

УДК 504.056:331.461.2

*Шматко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Говаленков С.С., ад'юнкт, УГЗУ*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОБИТ-ФУНКЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНОГО ПОРАЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

В работе предлагается использование пробит-функции для определения вероятности поражения личного состава при авариях на химически опасных объектах, связанных с выбросом или проливом химически опасных веществ. Исследование предложенных моделей позволит решать задачу оценки предельно допустимых значений концентраций химических веществ, а также определить предельно допустимое время нахождения личного состава, участвующего при ликвидации аварии в зоне проведения работ

Постановка проблемы. Аварии на химически опасных объектах (ХОО) могут приводить к разливам, пожарам, взрывам химически опасных веществ (ХОВ), когда главным поражающим воздействием является токсическое воздействие на людей и окружающую среду. Поэтому актуальной проблемой является достоверное прогнозирование уровней предельно допустимых концентраций ХОВ в зоне аварии (поля концентраций), определение времени эвакуации людей из этой зоны, а также предельно допустимого времени работы в зоне ликвидаторов аварии.

Анализ последних исследований и публикаций. К числу основных источников негативного воздействия на людей и окружающую среду при рассматриваемых авариях относятся: истечение жидкости через отверстие, перелив жидкости через обвалование при квазимгновенном разрушении резервуара, испарение жидкости, образование газопаровоздушного облака, «пожар-вспышка», взрыв резервуара с перегретой жидкостью в очаге пожара, пожар пролива, «огненный шар», факельное горение газовой и жидкостной струи, вскипание горячей жидкости в резервуаре [1]. В настоящее время разработано большое количество методик и руководящих документов для оценки последствий аварий на ХОО [2-6]. Основой описания физико-химических явлений и процессов, которые протекают в сложных технических системах, к числу которых относятся и ХОО, являются методы математического

Шматко А.В., Говаленков С.С.

моделирования и прогнозирования. Для оценки степени поражения людей наибольшее распространение получили численные и вероятностные методы. Как отмечается в работах В. Маршалла, Ф. Дж. Мартина, Н.Н. Брушлинского, В.А. Колосова, А.П. Шевчука, В.М. Колодкина, Л.В. Дранишниковой и др. авторов, использование вероятностных критериев для анализа поражения людей, зданий и оборудования — одно из наиболее перспективных и широко используемых направлений при моделировании чрезвычайных ситуаций (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]: при давлении во фронте ударной волны равном 70 кПа, возможны контузии людей, в случае термического воздействия теплового потока интенсивностью 37 кВт/м² при длительности воздействия 30 секунд, будут смертельно поражены 90% людей, попавших в зону облучения.

Постановка задачи и ее решение. Рассмотрим задачу определения оценки уровня токсической опасности относительно человека и конкретной меры ущерба. В качестве меры ущерба может быть принят определенный уровень поражения, в данном случае будем рассматривать крайнюю меру «ущерба» — летальный исход. Рассмотрим токсическое воздействие ХОВ. Экспериментально установлено, что зависимость между дозой вещества, полученной организмом человека, и его реакцией на это воздействие, выражается S-образной кривой [8]. В общем случае токсического воздействия на человека величина вероятности поражения $P_{пор}$ определяется функцией Гаусса

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

Верхней границей интеграла является пробит-функция, которая отображает связь между вероятностью поражения и дозой негативного влияния [7] и имеет вид

$$Pr = a + b \cdot \ln D, \quad (2)$$

где P_r — вероятностная единица (пробит), a и b — эмпирические коэффициенты, которые характеризуют специфику и степень опас-

Применение пробит-функции для прогнозирования возможного поражения людей при авариях на химически опасных объектах

ности вещества или процесса, D – доза негативного влияния.

В случае пребывания человека в атмосфере с постоянной концентрацией токсиканта и его воздействия на человека величина вероятности поражения $P_{пор}$ определяется соотношением [7]

$$Pr = a + b \cdot \ln(C_t^n \cdot \tau), \quad (3)$$

где n – показатель степени (эксперимент), τ – время воздействия, мин., C_t – концентрация токсиканта, которая связана с концентрацией ХОВ соотношением [7]

$$C_t = \frac{C \cdot (273,15 + t)}{12,187 \cdot M}, \quad (4)$$

где C – концентрация ХОВ (мг/л), t – температура смеси, °С, M – молекулярная масса ХОВ.

Рассмотренные модели имеют ряд недостатков, обусловленных тем, что коэффициенты a , b и n являются усредненными, так как результаты токсикологического воздействия существенно зависят от конкретного состояния человека, его возраста, физических и других данных. В частности, экспериментальные данные значений коэффициентов a , b и n справедливые для взрослых отличаются от данных для детей и людей пожилого возраста [7]. Кроме того, при одновременном воздействии нескольких ХОВ определение вероятности поражения с помощью выражений (3)-(4) затруднительно.

Для нахождения вероятности поражения человека предлагается использовать модель вида

$$U(D) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{1}{\sigma \sqrt{2}} \cdot \ln \frac{D}{LC_{\tau 50}} \right) \right), \quad (5)$$

где $U(D)$ – вероятность поражения человека от полученной токсической дозы, σ – дисперсия закона токсичности, LC_{50} – средняя смертельная концентрация, вызывающая летальный результат у 50% пораженных (мг/л).

Величина токсической дозы D отвечает интегралу

$$D(x, y, z) = \int_0^{t_0} c^n(x, y, z, t) dt, \quad (6)$$

где t_0 - время экспозиции. Для нахождения вероятности поражения человека $U(D)$ используем следующее выражение

$$U(D) = 1 / [1 + (LC_{\tau 50} / D)^\beta], \quad (7)$$

где $\beta = 1,667 / \ln S$, S – функция токсичности, $\ln S = \sigma$, $D = c^n \cdot t_0$. Функция токсичности S характеризует устойчивость организма к токсическому воздействию и определяется выражением [3]

$$S = 0,5(LD_{84} / LD_{50} + LD_{50} / LD_{16}), \quad (8)$$

где LD_{84} , LD_{50} , LD_{16} - средние смертельные токсические дозы, вызывающие летальный результат соответственно у 84%, 50% и 16% пораженных при 30-минутной продолжительности воздействия ХОВ для незащищенного личного состава.

На рис. 1 представлен график зависимости вероятности поражения людей (P) от уровня концентрации хлора и его токсическое воздействие в зоне аварии на протяжении 30 минут. Вероятность поражения людей с летальным исходом через указанное время при концентрации хлора 50 мг/м³ составит 22,85%, при концентрации 100 мг/м³ – 70,25% и при концентрации 200 мг/м³ – 96,46%.

На рис. 2 представлен график зависимости вероятности поражения людей (P) от уровня концентрации аммиака и его токсическое воздействие в зоне аварии на протяжении 30 минут. Вероятность поражения людей с летальным исходом через указанное время при концентрации аммиака 500 мг/м³ составит 8,09%, при концентрации 1000 мг/м³ – 87,81% и при концентрации 1500 мг/м³ – 99,61%.

На рис. 3 представлен график зависимости вероятности поражения людей (P) от уровня концентрации окиси углерода и его токсическое воздействие в зоне аварии на протяжении 30 минут. Вероятность поражения людей с летальным исходом через указанное время при концентрации окиси углерода 40 мг/м³ составит

10,26%, при концентрації 70 мг/м^3 – 78,92% и при концентрації 100 мг/м^3 – 98,31%.

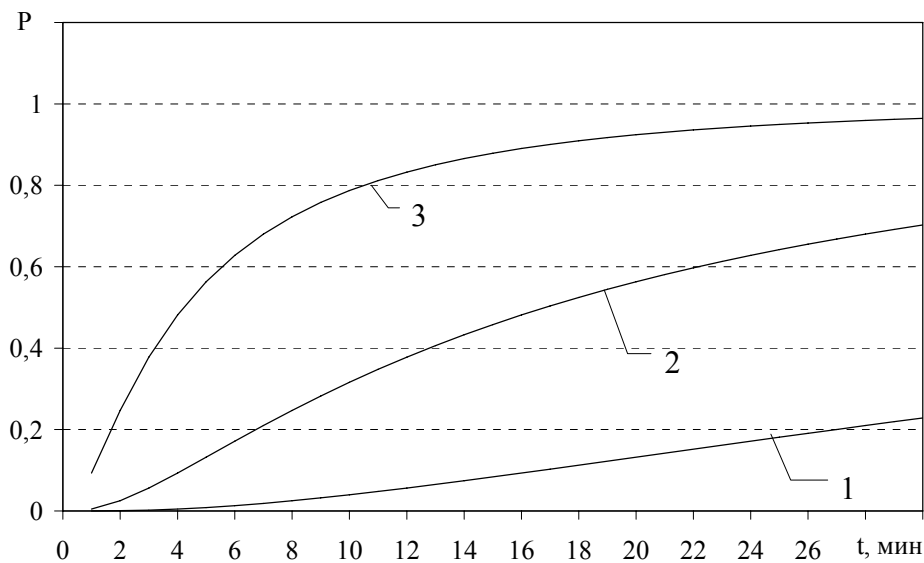


Рис. 1 – Залежності ймовірності ураження людей від часу впливу хлору для різних концентрацій: 1 - 50 мг/м^3 , 2 - 100 мг/м^3 , 3 - 200 мг/м^3

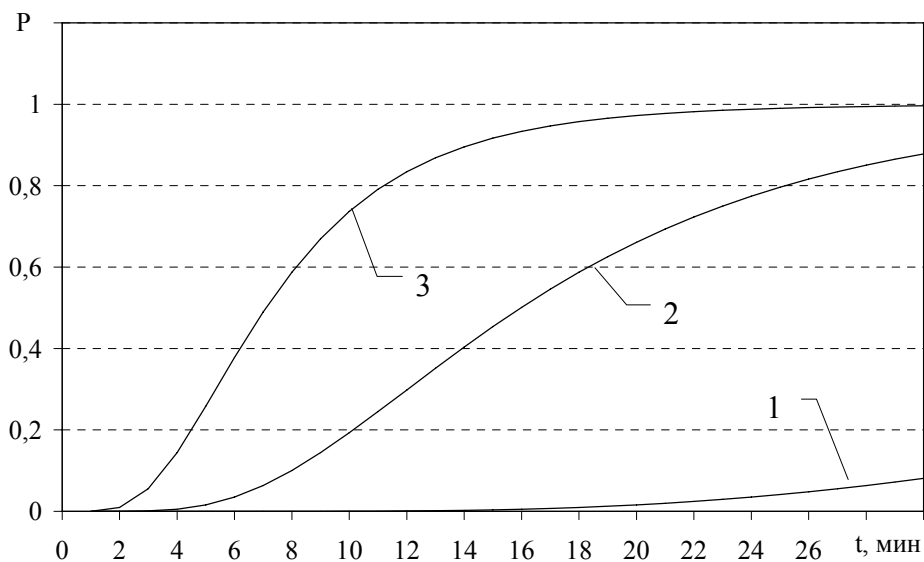


Рис. 2 – Залежності ймовірності ураження людей від часу впливу аміака для різних концентрацій: 1 - 500 мг/м^3 , 2 - 1000 мг/м^3 , 3 - 1500 мг/м^3

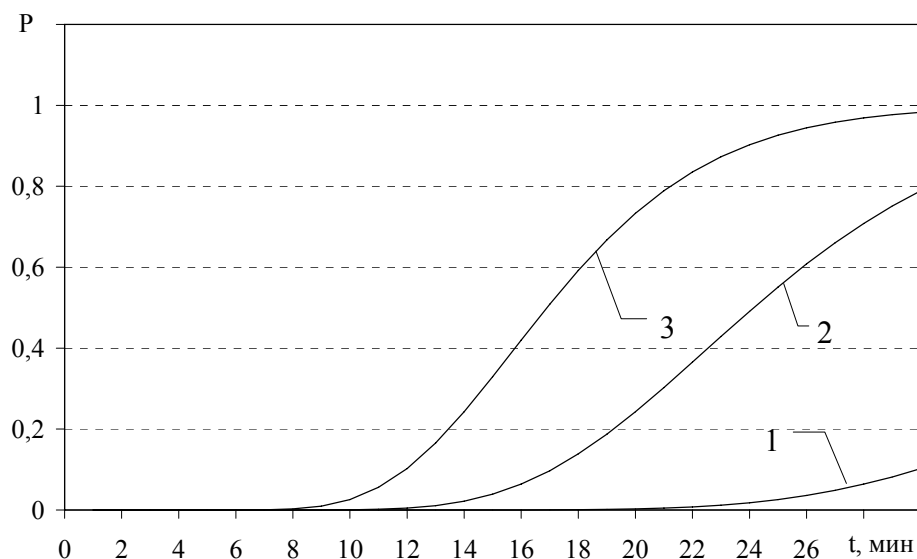


Рис. 3 – Залежності ймовірності ураження людей від часу впливу окису вуглецю для різних концентрацій: 1 - 40 мг/м³, 2 - 70 мг/м³, 3 - 100 мг/м³

Детальне дослідження побудованої моделі необхідно для рішення важкої задачі – визначення гранично допустимого часу перебування особистого складу, що бере участь у ліквідації аварії, в зоні проведення робіт.

Висновки. Представлена в цій роботі математична модель пробит-функції дозволяє визначати критичне час перебування людей в зоні аварії з впливом ХОВ в залежності від зміни їх концентрації. Головною особливістю побудованої моделі є можливість прогнозування часу евакуації людей з зони аварії, а також гранично допустимого часу роботи в зоні ліквідаторів при аваріях з різними хімічними речовинами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – 482 с.
2. Методики оценки последствий химических аварий на опасных производственных объектах. Сборник документов. Изд. 2-е испр. и доп. М.: Науч. техн. центр по безоп. в пром. и Ростехнадзора России, 2002. – 206 с.

3. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси»). – М.: НТЦ «Пром. безопасность», 1993. – 19 с.
4. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. ПБ 09-540-03. Вып. 11.-М.: Науч. -техн. центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 108 с.
5. Методика расчета распространения аварийных выбросов основанная на модели рассеивания тяжелого газа //Безопасность труда в промышленности. 2004. №9, С.38-42.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
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. Беленький М.А. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л.: Медгиз, 1963. – 152 с.

УДК 519.2.003.12:331.461.2

*Шматко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Малежик А.В., ад'юнкт, УГЗУ*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(представлено д-ром техн. наук Яковлевой Р.А.)

В работе предлагается использование вероятностно-детерминистических моделей для оценки последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах химической промышленности. Исследование предложенных моделей позволит решать задачу оценки распространения внешних воздействий по структурным компонентам объекта, а также учесть влияние воздействия чрезвычайных ситуаций на качественное состояние элементов объекта

Постановка проблемы. Для сложных технических систем, к которым относятся объекты химической промышленности, акту-

Шматко А.В., Малежик А.В.