

*Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., УГЗУ,
Говаленков С.С., адъюнкт, УГЗУ,
Панина Е.А., преп., УГЗУ*

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ВЕЩЕСТВА В ВОЗДУХЕ ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕНИЯ

(представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

В статье рассматривается стохастический подход решения задачи по определению вероятности превышения концентрацией химически опасных веществ в воздухе допустимого значения. Источником случайности являются случайные изменения направления и скорости ветра.

Постановка проблемы. При возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) на предприятиях и объектах использующих химически опасные вещества (ХОВ), для оценки превышения их концентрации в воздухе критического (допустимого) значения, определяющего степень поражения людей от токсического воздействия, наибольшее распространение получили численные и вероятностные методы. Такие методы используют модели, имеющие ряд недостатков, обусловленных тем, что коэффициенты моделей являются усредненными, кроме того, при одновременном воздействии нескольких ХОВ, определение вероятности поражения затруднительно. Поэтому необходимо иметь информацию о предполагаемом превышении допустимых значений основных параметров, определяющих критическую концентрацию ХОВ, а следовательно – границы зон поражения людей. Наиболее информативными для решения такой задачи являются стохастические модели определения концентраций ХОВ, в которых источником случайности являются случайные изменения направления и скорости ветра, как оказывающие наибольшее влияние на степень поражения людей от токсического воздействия.

Анализ последних исследований и публикаций. Как отмечается в работах [1-6], использование вероятностных критериев для анализа поражения людей, зданий и оборудования – одно из наиболее перспективных и широко используемых направлений при моделировании ЧС. В то же время эти методы используются, в основном, для прогнозирования поражения людей при авариях

вследствие влияния теплового излучения и ударной волны [1,7]. Учитывая недостатки используемых в методиках методов, в частности, учета среднего значения направления и скорости ветра при прогнозировании развития ЧС и ее последствий, в [8] предложена математическая модель диффузии паров ОХВ в воздухе, позволяющая оценить вероятность превышения концентрацией выброшенного вещества некоторого критического значения.

Постановка задачи и ее решение. Для прогнозирования последствий аварий, связанных с утечкой газообразных или быстроиспаряющихся веществ, и принятия решений по эвакуации населения важно оценить вероятность достижения концентрацией выброшенного вещества опасного значения и время, в течение которого эта концентрация будет сохраняться в данной точке пространства.

Полученные в [8,9] параметры математического ожидания и дисперсии $M\mu(t)$, $D_\mu(t)$ распределения случайного процесса $\mu(x, y, z, t)$ позволяют оценить вероятность достижения случайным процессом заданного значения в конкретный момент времени t , но не дают возможности найти вероятность такого события на интервале времени от момента аварии и до текущего момента.

Для оценки такой вероятности воспользуемся методом имитационного моделирования [10], состоящего в том, что вместо случайных процессов $\xi(t)$, $\eta(t)$, входящих в выражение (13) [8], генерируются последовательности случайных чисел, также имеющие нормальное распределение и те же корреляционные функции. Имея набор таких реализаций и соответствующих им реализаций $\mu(x, y, z, t)$, можно решить поставленную задачу методами математической статистики.

Зададим интервал времени Δt и вместо рассмотрения случайных процессов $\xi(t)$, $\eta(t)$ на интервале $[0, n\Delta t]$ будем рассматривать последовательности случайных величин

$$\xi_0 = \xi(0), \xi_1 = \xi(\Delta t), \xi_2 = \xi(2\Delta t), \dots, \xi_n = \xi(n\Delta t); \quad (1)$$

$$\eta_0 = \eta(0), \eta_1 = \eta(\Delta t), \eta_2 = \eta(2\Delta t), \dots, \eta_n = \eta(n\Delta t), \quad (2)$$

имеющие математические ожидания $M\xi_i = M\xi(t) = \bar{v}_x$, $M\eta_i = M\eta(t) = \bar{v}_y$ и дисперсии $D\xi_i = D\xi(t) = \sigma_\xi^2$, $D\eta_i = D\eta(t) = \sigma_\eta^2$.

Кроме того, случайные величины коррелируют друг с другом. Эти

Басманов А.Е., Говаленков С.С., Панина Е.А.

ковариации определяются корреляционными функциями $K_\xi(\tau)$, $K_\eta(\tau)$ и совместной корреляционной функцией $K_{\xi\eta}(\tau)$

$$\begin{aligned}\text{cov}(\xi_i, \xi_j) &= K_\xi((i-j)\Delta t), \\ \text{cov}(\eta_i, \eta_j) &= K_\eta((i-j)\Delta t), \\ \text{cov}(\xi_i, \eta_j) &= K_{\xi\eta}((i-j)\Delta t).\end{aligned}$$

Таким образом, задача формирования последовательностей коррелированных случайных величин (1), (2) сводится к формированию случайного вектора ζ размерности $2n + 2$

$$\zeta = (\xi_0, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \eta_0, \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$$

с корреляционной матрицей размерности $(2n + 2) \times (2n + 2)$, имеющей блочную структуру

$$K_\zeta = \begin{pmatrix} K_{\xi\xi} & K_{\xi\eta} \\ K_{\xi\eta} & K_{\eta\eta} \end{pmatrix},$$

где каждый из блоков (размерности $(n + 1) \times (n + 1)$) имеет вид

$$\begin{aligned}K_{\xi\xi} &= \begin{pmatrix} \sigma_\xi^2 & K_\xi(\Delta t) & \dots & K_\xi(n\Delta t) \\ K_\xi(\Delta t) & \sigma_\xi^2 & \dots & K_\xi((n-1)\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_\xi(n\Delta t) & K_\xi((n-1)\Delta t) & \dots & \sigma_\xi^2 \end{pmatrix}, \\ K_{\eta\eta} &= \begin{pmatrix} \sigma_\eta^2 & K_\eta(\Delta t) & \dots & K_\eta(n\Delta t) \\ K_\eta(\Delta t) & \sigma_\eta^2 & \dots & K_\eta((n-1)\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_\eta(n\Delta t) & K_\eta((n-1)\Delta t) & \dots & \sigma_\eta^2 \end{pmatrix}, \\ K_{\xi\eta} &= \begin{pmatrix} s_{\xi\eta} & K_{\xi\eta}(\Delta t) & \dots & K_{\xi\eta}(n\Delta t) \\ K_{\xi\eta}(\Delta t) & s_{\xi\eta} & \dots & K_{\xi\eta}((n-1)\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{\xi\eta}(n\Delta t) & K_{\xi\eta}((n-1)\Delta t) & \dots & s_{\xi\eta} \end{pmatrix}.\end{aligned}$$

Таким образом, знание корреляционных функций $K_\xi(\tau)$, $K_\eta(\tau)$ и совместной корреляционной функции $K_{\xi\eta}(\tau)$, полученных в [9] дает возможность сформировать корреляционную матрицу K_ζ . Это позволяет сгенерировать случайный вектор ζ , например, с помощью функции `mrkndv` математического пакета Matlab.

Имея реализацию $(v_{x0}, v_{x1}, \dots, v_{xn}, v_{y0}, v_{y1}, \dots, v_{yn})$ вектора ζ и подставляя ее в полученное [8], выражение (12) получим

$$q(x, y, z, k\Delta t) = \frac{m}{8(\pi k\Delta t)^{3/2} a \sqrt{a_z}} \exp \left[-\frac{\left(x - \Delta t \sum_{i=0}^{k-1} v_{xi} \right)^2 + \left(y - \Delta t \sum_{i=0}^{k-1} v_{yi} \right)^2}{4ak\Delta t} \right] \times \\ \times \left\{ \exp \left[-\frac{(z - z_0)^2}{4a_z k\Delta t} \right] + \exp \left[-\frac{(z + z_0)^2}{4a_z k\Delta t} \right] \right\}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет найти концентрацию вещества в произвольной точке (x, y, z) в дискретные моменты времени $\Delta t, 2\Delta t, \dots, n\Delta t$. Сгенерировав набор из N реализаций случайного вектора ζ и соответствующих ему реализаций функций концентраций q_1, q_2, \dots, q_N , получим оценки параметров распределения концентраций.

Оценка математического ожидания для концентрации выброшенного вещества в заданной точке в заданный момент времени

$$M\tilde{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i,$$

где $M\tilde{\mu}$ – оценка математического ожидания $\mu(x, y, z, t)$; q_i – i -я реализация случайного процесса μ , полученная по формуле (3).

Оценка дисперсии концентрации выброшенного вещества

$$\tilde{\sigma}_\mu^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (q_i - M\tilde{\mu})^2,$$

где $\tilde{\sigma}_\mu^2$ – оценка дисперсии случайного процесса $\mu(x, y, z, t)$.

Вероятность превышения концентрацией критического значения $q_{кр}$ на промежутке времени $[0, t]$ в точке (x, y, z)

$$\tilde{p}_{кр} = \frac{N_{кр}}{N},$$

где $N_{кр}$ – количество реализаций, в которых в точке (x, y, z) хотя бы в один из моментов времени $\Delta t, 2\Delta t, \dots, n\Delta t$ концентрация превысила критическое значение $q_{кр}$.

На основании реализации $q(x, y, z, k\Delta t)$ может быть вычислена величина токсической дозы, получаемая в данной точке на протяжении интервала времени $(0, t)$, определяемая как

$$D(x, y, z) = \int_0^t q(x, y, z, \tau) d\tau.$$

С учетом дискретного представления концентрации в моменты времени $\Delta t, 2\Delta t, \dots, n\Delta t$ формула для величины токсической дозы примет вид

$$D(x, y, z) = \Delta t \sum_{k=0}^{n-1} q(x, y, z, k\Delta t).$$

Тогда вероятность превышения величиной токсической дозы критического значения $D_{кр}$ может быть оценена по формуле

$$\tilde{p}_D = \frac{N_D}{N},$$

где N_D – количество реализаций, в которых величина токсической дозы превысила критическое значение $D_{кр}$.

Выводы. С помощью математического пакета Matlab сгенерированы последовательности коррелированных случайных величин, представляющих собой реализации вектора скорости ветра. С их помощью проведено имитационное моделирование процесса диффузии выброшенного вещества в воздухе, что позволило оценить вероятность превышения концентрацией вещества в воздухе допустимого значения

нить вероятности достижения концентрации вещества критических значений и оценить вероятность превышения величины токсической дозы критического значения.

Учет этих параметров необходим при рассмотрении возможных сценариев чрезвычайной ситуации и планировании действий подразделений МЧС по ее локализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – 482 с.
2. Маршалл В. Основные опасности химических производств. - М.: Мир, 1989. – 672 с.
3. Кірючкін О.Ю., Мурін М.М., Тютюник В.В., Шевченко Р.І. Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно-небезпечного стану об'єктів та регіонів України // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. - №6. – С. 62 – 73.
4. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Підручник./Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю., Коротинський П.А., Миронець С.М.- Вид-во: АЦЗУ м. Харків, 2005.- 530с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометиздат, 1987.
6. 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.
7. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Єсипенко А.Д., Жартовський В.М., Найверт О.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки.–Тернопіль:Видавництво Астон, 2005.–408 с.
8. Басманов А.Е., Говаленков С.С. Математическая модель диффузии паров опасных химических веществ в воздухе. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 8. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С.29-39.
9. Говаленков С.С., Панина Е.А. Определение параметров корреляционных функций для построения стохастической модели распределения концентраций опасных химических веществ в

воздухе. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 8. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С.58-69.

10. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 356 с.

nuczu.edu.ua

УДК 614. 8

*Белов В.В., ст. преп., УГЗУ,
Быков В.М., науч. сотр., ИРЭ НАНУ,
Комяк В.В., студент, УГЗУ,
Рыженко И.А., вед. инженер, ИРЭ НАНУ*

ВОЗМОЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ГАЗА ИЗ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МЕСТНОСТИ

(представлена д-ром физ.-мат. наук Созником А.П.)

Рассматривается проявление утечек газа из трубопровода в тепловом поле излучения земной поверхности. Показано, что трещины в трубах размерами (1x0,1) мм² могут приводить к появлению на поверхности грунта тепловых аномалий с температурным контрастом более 10 °С при размерах пятна порядка 10 м². Это позволит с помощью ИК радиометра, размещаемого на борту летательного аппарата, локализовать место утечки при авиационном патрулировании газопровода.

Постановка проблемы. Территория любого высокоразвитого государства характеризуется широкоразветвленной газотранспортной сетью. Территория Украины, кроме того, в силу своего географического положения насыщена и транзитными газотранспортными магистралями. Эти магистрали являются источниками повышенной опасности, как с точки зрения экологии, так и возможного создания чрезвычайной ситуации при возникновении аварий на газопроводах. Предвестниками таких опасностей могут являться утечки газа, возникающие из-за механических повреждений трубопровода или его коррозии. Раннее обнаружение утечек, исходя из этого, является актуальной задачей. Настоящая работа посвящена разработке инструментального метода обнаруже-