

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА ОКОЛО ИСТОЧНИКА ПРИ УТЕЧКЕ ТОКСИЧЕСКОГО ГАЗА

Ян Новак, Павел Фухс, Томаш Саска, Лукаш Мацек,
Радован Соушек, Мирослав Келемен
jan.novak@tul.cz tomas.saska@tul.cz lukas.macek@tul.cz
radovan.sousek@upce.cz , miroslav.kelemen@aos.sk

Технический университет в г. Либерец, Университет в г. Пардубице
Академия вооруженных сил им. ген. М.Р. Штефаника
СЛОВАКИЯ

Резюме: Индивидуальный риск, вызванный утечкой токсического газа, в значительной мере зависит от актуальных метеорологических условий. В статье решается риск потенциальной утечки в зависимости от метеорологической ситуации в данной области и отображение результатов для отдельных направлений ветра на карте.

Ключевые слова: рассеивание газа, токсичность, индивидуальный риск

1 ВВЕДЕНИЕ

Индивидуальный риск выражает вероятность определенного специфического последствия в окрестностях источника риска. В нашем случае источником риска является утечка токсического газа с последующим смертельным исходом в результате токсической экспозиции.

Расчет индивидуального риска и его географическое распределение состоит из:

- расчета концентрационного поля газа для стандартной метеорологической ситуации,
- определения вероятности смертельного исхода для отдельных ситуаций,
- определения эффективной вероятности для отдельных направлений ветра,
- расчета риска на сетке точек в окрестностях источника и конструкция карты.

2 PASQUILL-GIFFORD МОДЕЛЬ

Обычно эта модель используется для расчета концентрации газа в атмосфере. В нашем случае сосредоточимся на одноразовую утечку газа, которая соответствует ситуации при автомобильной аварии.

Концентрация C в точке (x, y, z) и времени t для системы координат, начало которых расположено в источнике, а на оси x указано направление ветра, рассчитывается по формуле:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x-ut}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right] \right] \times \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H_r}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (1.1)$$

где: Q количество выброшенного газа [кг],
 u скорость ветра [м/с],

H_r , высота источника над уровнем земли [м],
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ коэффициент дисперсии в направлении осей [м].

3 КЛАССЫ СТАБИЛЬНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ДИСПЕРСИИ

Атмосферные условия разделены указанной моделью на 6 классов атмосферной стабильности от А до Е. Самый высокий класс Е отвечает стабильной атмосфере когда рассеивание газа в воздухе минимальное.

В таблице приведены данные для расчета коэффициентов дисперсии $\sigma_x = \sigma_y$ а σ_z для отдельных классов стабильности атмосферы.

Таблица 1: Коэффициенты дисперсии для рассеивания при одноразовой утечке по Briggs и Griffith

Класс стабильности (Pasquill - Gifford)	σ_x [м] или σ_y [м]	σ_z [м]
А	$0,18x^{0,92}$	$0,60x^{0,75}$
Б	$0,14x^{0,92}$	$0,53x^{0,73}$
В	$0,10x^{0,92}$	$0,34x^{0,71}$
Г	$0,06x^{0,92}$	$0,15x^{0,70}$
Д	$0,04x^{0,92}$	$0,10x^{0,65}$
Е	$0,02x^{0,89}$	$0,05x^{0,61}$

Действие кратковременных экспозиций в основном не зависит от концентрации. Поэтому необходимо для каждой метеорологической ситуации, на основании расчетов концентрации, отобразить поле вероятности решаемого специфического действия, а потом вероятности в отдельных точках области под угрозой усреднить с многочисленными замещениями обсуждаемых ситуаций.

4 ПРОБИТ - ФУНКЦИЯ

Для количественного действия часто используют пробит – функции в виде:

$$Y = k_1 + k_2 \cdot \log V \quad (1.2)$$

где: Y пробит
 V доза экспозиции

k_1, k_2 постоянная для определенного специфического типа последствия (например для смертельного исхода).

Каждой величине пробита отвечает определенная вероятность в виде:

$$P = 0,5 \cdot [1 + \operatorname{erf}(Y - 5)] \quad \text{для} \quad 0 < Y < 10 \quad (1.3)$$

$$P = 0 \quad Y \leq 0$$

$$P = 1 \quad Y \geq 10$$

5 ТОКСИЧЕСКАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ

В случае переменного поля концентрации по времени при прохождении токсического облака (случай при одноразовой утечке) необходимо определить интегральную дозу экспозиции в зависимости от временного интервала прохождения тучи через данную точку:

$$V = \int c^n dt \quad (1.4)$$

Концентрация возведена в степень n (в основном $n > 1$), которая индивидуальна для каждого материала (а также для каждого типа действия и для каждого получателя), как и постоянные k_1, k_2 в пробит - функции.

На рисунке 1 приведены вероятности смерти человека в зависимости от расстояния до источника в направлении ветра при утечке 1000 кг аммиака для класса стабильности атмосферы от А до Г при скорости ветра 1,7 м/с. Для классов Д и Е досягаемость значительно больше.

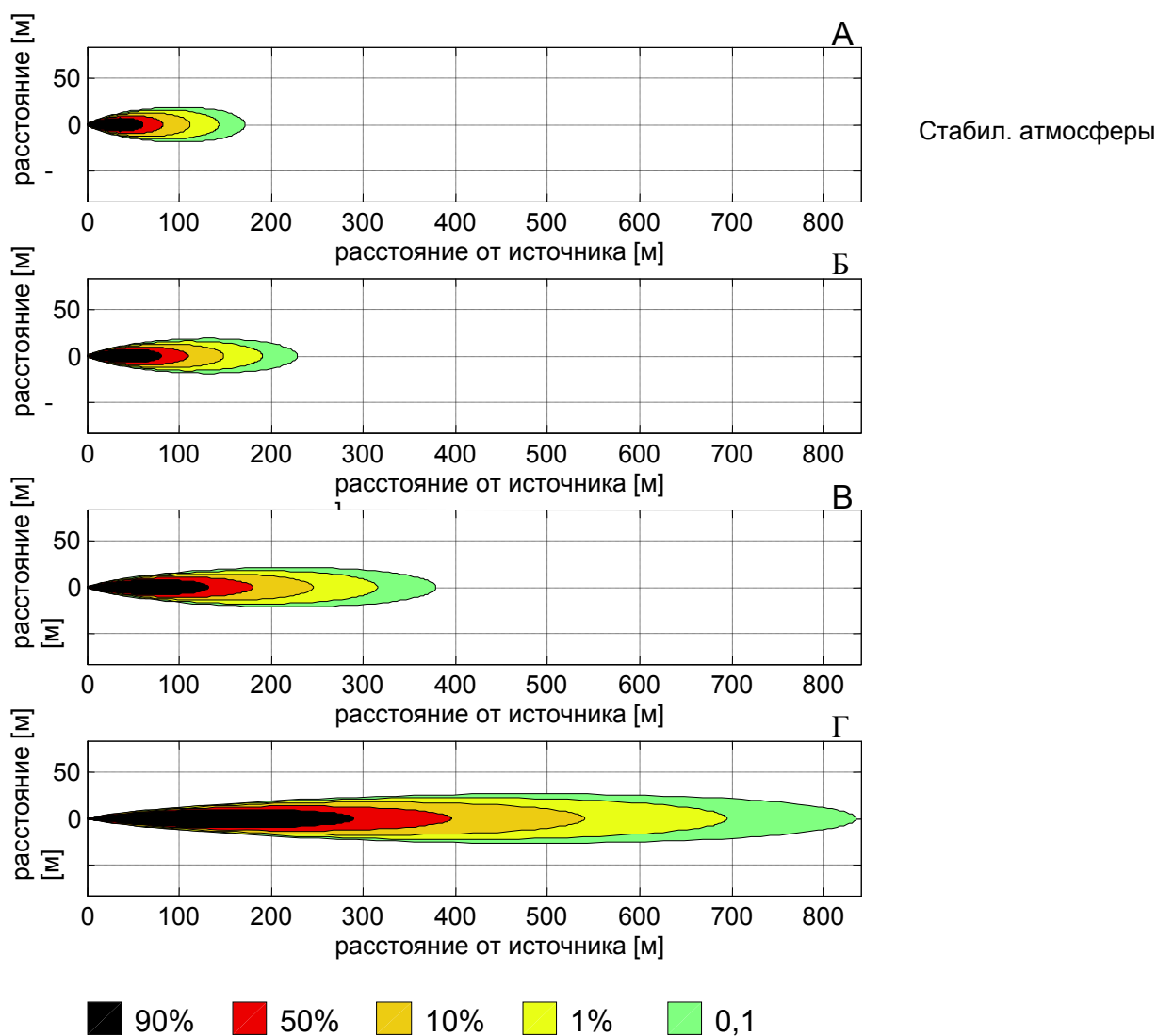


Рисунок 1: Вероятность смерти человека при токсической экспозиции в зависимости от метеорологической ситуации и расстояния от источника. Одноразовая утечка 1000 кг аммиака

6. ЭФФЕКТИВНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ПОСЛЕДСТВИЙ

Из рисунка 1 видно, что ширина тучи в основном бывает относительно маленькая по отношению к ее длине. Вероятность того, что в определенную точку будет попадание зависит от вероятности соответствующего направления ветра и эффективной ширины тучи. Эффективную ширину $E(r)$ на расстоянии r от источника

расчитаем при помощи интегрирования $P(x, h)$ в направлении перпендикулярном к оси тучи и разделением величины интеграла вероятности $P(r)$ на оси тучи. Результат указан на рисунке 2.

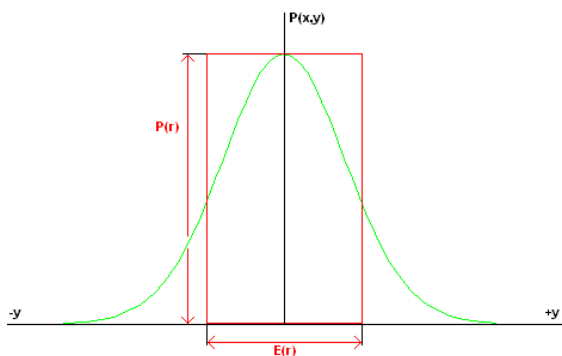


Рисунок 2: Определение эффективной ширины тучи

$$E(r) = \frac{\int P(r, y) dy}{P(r)} \quad (1.5)$$

где: $E(r)$ эффективная ширина тучи на расстоянии r от источника [м],
 $P(r, y)$ средняя вероятность специфического последствия перпендикулярна расстоянию h оси тучи, зависящая от источника [-],
 y перпендик. расстояние от оси тучи на расстоянии r [м].

Угловой интервал направления ветра, соответствующий точке попадания, при увеличении расстояния от источника - уменьшается (см. рисунок 3.).

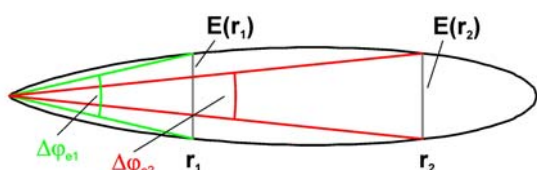


Рисунок 3: Угловой интервал ветра, соответствующий эффективной ширине тучи

Угловой интервал $\Delta\varphi$ на расстоянии r рассчитаем по формуле

$$\Delta\varphi = \frac{E(r)}{2\pi \cdot r} \quad (1.6)$$

Для упрощения расчета вероятности в любой точке применим понятие эффективной вероятности. Это вероятность последствия $P(r)$ на оси тучи, умноженная на угловой интервал $\Delta\varphi$.

7 СРЕДНЯЯ ЭФФЕКТИВНАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ В НАПРАВЛЕНИИ ВЕТРА

Так как ширина тучи и соответствующий $\Delta\varphi$ для отдельных погодных условий меняется, то для расчета средней приведенной вероятности применим следующее отношение:

$$P_r(r) = \sum_{i,j} [P(r)_{i,j} \cdot p_i \cdot p_{i,j} \cdot \Delta\varphi_{i,j}] \quad (1.7)$$

где: $P_r(r)$ средняя вероятность специфического действия на расстоянии r от источника [-],
 $P(r)_{i,j}$ вероятность для определенного класса стабильности и скорости ветра [-],
 r расстояние от источника [м],
 i индекс класса стабильности атмосферы [-],
 j индекс рассматриваемой скорости ветра в i -том классе стабильности [-],
 $\Delta\varphi_{i,j}$ интересующий интервал направления ветра для i -ого класса стабильности и j -ой скорости ветра [-].

На рисунке 4 приведены эффективные вероятности вдоль пучка в направлении ветра. Необходимо установить среднюю величину для всех рассматриваемых направлений (как правило это 8 направлений).

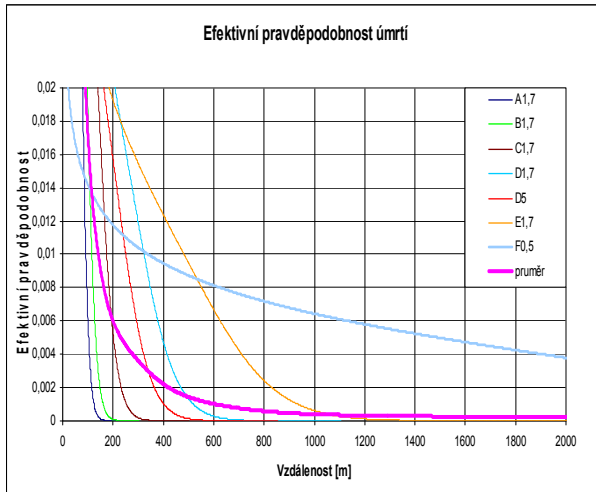


Рисунок 4: Эффективная вероятность смертельного исхода для одного направления ветра (одноразовая утечка 1000 кг аммиака) на расстоянии 2000 м от источника

Перевод надписей на рисунке 4:
efektivní pravděpodobnost – эффективная вероятность
průměr – средняя величина
vzdálenost [m] – расстояние [м]

Вероятность последствия в точке определим интерполяцией из вектора эффективной вероятности в главных направлениях ветра, между которыми точка находится, как указано на рисунке 5.

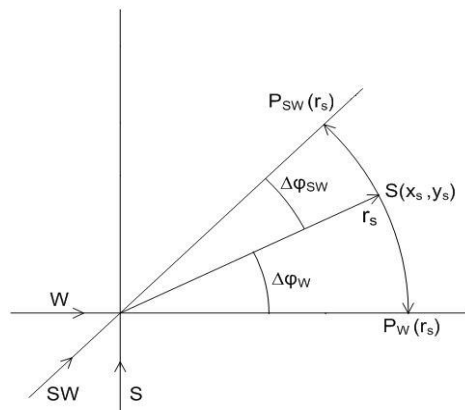


Рисунок 5: Схема производной вероятности смерти/травмы в любой точке интерполяции из эффективных вероятностей в главных направлениях ветра

Азимут φ направления от источника к точке $S(x_s, y_s)$ находится

между азимутами главных направлений W и SW (обозначение на розе ветров указывает направление дуновения ветра).

Для расстояния r_s определим величины $P_W(r_s)$ и $P_{SW}(r_s)$ и рассчитаем их диаметр с весами, отвечающими угловым отклонениям азимута φ от соответствующих направлений, которые на рисунке обозначены $\Delta\varphi_W$ и $\Delta\varphi_{SW}$.

При этом не играет роль выбор нулевого азимута и направление, в котором измерялись разницы:

$$\Delta\varphi_Z = |\varphi - Z| \quad (1.8)$$

Для конечного расчета вероятности имеем:

$$P_\varphi(r) = \frac{4}{\pi} [P_Z(r) \cdot \Delta\varphi_{Z+1} + P_{Z+1}(r) \cdot \Delta\varphi_Z] \quad (1.9)$$

где: $P_\varphi(r)$ – вероятность последствия (смерти) в направлении азимута φ на расстоянии r от источника (взвешенное среднее для всех метеоситуаций),

$P_Z(r)$ – тоже самое в направлении Z (одно из 8 главных направлений ветра по

розе ветров),

Z – азимут соответствующего главного направления,

φ – азимут направления от источника к сравниваемой точке $[x_s, y_s]$

Распределение вероятности смертельного исхода около источника при утечке 100 кг хлора изображает рисунок 6.

8 ИНДИВИДУЛЬНЫЙ РИСК

Для полного выражения индивидуального риска необходимо рассчитанные вероятности последствий умножить на вероятности утечек.

$$R(x_s, y_s) = P_h \cdot P_\varphi(r)$$

где: $R(x_s, y_s)$ индивидуальный
 риск в точке x_s, y_s ,
 P_h вероятность события
 (аварии).

Индивидуальный риск выражен как безразмерная или (чаще всего) как условная вероятность. Во втором случае имеет тот же размер как P_h – как правило 1/год.

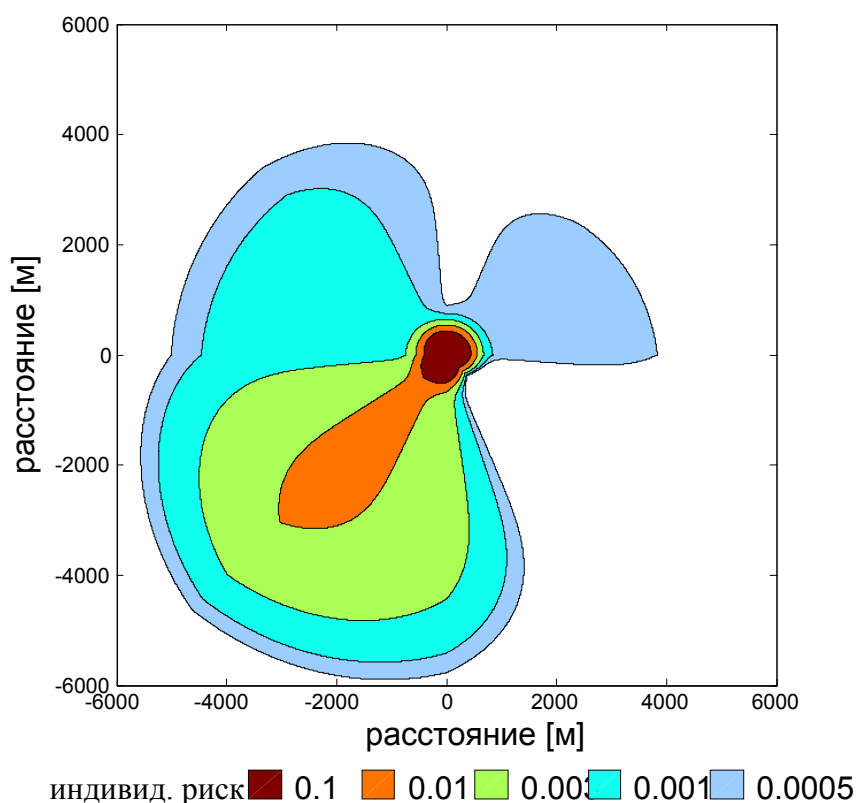


Рисунок 6: Распределение вероятности смерти на плоскости.
 Одноразовая утечка 100 кг Cl

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Bubník, J., Keder, J., Macoun, J., Maňák, J.: SYMOS'97 *Systém modelování stacionárních zdrojů*. Metodická příručka pro výpočet znečištění ovzduší. Český hydrometeorologický ústav Praha, Praha r.1998
- [2] Crowl, D. A., Louvar, J. F. *Chemical process Safety: Fundamentals with Application*, PTR Prentice – Hall, Inc. A. Simon & Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey 1990

[3] *Guidelines for Quantitative Risk Assessment, (Purple book)*. Committee for the Prevention of Disasters (CPR), Directorate - General of Labour of the Ministry of Social Affairs. The Hague, 1999. CPR 18E.

[4] Sousek, R, Dvorak, Z.: *Risk identification in critical transport infrastructure in case of central Europe with focus on transport of dangerous shipments*, In: WMSCI 2009 : The 13th world multi-conference on systemics, cybernetics and informatics, Orlando, Florida, 2009. ISBN 978-1-934272-62-6. P. 374-377.

Эта статья возникла при поддержке программы МŠMT, № проекта 2B08011.

INDIVIDUAL RISK DISTRIBUTION IN THE VICINITY OF SOURCE DURING TOXIC GAS LOSS

**Jan Novak, Pavel Fux, Tomas Saska, Lukas Macek,
Radovan Sousek, Miroslav Kelemen**

jan.novak@tul.cz, tomas.saska@tul.cz, lukas.macek@tul.cz,
radovan.sousek@upce.cz, miroslav.kelemen@aos.sk

*Technical University in Liberec, University in Pardubice
Gen. M. R. Stefanik Armed Forces Academy*

SLOVAKIA

Key words: *gas scattering, toxicity, individual risk*

Abstract: *Individual risk called forth by toxic gas depends to a great extent on current meteorological conditions. Article proposes a solution to potential gas loss risk depending on certain area meteorological situation and on separate winds directions results representation on a map.*