

УДК. 614.8

## ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА ОТ ОБЪЕКТОВ С АММИАКОМ И ХЛОРОМ

Гаврилюк Д.А.\* , Ильющонок А.В., к.ф.-м.н., доцент, Катков В.Л.\* , д.т.н., профессор,  
Лешенюк Н.С., д.ф.-м.н., профессор, Отчик В.С., к.ф.-м.н., Попов В.М.\*\* , к.ф.-м.н.

\*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,

\*\*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси

*Рассмотрена методология оценки индивидуального риска от химико-технологических объектов. Описан программно-информационный комплекс РИСК-1, созданный в рамках ГППНИ «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций». Приводятся примеры работы комплекса – карты уровней концентраций, токсодоз и индивидуальных рисков, полученные в тестовых расчетах для некоторых опасных химических объектов г. Минска.*

(Поступила в редакцию 26 мая 2008 г.)

Республика Беларусь обладает разветвленной сетью предприятий, которые производят, транспортируют, хранят или используют в технологических процессах опасные химические вещества (ОХВ). Наиболее распространенными группами опасных химических объектов являются аммиачные установки и склады с хлором. На территории республики примерно на 500 объектах используется аммиак, примерно на 100 – хлор.

Общепринятой количественной мерой уровня опасности, создаваемой технологическим объектом, служит оценка риска [1, 2]. Такая оценка позволяет дифференцировать техногенные объекты по уровню потенциальной опасности, которую они представляют для человека и окружающей природной среды.

Наиболее общим показателем риска является произведение вероятности аварии на ущерб от нее [1–4]. Если в течение года на объекте может произойти  $k$  опасных событий, то выражение для оценки риска имеет вид:

$$R = \sum_{i=1}^k Q_i w_i, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – вероятность наступления в течение года  $i$ -го опасного события;  
 $w_i$  – возможный ущерб от  $i$ -го события.

В случае оценки индивидуального риска от химико-технологического объекта под величиной ущерба  $w_i$  чаще всего понимается вероятность гибели человека в результате токсического воздействия попавших в атмосферу ОХВ.

Для нахождения вероятности токсического поражения человека используется пробит-функция вида:

$$Pr = a + b \cdot \ln[C^n(x, y) \cdot t], \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $n$  – константы, свои для каждого конкретного ОХВ;

$C(x, y)$  – концентрация вещества в точке  $(x, y)$  зоны заражения;

$t$  – время действия ОХВ [5].

В случае  $n \neq 1$  для величины  $C^n \cdot t$  часто используется термин «токсическая нагрузка». Если концентрация вещества изменяется в течение времени воздействия, то токсическая нагрузка будет определяться как:

$$D_T = \int_0^{t_0} C^n(x, y, t) dt, \quad (3)$$

где  $t_0$  – время экспозиции.

Итак, для оценки риска, создаваемого в точке  $(x, y)$  опасным химическим объектом, необходимо знать вероятность возникновения на объекте аварии с выбросом (или проливом) ОХВ и токсическую нагрузку.

Нормативная документация [6] рекомендует определять вероятность возникновения аварии на опасном объекте на основе статистических данных, для чего требуется репрезентативная статистическая выборка о количестве аварий на том или ином объекте (группе объектов) за предшествующий период времени. Считая аварии независимыми событиями, распределенными по биномиальному закону, можно показать, что относительная ошибка  $\varepsilon$  при определении вероятности возникновения аварии по ее частоте определяется следующим выражением [7]:

$$\varepsilon = 1/\sqrt{\lambda mn}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – вероятность аварии на объекте в течение года;

$m$  – количество объектов, за которыми осуществляется наблюдение;

$n$  – число лет, в течение которых это наблюдение происходит.

Если положить, что вероятность аварии на объекте, использующем аммиак ( $m \approx 500$ ), составляет  $10^{-4}$ , то для оценки этой вероятности даже со 100 %-й ошибкой требуются статистические данные за 20 лет. Следует обратить внимание, что рассчитанное на основании таких данных значение  $\lambda$  не будет нести значимой информации о вероятности аварии на конкретном объекте, потому что наблюдаемые объекты не являются однотипными. При выборе информации об однотипных объектах, их количество будет существенно меньше 500, и, следовательно, необходимы статистические данные за временной интервал, превышающий 20 лет в несколько раз. Такие данные отсутствуют уже по той причине, что срок эксплуатации исследуемых объектов составляет примерно 30–40 лет.

Отсутствие репрезентативной статистики по наиболее распространенным в Республике Беларусь группам опасных химических объектов требует другого подхода для определения вероятности аварии на них. Для таких объектов вероятность рассчитывается, исходя из структуры объекта и логики развития физико-химических процессов в ходе аварии (теоретико-вероятностный метод оценки риска) [2]. Для аммиачных установок и складов с хлором наибольшую опасность представляют аварии, связанные с полной разгерметизацией резервуаров и трубопроводов, расположенных на открытых площадках [7]. Обобщенная информация по частоте отказов элементов на объектах с аммиаком и хлором приведена в таблице.

К числу наиболее распространенных методов расчета концентрации опасных веществ, поступающих в атмосферу в результате промышленных аварий, относятся гауссовские модели и модели рассеяния, базирующиеся на интегральных законах сохранения массы и энергии. В основе гауссовских моделей лежит предположение о нормальном (гауссовском) распределении вредных веществ в атмосфере. В них учитываются в основном два процесса, происходящие с выбросом в атмосфере: перемещение примеси под действием ветра и рассеяние ее за счет атмосферной турбулентности, которая определяется с помощью эмпирических коэффициентов.

Таблица – Обобщенная информация по частоте отказов элементов оборудования на объектах с аммиаком и хлором

Событие	Частота, год <sup>-1</sup>	Выбрасываемая (выливаемая) масса и данные для ее расчета
Разгерметизация контейнера с хлором	1,0·10 <sup>-4</sup>	Все содержимое контейнера. Емкость контейнера
Разгерметизация изотермы с аммиаком	1,0·10 <sup>-6</sup>	Все содержимое изотермы. Емкость изотермы
Разгерметизация резервуара с аммиаком под давлением	1,0·10 <sup>-4</sup>	Все содержимое резервуара. Емкость резервуара
Разгерметизация трубопровода с аммиаком (до 90 % случаев – выброс содержимого через отверстие в стенке трубопровода; 10 % случаев – полный разрыв трубопровода)	5·10 <sup>-6</sup> ·м <sup>-1</sup>	Истечение до отключения трубопровода. Длина, диаметр трубопровода, рабочее давление, производительность насоса, время срабатывания системы автоматики отключения

На распространение выбросов с плотностью, большей плотности воздуха, влияет их растекание под действием сил плавучести. Для аммиака это не имеет существенного значения, игнорирование же процесса гравитационного растекания в гауссовой модели для хлора, плотность паров которого превышает плотность воздуха, приводит к завышению его концентрации вблизи источника.

На изложенных выше подходах базируется работа созданного в рамках ГППНИ «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций» программно-информационного комплекса РИСК-1, предназначенного для оценки индивидуальных рисков от объектов с аммиаком и хлором. В случае мгновенного выброса примесей из точечного источника, расположенного над подстилающей поверхностью в точке с координатами (0, 0, h), поле концентрации ОХВ описывается формулой [8]:

$$C(x, y, z, t) = \frac{M \exp\left(-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)}{\left(\frac{8}{3}\pi R_0^3 + (2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z\right)} \left\{ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}, \quad (5)$$

где  $M$  – масса ОХВ в выбросе;

$R_0$  – радиус облака выброса в начальный момент времени;

$u$  – скорость ветра;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – стандартные отклонения облака примеси по направлениям соответствующих осей координат.

Направление оси  $x$  выбирается вдоль ветра. Входящие в формулу (5) коэффициенты дисперсии  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  вычисляются с помощью эмпирических зависимостей Смита-Хоскера, отражающих возрастание дисперсии с увеличением расстояния  $X = u \cdot t$  от источника выброса до центра облака [1]. Конкретный вид этих выражений зависит от класса вертикальной устойчивости атмосферы.

Для расчета поля концентрации по формуле (5), а следовательно, и токсической нагрузки, требуется знать ряд метеорологических параметров: скорость и направление ветра, температуру атмосферного воздуха, класс его вертикальной стратификации. При оценке риска невозможно спрогнозировать значения этих параметров на момент аварии, поэтому

необходимо учитывать весь спектр возможных состояний атмосферы в пределах характерного периода изменений [4]. Республиканский гидрометеорологический центр на регулярной основе предоставляет необходимую информацию по месяцам и годам.

При построении полей рисков важным является вопрос о выборе величины временного интервала, за который определяются средние значения метеопараметров. При осреднении за год они оказываются сильно «сглаженными». Например, среднегодовые температуры в Минске получаются положительными, в результате чего месяцы с отрицательными температурами как бы «выпадают» из расчета. Уменьшение временного интервала, за который определяются средние значения параметров среды, приводит к повышению точности оценки, но увеличивает объем вычислений. Поскольку расчеты проводятся на компьютере, это увеличение не носит принципиального характера. С учетом сказанного в программно-информационном комплексе РИСК-1 в качестве временного интервала осреднения принят месяц.

Исходными данными для определения пространственного распределения полей рисков с учетом возможных состояний окружающей среды являются: средняя скорость и повторяемость ветра в различных направлениях (по 8-румбовой схеме) по месяцам; среднемесячная температура воздуха; среднее за месяц число ясных и пасмурных дней; среднее за месяц количество дней со снежным покровом.

Риск от  $i$ -й аварии в точке с координатами  $(x, y)$  вычисляется по формуле:

$$R_i(x, y) = \frac{Q_i}{365} \sum_{m=1}^{12} N_m \sum_{j=1}^9 P_{v_{m,j}} \sum_{s=1}^3 P_{v_{m,j,s}} w_i(x, y, s, V_{m,j}, T_m), \quad (6)$$

где  $N_m$  – количество дней в  $m$ -м месяце;

$P_{v_{m,j}}$  – вероятность направления ветра в  $m$ -м месяце в  $j$ -м румбе;

$P_{v_{m,j,s}}$  – относительная частота наблюдения той или иной вертикальной устойчивости атмосферы ( $s = 1$  – инверсия,  $s = 2$  – изотермия,  $s = 3$  – конвекция) в течение  $m$ -го месяца;

$V_{m,j}$  – средние значения скорости ветра в  $j$ -м румбе;

$T_m$  – средняя за  $m$ -й месяц температура воздуха.

Результирующее поле риска  $i$ -й аварии получается наложением  $12 \times 9 \times 3 = 324$  пространственных «сеток».

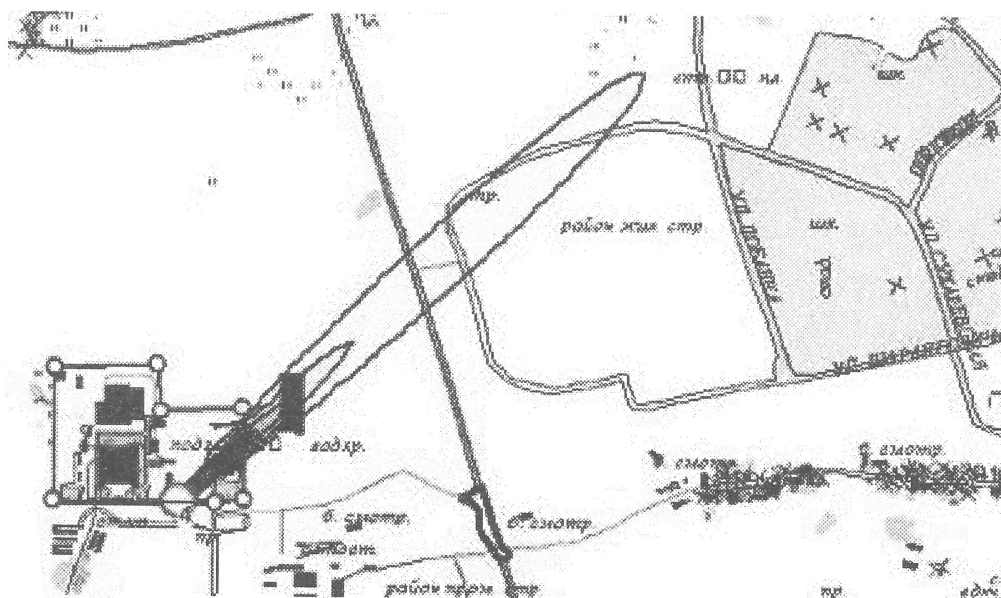
Программно-информационный комплекс работает в трех режимах. *Оценка* – оценка величины индивидуального риска аварии на опасном химическом объекте по метеонаблюдениям за определенный период. *Анализ* – анализ конкретной чрезвычайной ситуации, случившейся на опасном объекте, с расчетом полей концентраций и токсодоз. *Регламент* – проведение регламентных работ по поддержанию комплекса РИСК-1 в актуальном состоянии, в основном пополнение баз данных комплекса новой метеорологической информацией.

По окончании сеанса работы комплекса РИСК-1 можно автоматически получить типовой отчет по оценке риска, исходящего от опасного объекта, или отчет с анализом конкретной чрезвычайной ситуации. В отчет включаются: электронные карты с полем концентрации ОХВ (режим *Анализ*, рисунок 1), полем токсодоз (режим *Анализ*, рисунок 2), полем индивидуальных рисков (режим *Оценка*, рисунок 3); графики концентрации и токсодоз по оси «факела» выброса и др. Каждая карта сопровождается краткой легендой, в которой указаны адрес опасного объекта, дата и тип аварии, метеоусловия, характеристики выброса, прогнозное число людей, пострадавших при аварии, и т. д. На приведенных рисунках ради экономии места легенды не указываются, а в подписях под рисунками дается часть информации из легенды и текстовой части итогового отчета комплекса после сеанса его работы.



Разрушение емкости с 1 т жидкого хлора. Начальный размер облака выброса 2,5 м. Площадь пролива жидкого хлора – 14,0 м<sup>2</sup>. Ветер юго-западный, 2,1 м/с. Масштаб карты 1 : 15 000

Рисунок 1 – Поле приземной концентрации хлора через 1000 с после выброса при гипотетической аварии на Минской водоочистной водопроводной станции



Пороговая токсодоза – 0,6 мг·мин/л, летальная токсодоза – 6 мг·мин/л. Возможное число пострадавших от пороговой токсодозы составит 2 чел., от летальной токсодозы – 5 чел.; всего пострадает 7 чел. из общего числа 140 чел. работающей смены

Рисунок 2 – Поле токсодоз хлора через 1000 с после начала выброса на очистной водопроводной станции г. Минска



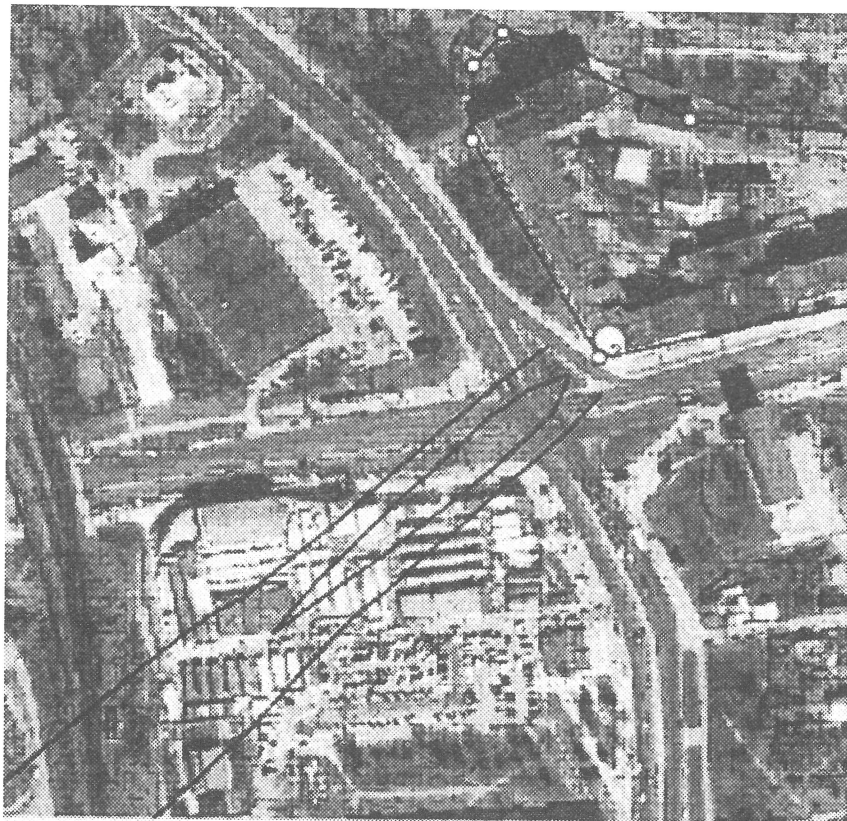
этом объекте в случае северо-восточного ветра может сформироваться поле токсодозы аммиака, накрывающее Червенский рынок, на котором в определенные часы может находиться много людей.

Созданный программный комплекс можно использовать в *Министерстве по чрезвычайным ситуациям*:

- при районировании территории республики по величине риска аварий на опасных объектах;
- для периодической (плановой) оценки рисков аварий на опасных химических объектах;
- при расследовании причин и последствий чрезвычайных ситуаций;
- при подготовке планов мероприятий по уменьшению рисков и снижению ущерба от аварий, для мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Также этот комплекс можно использовать в *Министерстве промышленности* при подготовке паспортов безопасности предприятий, имеющих химически опасные объекты и производства; в *Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды*: при осуществлении государственного контроля по охране окружающей среды, при организации работ по прогнозированию изменения экологической обстановки вследствие антропогенной нагрузки в районах размещения опасных производств и интенсивной хозяйственной деятельности; в *высших учебных заведениях*: при изучении дисциплин «Охрана окружающей среды», «Моделирование ветрового переноса загрязнений», «Опасные факторы чрезвычайных ситуаций» и др.

В дальнейшем развитии комплекса РИСК предполагается реализовать в нем методику «Токси», ред. 3.1 [9].



Минск, опасный объект БЕЛМЕДПРЕПАРАТЫ (рядом с Червенским рынком)

**Рисунок 4 – Наложение рассчитанного поля токсодозы аммиака на космический снимок**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Количественная оценка риска химических аварий / Колодкин В.М. [и др.]; под ред. В.М. Колодкина. – Ижевск: изд. дом «Удмурдский университет», 2001. – 228 с.
2. Акимов, В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев. – М.: «Деловой экспресс», 2001. – 344 с.
3. Владимиров, В.А. Оценка риска и управление техногенной безопасностью / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков. – М.: «Деловой экспресс», 2002. – 184 с.
4. Шахраманьян, М.А. Новые информационные технологии в задачах обеспечения национальной безопасности России (природно-техногенные факторы) / М.А. Шахраманьян. – М.: Информ.-изд. центр ФЦ ВНИИ ГОЧС, 2003. – 397 с.
5. Лошадкин, Н.А. Пробит-метод в оценке физиологически активных веществ при низких уровнях воздействия / Н.А. Лошадкин [и др.] // Рос. хим. журн. (ЖРХО). – 2002. – Т. 16, № 6. – С. 63–67.
6. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: НПБ 5-2005. – Введ. 01.07.06. – Минск: ОДО «Друк-С», 2006. – 42 с.
7. Ильюшонок, А.В. Оценка вероятности возникновения аварии на объектах химико-технологического комплекса / А.В. Ильюшонок, С.А. Лодята // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – № 1 (21). – С. 36–44.
8. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2) // Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: сб. док. / ГУП «НТЦ Промышленная безопасность». – М., 2001. – С. 121–204.
9. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ (Методика «Токси». Редакция 3.1): проект. – М.: ФГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. – 67 с.