

влялет несколько часов. Кроме того, прогноз опирается на предсказание направления и скорости ветра, которые являются оценкой среднего направления и скорости ветра.

Таким образом, скорость и направление ветра являются случайными. Поэтому для их описания используем теорию случайных функций, полагая, что компоненты вектора $\vec{v} = (v_x, v_y)$ описываются случайными процессами

$$\begin{aligned}v_x(x, y, z, t) &= \xi(x, y, z, t), \\v_y(x, y, z, t) &= \eta(x, y, z, t),\end{aligned}$$

где $\xi(x, y, z, t)$, $\eta(x, y, z, t)$ – стационарные случайные процессы с математическими ожиданиями \bar{v}_x , \bar{v}_y . Здесь стационарность понимается как во времени, так и в пространстве, т.е. математические ожидания и дисперсии не зависят от времени и координат. Корреляция между значениями скорости $\xi(x_1, y_1, z_1, t_1)$ и $\xi(x_2, y_2, z_2, t_2)$ в точках (x_1, y_1, z_1) и (x_2, y_2, z_2) рассматриваемой области пространства зависит от расстояния между этими точками

$$r = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

и временного промежутка $\tau = |t_1 - t_2|$. Тогда корреляционные функции случайных процессов ξ и η , а также их взаимная корреляционная функция, будут функциями, зависящими от r и τ

$$K_\xi = K_\xi(r, \tau), \quad K_\eta = K_\eta(r, \tau), \quad K_{\xi\eta} = K_{\xi\eta}(r, \tau).$$

Определим алгоритм построения стохастической модели распределения концентраций ОХВ в атмосфере.

1. Будем рассматривать корреляционные функции в виде

$$K_\xi(r, \tau) = \sigma_\xi^2 \exp(-\alpha_\xi |\tau| - \beta_\xi r), \quad (7)$$

$$K_\eta(r, \tau) = \sigma_\eta^2 \exp(-\alpha_\eta |\tau| - \beta_\eta r), \quad (8)$$

$$K_{\xi\eta}(r, \tau) = s_{\xi\eta} \exp(-\alpha_{\xi\eta} |\tau| - \beta_{\xi\eta} r), \quad (9)$$

где $\sigma_\xi^2, \sigma_\eta^2$ – дисперсии случайных процессов ξ и η ; $\alpha_\xi, \beta_\xi, \alpha_\eta, \beta_\eta, \alpha_{\xi\eta}, \beta_{\xi\eta}, s_{\xi\eta}$ – параметры.

Из других типичных корреляционных функций отметим также функции вида $\sigma^2 e^{-\alpha|t|} \cos \beta t, \sigma^2 e^{-\alpha t^2}, \sigma^2 e^{-\alpha t^2} \cos \beta t$ [9]. Мы используем именно функцию (6)-(8), так как наличие множителя $\cos \beta t$ с физической точки зрения означает наличие периодических колебаний в системе, а в случае с ветром таких предпосылок нет. Основное отличие между функциями $\sigma^2 e^{-\alpha|t|}$ и $\sigma^2 e^{-\alpha t^2}$ состоит в недифференцируемости первой в точке 0 (а, следовательно, и недифференцируемости всего случайного процесса $\xi(t)$) и дифференцируемости второй из них. Поскольку дифференцируемость процесса для нас несущественна, то используем более простые функции (6)-(8).

2. Экспериментальное определение параметров корреляционных функций.

По определению, корреляционная функция случайного процесса характеризует силу корреляционной связи между моментами времени, отстоящими друг от друга на τ и точками пространства, отстоящими друг от друга на r

$$K_\xi(r, \tau) = M[\xi(X_0, t_0) - a][\xi(X_1, t_0 + \tau) - a], \quad a = M\xi(t),$$

где расстояние между точками X_0 и X_1 равно r .

Корреляционная функция может быть оценена экспериментальным путем. Если наблюдения за процессом проводить в дискретные моменты времени $0, \Delta t, \dots, n\Delta t$, то оценка корреляционной функции имеет вид

$$\hat{K}(m\Delta t) = \frac{1}{n-m} \sum_{j=0}^{n-m} [x(j\Delta t) - \bar{x}][x((j+m)\Delta t) - \bar{x}].$$

Для экспериментального определения корреляционной функции проводятся наблюдения скорости и направления ветра в одинаковые моменты времени $0, \Delta t, \dots, n\Delta t$ в нескольких точках, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.

После проведения наблюдений параметры аппроксимирующих функций (6)-(8) подбираются так, чтобы минимизировать су-

мму квадратов отклонений от экспериментальных точек. По результатам экспериментов выдвигаем и проверяем гипотезу о, например, нормальном распределении случайных процессов ξ и η .

3. Имитационное моделирование процесса диффузии ОХВ в воздухе.

Генерируем случайные величины ξ и η с заданным распределением и корреляционной функцией построенной выше. Численно решая уравнение диффузии (1) с соответствующими краевыми условиями, получим одну из возможных реализаций распределения концентраций.

Проведя серию численных экспериментов, получим N реализаций. По этой реализации можно:

- оценить вероятность того, что в заданной точке пространства к заданному моменту времени будет достигнута критическая концентрация ОХВ

$$p(x, y, z, t) = \frac{N_{кр}(x, y, z, t)}{N},$$

где $N_{кр}(x, y, z, t)$ – количество реализаций, в которых в точке (x, y, z) к моменту времени t достигнута критическая концентрация;

- выдвинуть и проверить гипотезу о нормальном распределении концентраций.

Если гипотеза о нормальном (или каком-нибудь другом) распределении подтвердится, то из уравнения диффузии можно будет найти параметры этого распределения (математическое ожидание и дисперсию).

Выводы. Предложен алгоритм построения стохастической математической модели распределения концентраций ОХВ в атмосфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоецкий В.Ф. та ін. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. Тернопіль: Видавництво Астон, 2005. – 408 с.

2. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000.– 482 с.
3. Маршалл В. Основные опасности химических производств. - М.: Мир, 1989. – 672 с.
4. Захаренко О.В., Созник А.П. Оперативный расчёт зон заражения при авариях на химических предприятиях // Международная науч.–практическая конференция „Чрезвычайные ситуации. Теория. Практика. Инновации. ЧС-2006”. – Гомель: ГИИ, 2006. – С.225-227.
5. Шматко А.В., Говаленков С.С. Применение пробит-функции для прогнозирования возможного поражения людей при авариях на химически опасных объектах // Проблемы надзвичайних ситуацій. Вип. 6. – Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 154-160.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
7. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси»). – М.: НТЦ «Пром. безопасность», 1993. – 19 с.
8. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0). – М.: НТЦ «Пром. безопасность», 2006. – 250 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1991. – 384 с.