

4. Гащин О.Р. Гідродинамічна кавітація в процесах знезараження під дією хімічних окислювачів / О.Р. Гащин, Т.М. Вітенько // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2007. – №3(109). – С.49–53.
5. Интенсификация процессов обеззараживания воды. / под ред. Л.А. Кульского. – К. : Наук. думка, 1978. — 96с.
6. Гащин О.Р. Оцінка ефективності та інтенсивності роботи кавітаційних пристроїв у технології водопідготовки. / О.Р. Гащин, Т.М. Вітенько // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 1. – С. 49–52.
7. Потапченко Н.Г. Обеззараживание воды при совместном использовании пероксида водорода и ионов серебра / Н.Г. Потапченко, В.Н. Косинова, В.В. Илляшенко [и др.] // Химия и технология воды. – 1995. — Т. 17, № 3. – С. 311–316.

Дана загальна характеристика методів і моделей для кількісного опису процесу розповсюдження викиду газоподібних речовин в атмосфері. Наведені критерії границь ураження небезпечною хімічною речовиною (НХР). Обґрунтовано застосування гаусових моделей розповсюдження нейтрального газу

Ключові слова: НХР, модель, вибухонебезпечна зона, отруєння

Дана общая характеристика методов и моделей для количественного описания процесса распространения выброса газообразных веществ в атмосфере. Приведены критерии пределов границ поражения опасным химическим веществом (ОХВ). Обосновано применение гауссовых моделей распространения нейтрального газа

Ключевые слова: ОХВ, модель, взрывоопасная зона, отравления

The article gives general characteristic of methods and models for quantitative description of the dispersion process of gaseous substances in the atmosphere. Criteria of boundary ejection limits of hazardous chemical substance (HCS) affecting are given. The application of Gaussian models of neutral gas dispersion has been substantiated

Keywords: HCS, model, explosive area, poisonings

УДК 004.942:519.876

МЕТОДИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРАЖЕНИЙ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ТОКСИЧНОЙ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ

С. А. Сафонова

Старший преподаватель

Кафедра компьютерной инженерии

Технологический институт Восточноукраинского
национального университета имени Владимира Даля
пр. Советский, 59 а, г. Северодонецк, Луганская обл.,
Украина, 93400

Контактный тел.: (0645) 70-22-92

E-mail: safonovasa@ukr.net

1. Введение

Одним из наиболее опасных проявлений аварий в промышленности является выброс ОХВ в парогововой фазе и распространение их в атмосфере. Крупнейшие техногенные катастрофы, такие как авария на химическом заводе Union Carbide в индийском городе Бхопал,

Индия 1984 г (число жертв до 18 тысяч человек), взрыв на химическом заводе компании «Нипро Кемикл Планта» г. Фликсборо, Великобритания 1974 г. (число жертв взрыва более 60 человек, мощные разрушения), взрыв и ядовитое облако в г. Севезо, Италия 1976г. стали причиной уничтожения целого города, а также толчком для появления в 1982 г. «директивы Севезо»,

начала создания современного европейского законодательства в области безопасности в промышленности. В связи с высокой опасностью выброса ОХВ актуально прогнозирование возможных отравлений людей.

2. Анализ существующих моделей для количественного описания процесса распространения выброса газообразных веществ в атмосфере

В данное время существуют несколько уровней моделей для количественного описания процесса распространения выброса газообразных веществ в атмосфере: простые полумпирические модели; гауссовы модели дисперсии примеси в атмосфере; модели рассеяния, основанные на интегральных законах сохранения; модели, построенные на численном решении системы уравнений газодинамики (модели численного моделирования класса CFD (Computational Fluid Dynamics)).

В ГОСТ Р 12.3.047-98 [1] опубликована методика расчета залповых выбросов на основе модели тяжелого газа. Тем не менее, практическое использование такого описания невозможно в связи с его несвязностью и ошибками в тексте. Разработанная в СССР методика РД 52.04.253-90 [2] и ее украинский аналог «Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті» (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 квітня 2001 р. за N 326/5517), основанная на эмпирических соотношениях, являлась первоначальной для определения максимальных глубин зон поражений на основе ингаляционного токсичного воздействия на человека. Рациональность применения данной методики для ГО ЧС определялась в первую очередь отсутствием чего-либо лучшего на тот момент и простотой вычислений, что было необходимо в условиях отсутствия достаточно производительной вычислительной техники и прикладных программ. При этом граничным параметром являлась «токсодоза», измеряемая в мг*мин/литр. Однако, в этих методиках нет вычисления пространственно-временного распределения концентраций $c(x,y,z,t)$, что не позволяет получать входных данных для определения степеней отравлений. Наиболее близкое понятие к «токсодозе» – причинный коэффициент $x = \int_{t_b}^{t_c} c^n dt$, в котором используется корреляционный коэффициент n , характеризующий степень токсичности вещества.

Проблема в определении последствий воздействия химического вещества на организм человека состоит в том, что эти последствия наступают в результате различных механизмов нарушения нормальной деятельности организма. Опасное вещество может быть причиной раздражающего, нервнопаралитического, общего токсического действия.

При рассеянии облака концентрация C_{max} может превышать значения LC50 (летальная концентрация) и приводить к смертельным поражениям, а период времени от начала воздействия t_b до конца воздействия t_c концентрацией, превышающей ПДК рабочей зоны мал и интегральная характеристика $\int_{t_b}^{t_c} c(t)dt$ окажется ниже принятой границы зоны поражения.

3. Критерии выбора пределов границ поражения ОХВ

Различные подходы к определению степени и вида поражения людей характеризуются различными критериями (индексами).

Критерии U. S. Environmental Protection Agency (EPA – агентство защиты окружающей среды США) представлены показателями AEGL. Наиболее характерный из них: AEGL-2 – уровень воздействия, выше которого предсказано, что общее население, включая восприимчивых индивидуумов, может получить необратимые или другие серьезные длительные неблагоприятные последствия для здоровья или состояние, при котором человек не сможет покинуть опасную зону самостоятельно.

Можно предполагать этот уровень границей зоны поражения.

Приведенные выше критерии, принятые в США и европейских странах, более подходят к выбору пределов границ поражения ОХВ. Параметр AEGL позволяет определить вероятностные характеристики поражения в широком диапазоне воздействий.

Вероятность различных степеней отравлений можно определять на основании функции плотности вероятности поражения [3]:

$$P = \int_0^x \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1/2} \cdot \sigma \cdot x} \cdot \exp \left[\frac{-(\ln(x) - m^*)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right] dx, \quad (1)$$

где x - причинный коэффициент;

σ - 1-й параметр логарифмического распределения;

m^* - 2-й параметр логарифмического распределения.

Иногда удобно использовать функцию Гаусса (функция ошибок) [4]:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp \left[\frac{-t^2}{2} \right] dt, \quad (2)$$

где Pr - пробит-функция, зависящая от концентрации и времени, чаще всего рассчитываемая как $Pr = a + b \ln(x)$. Коэффициенты a и b получаются на основании обработки экспериментальных данных. Они также связаны с параметрами логарифмического распределения зависимостями: $\sigma = \frac{1}{b}$; $m^* = \frac{5-a}{b}$. В качестве причинного коэффициента обычно выступает $\int_{t_b}^{t_c} c^n dt$. При этом чаще всего концентрация измеряется в ppm, время воздействия в минутах. Несмотря на внешнюю схожесть причинного коэффициента и интегральной функции «токсодозы», они существенно отличаются благодаря степенному показателю n . Смысл этого показателя заключается в корреляции концентрационно-временного воздействия для однотипного вида поражений для выбранного вещества.

Если известен уровень воздействия, соответствующий границе смертельных поражений (вероятность смертельного поражения $\approx 0.1\%$), то имеется одна точка для определения вероятности смертельного поражения. Для получения всех необходимых коэффици-

циентов функции распределения вероятности смертельного поражения необходимо получить еще хотя бы одну точку для другого значения. Удовлетворительно получить значения для 50% смертности (или иного), но поиск таких данных вызывает существенные трудности.

В лучшем случае в большинстве справочной литературы данные приведены для мышей и крыс, в худшем - носят общий описательный характер без количественных показателей.

В [5,6] предложены следующие критерии: Assessment of the Dangerous Toxic Load (DTL) for Specified Level of Toxicity (SLOT) and Significant Likelihood of Death (SLOD).

Критерий SLOT DTL можно принимать как причинный коэффициент для 0,1% смертельного поражения.

Критерий SLOD DTL принимается причинным коэффициентом для 50% смертельного поражения. В указанных источниках приводятся данные приблизительно для 165 веществ. При наличии таких данных не составляет труда определить все необходимые коэффициенты для вероятности смертельного поражения человека.

В работах [4,6-8] предложены различные коэффициенты a , b и n вероятности смертельного поражения человека хлором.

Таблица 1

Коэффициенты a , b и n вероятности смертельного поражения хлором

| Источник | a | b | n |
|----------|-------|------|------|
| [4] | -8,29 | 0,92 | 2 |
| [7] | -11,4 | 0,82 | 2,75 |
| [8] | -4,92 | 0,5 | 2,75 |

На рис. 1 приведено изменение вероятности смертельного поражения человека при воздействии в течение 100 минут различными концентрациями хлора, показанные в различных источниках [4,6-8].

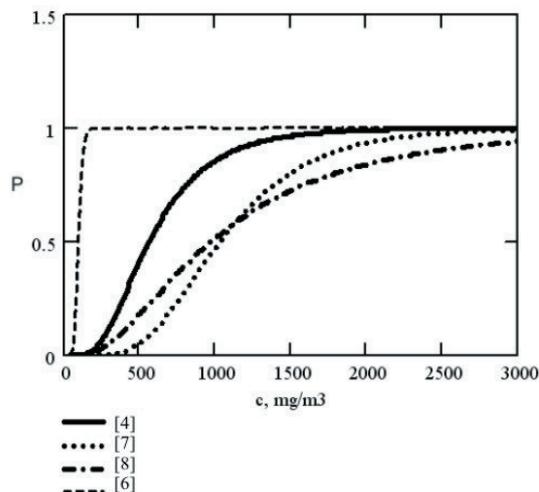


Рис. 1. Значения вероятности смертельного поражения при воздействии в течение 100 минут концентрацией c . Сравнение концентраций для одних и тех же видов поражений дает следующие расхождения:

Таблица 2

Результаты сравнения концентраций для одних и тех же видов поражений

| Вид поражения | Источник, концентрация (мг/м³), воздействие в течение 60 минут | | | | |
|---------------------------------------|--|------|------|------|-----|
| | [9] | [4] | [7] | [8] | [6] |
| Граница смертельного поражения AEGL-3 | 58 | - | - | - | - |
| 1% смертельного поражения | - | 159 | 368 | 180 | 51 |
| 50% смертельного поражения | - | 560 | 1030 | 970 | 90 |
| 90% смертельного поражения | - | 1150 | 1850 | 2500 | 160 |

По приведенным источникам показатель AEGL-3 даст вероятность смертельного поражения меньше, чем 10-6. Трудность возникает при получении достоверных показателей вероятности гибели людей и границы зоны возможного смертельного пораже-

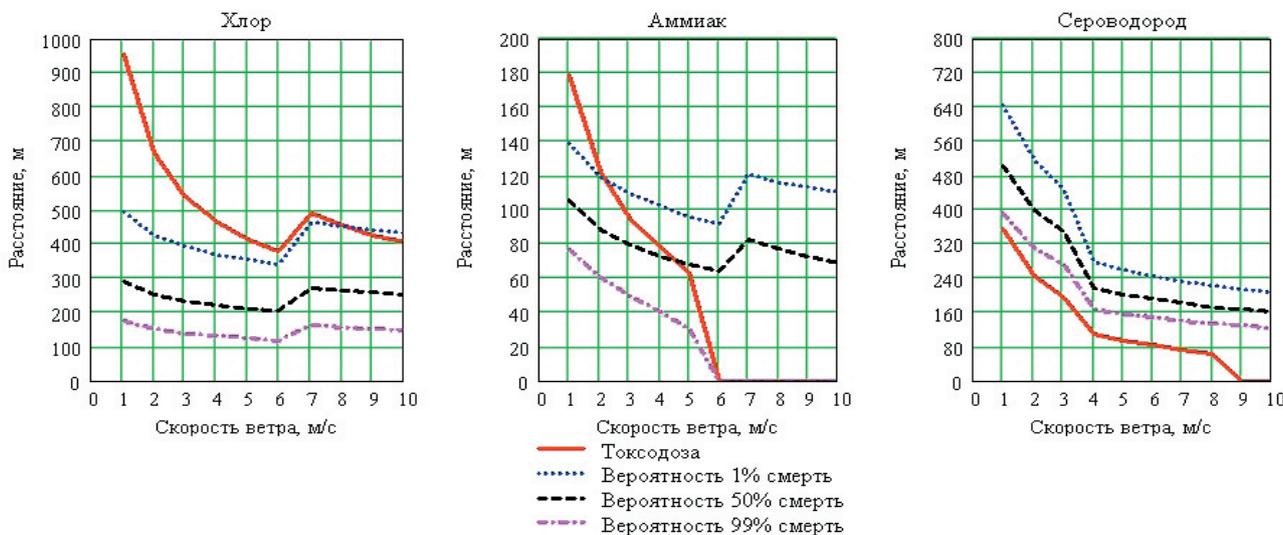


Рис. 2. Сравнение зон поражений для различных веществ

ния. Разброс показателей различных источников не столь критичен, так как при определении риска можно пользоваться наиболее консервативными оценками.

На рис. 2 сравниваются результаты численных экспериментов для хлора, аммиака и сероводорода. Во всех случаях использовалась гауссова модель [10] однократного выброса 500 кг вещества при одинаковой температуре окружающей среды и различных скоростях ветра. Проводилось сравнение границы поражения по токсодозе [10] и фиксированных зон смертельных поражений на основе пробит-зависимостей, данные для которых брались из работы [4].

Полученные значения пороговых токсодоз могут оказаться ниже (иногда значительно) зон смертельного поражения людей, что существенно снижает показатели реальной опасности при прогнозе и не соответствует логике принятых критериев поражений.

Основной проблемой дальнейшего применения этих методик является ограниченность и сомнительная достоверность входных данных, не позволяющая получать адекватные количественные показатели процессов формирования и рассеяния парогазовой фазы в атмосфере и последующих возможных отравлений.

4. Гауссовы модели

Гауссовы модели разработаны на представлении распределения концентрации в пространстве на основе распределения Гаусса [10,11]. Для вычислений на основе гауссовых моделей используются эмпирические коэффициенты, соответствующие атмосферной турбулентности при различных условиях состояния приземного слоя. В таких моделях, как правило, не учитываются архимедовы силы, законы сохранения массы и энергии облака.

Эти модели имеют приемлемую точность либо в дальней зоне на удалении от места выброса, либо при малом выбросе, а также в случае нейтральной по плотности воздуха примеси.

В начальный момент выброса и распространения парогазовой фазы существенную роль играют процессы струйных течений, турбулентного подмешивания воздуха и высокая плотность вещества, которая в случае существенного превышения плотности окружающей среды должна рассматриваться как «тяжелый газ». Наиболее известными реализациями моделей рассеяния тяжелого газа являются методика Всемирного банка, методики класса HGSYSTEM [12], методики, созданные такими организациями как TNO (Голландия) [13], Det Norske Veritas (DNV Technica) (Норвегия) [14], U. S. Environmental Protection Agency.

Примером использования моделей тяжелого газа в России является методика «Токси-3» [15]. Модель дисперсии нейтрального газа «Токси-2» является примером гауссовой модели нейтрального газа. В Украине и других странах используются модели программного комплекса «РизЭкс-2» [16].

При достаточно высоком качественном походе при моделировании дисперсии «тяжелого газа» в методике

«Токси-3» в определении токсичных последствий по прежнему используется понятие «пороговой токсодозы» и параллельно пробит-уравнение для определения вероятности отравлений, что взаимно противоречит друг другу.

Наиболее широко распространенными моделями, используемыми в США, Канаде, ЕС и других странах являются модели EPA класса AERMOD. Основными разработчиками прикладного программного обеспечения для этого класса моделей являются компании Lakes Environmental (Канада) и BREEZE (США). Использование моделей этого класса связано с существенными затратами и усилиями при подготовке входных данных и имеет больше смысла при оценке экологических рисков от промышленных источников загрязнения.

5. Выводы

1. Использование простых полуэмпирических моделей для прогнозирования последствий распространения токсичных примесей в атмосфере утратило актуальность в связи с появлением более совершенных методик и возможностью использования компьютеров. Невозможно использовать данные методы для моделирования динамики формирования взрывоопасных зон или вероятности отравлений различной степени тяжести, а также для оценки риска при дисперсии примеси ОХВ в атмосфере.

2. Приемлемо применение гауссовых моделей рассеяния нейтрального газа для определения последствий токсичного ингаляционного воздействия на людей с использованием методов определения вероятности поражения на основе причинного коэффициента $\int_{t_b}^{t_c} c^n dt$, а также для определения зон загазованности взрывоопасной примесью в случае ее нейтральной плотности.

3. Наиболее достоверными данными для определения токсичного воздействия на человека примесей ОХВ являются данные EPA, всемирной токсикологической лаборатории [17].

Литература

- ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Текст] . – Введ. 1998-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 27с.
- Руководящий документ. Методика прогнозирования масштабов заражения с сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте [Текст] . РД 52.04.253-90 от 21.05.90 г. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 23 с.
- Poblete B. R. The assessment of major hazards: estimation of injury and damage around a hazard source using an impact model based on inverse square law and probit relations [Текст] / Poblete B.R., Lees F.P., Simpson G. B. – Journal of Hazardous Materials, 1984. – No. 9, pp. 355-371.

4. Мастрюков Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях [Текст] / Б. С. Мастрюков. — М. : Академия, 2003. — 336 с.
5. Fairhurst S. Toxicological assessments in relation to major hazards [Текст] / S. Fairhurst, R. M. Turner // Journal of Hazardous Materials 33. — 1993. — p. 215-227.
6. Davies P. C. and Purdy G. Toxic Risk Assessments - The effect of Being Indoors. Refinement of Estimates of the Consequences of Heavy Toxic Vapour Releases [Текст] / I Chem. E. Symposium No. 1. — Manchester — January 1986. — p.107.
7. Rijnmond Report: Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study [Текст] / Reidel Publishing Co. — Dordrecht — 1982. — p. 76.
8. ten Berge, W. F. and van Heemst M. V. 'Fourth International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries' [Текст] / IChemE, Symposium Serries No 80. — Harrogate. — September 1982.
9. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals. Volume 4. Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels Committee on Toxicology Board on Environmental Studies and Toxicology [Текст] / National Research Council of the National Academies. USA — 2004. — p. 99.
10. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах [Текст] : Сборник документов. Сер. 27. Вып. 2 / Колл. авт. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. — 208 с.
11. Methods for the calculation of physical effects. 'Yellow Book'. [Текст] / CPR 14E (Part 1). Sdu Uitgevers. Committee for the Prevention of Disasters. Third edition 1997. Chapter 3.
12. The HGSYSTEM technical reference manual и свод компьютерных кодов HGSYSTEM version 3.0 (HEGADAS-T Version 3.2, Copyright © Shell Internationale Research Maatschappij BV, The Hague, 1988-1994; HEGABOX Version 3.01, Copyright © Shell Internationale Research Maatschappij BV, The Hague, 1991-1994).
13. Компьютерный код ALOHA® 5.2.3, Developed jointly by NOAA and EPA.
14. UNIFIED DISPERSION MODEL (UDM) Theory Manual by H.W.M. Witlox CONSEQUENCE MODELLING DOCUMENTATION (UDM Version 6.0, January 2000), Det Norske Veritas.
15. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0) [Текст] : Сборник документов. Серия 27. — М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. — 252 с.
16. Грановский Э.А. Моделирование случайных и детерминированных процессов возникновения и развития техногенных аварий с использованием программного комплекса "РизЭкс-2" [Текст] / Э.А. Грановский, В.А. Лыфарь, А.П.Ворона // Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах: Труды Международной Научной Школы МА БР — 2007 (Россия, Санкт-Петербург, 4 - 8 сентября, 2007 г.) / СПб, ГУАП, 2007. — 540 стр.
17. AEGl Chemicals [Электронный ресурс] / U.S. Environmental Protection Agency. — Режим доступа : \www/ URL: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/chemlist.htm> — 14.11.2010 г. — Загл. с экрана.