

Е. В. Старовойтова, А. Д. Галеев, С. И. Поникаров

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА СЖИЖЕННОГО АММИАКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОГО КРИТЕРИЯ ПОРАЖЕНИЯ

Ключевые слова: аварийный выброс, сжиженный газ, пробит-функция, численное моделирование.

Проведена оценка последствий аварийного выброса сжиженного аммиака в условиях реальной застройки при различных скоростях ветра. Показаны области смертельного поражения человека при различных значениях пробит-функции.

Keywords: accidental release, liquefied gas, probit function, numerical simulation.

The estimation of consequences of liquefied ammonia accident release in presence buildings at different wind speed was carried out. The areas of lethal impact zone of human at different probit-function values are shown.

Введение

На территории Республики Татарстан сосредоточено большое количество опасных предприятий химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и других родственных им отраслей промышленности, где используются, перерабатываются и хранятся сжиженные газы. Например, ООО «Менделеевскаэот», где в шаровых резервуарах находится по 1000 т жидкого аммиака, ОАО «Вамин-Татарстан», филиал ЗАО «Пивоварня Москва-ЭФЕС» (г.Казань), на которых имеются промышленные холодильные установки, где в качестве хладагента используется аммиак в количестве до 6т; водопроводные и очистные сооружения, на которых до сих пор применяется для обеззараживания воды хлор; газозаправочные станции, на которых хранятся, используются сжиженные углеводородные газы для заправки автомобилей.

Объекты хранения сжиженных токсичных и взрывоопасных газов представляют реальную угрозу для здоровья и жизни людей, а также окружающей среде, так как в результате их интенсивного парообразования образуются протяженные токсичные или взрывоопасные облака.

Достоверное прогнозирование зон поражения имеет важное значение для обоснования мер защиты людей и окружающей среды от последствий крупных аварий; решения вопросов размещения объектов (установок) на ограниченной территории; при страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте.

В данной работе на базе численного моделирования проведена оценка последствий аварийного выброса сжиженного аммиака в условиях застройки с использованием вероятностного критерия поражения людей.

Математическая модель парообразования

При разрушении емкости с перегретой жидкостью в результате резкого снижения давления и нарушения термодинамического баланса происходит мгновенное вскипание определенной части жидкой фазы за счет высвобождения внутренней энергии. При этом устанавливается новое состояние равновесия, а

температура оставшейся жидкой фазы понижается до температуры кипения при атмосферном давлении. Расчет доли мгновенно вскипающей однокомпонентной жидкости при адиабатическом расширении проводился с использованием уравнения [1]:

$$x_v = 1 - \exp\left(-\frac{C_{p,liq}(T_0 - T_b)}{\Delta H_g}\right),$$

где $C_{p,liq}$ — удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К); T_0 — температура сжиженного газа в емкости, К; T_b — температура кипения жидкости, К; ΔH_g — удельная теплота парообразования при температуре кипения и атмосферном давлении, Дж/кг.

В результате мгновенного вскипания расширяющиеся пары диспергируют и увлекают часть жидкости, поэтому образующееся облако содержит смесь пара и жидкости в виде аэрозоля. Предполагалось, что масса выброшенных капель жидкости равна массе мгновенно образовавшейся паровой фазы [1]. Обратное влияние дисперсной фазы на несущий поток, обусловленное межфазным обменом теплотой, импульсом и массой, учитывается включением соответствующих источников членов в уравнения переноса энергии, импульса, примеси и в уравнение неразрывности для сплошной фазы. Движение несущей фазы описывалось системой трехмерных нестационарных уравнений Рейнольдса, замыкаемых уравнением состояния идеального газа и Realizable k-ε моделью турбулентности. Подробное описание модели распространения и испарения аэрозолей представлено в работах [2,3].

Часть жидкой фазы, оставшейся после мгновенного вскипания, разливается на подстилающей поверхности и переходит в состояние кипения. Интенсивность парообразования при этом пропорциональна скорости теплопритока из окружающей среды. В разработанной модели на стадии кипения учитывается не только тепловой поток от грунта, как в существующих методиках, но и тепловые потоки из атмосферы, от солнечной радиации, потери тепла вследствие длинноволнового излучения поверхности пролива, теплоприток к проливу вследствие длинноволнового

излучения атмосферы. Модель парообразования из пролива сжиженного газа подробно описана в [4].

Пользовательские функции использовались для учета дополнительного нагрева воздуха вследствие конденсации водяного пара в холодном аэрозольном облаке путем включения источников членов в уравнении энергии и в уравнении переноса компонента (паров воды) [3].

Для дискретизации дифференциальных уравнений применялся метод контрольного объема, реализованный в пакете FLUENT.

Результаты численных расчетов

Разработанная методика использовалась для оценки зоны токсического поражения в случае аварийного выброса жидкого аммиака при разгерметизации аммиачной установки с учетом реальной промышленной застройки.

Принималось, что в емкости содержится 6 тонн сжиженного аммиака. Температура окружающей среды принималась равной максимальной среднемесячной температуре окружающего воздуха в наиболее теплое время года и составляла $T_0 = T_a = 308$ К. Относительная влажность воздуха задавалась равной 50%, соответствующая значению средней влажности в жаркий период времени. Скорость ветра на высоте 10 м – 1; 2,5 и 5 м/с. Состояние атмосферы – изотермия. Материал подстилающей поверхности – бетон. Время экспозиции – 1800 с. Площадь пролива жидкости, оставшейся после мгновенного вскипания, определялась из условия образования слоя толщиной 0,05 м [5].

Для оценки вероятности смертельного поражения человека используется пробит-функция Pr , по которой определяется вероятность смертельного поражения человека на открытом пространстве. Величина Pr определяется по следующей формуле [6]:

$$Pr = a + b \cdot \ln \left(\int_0^{t_{\text{экп}}} (Y_g(x, y, z, t))^n dt \right)$$

где Y_g — концентрация токсичного газа, ppm; a , b — константы, характеризующие специфику и меру опасности воздействия токсичного вещества; n — показатель степени, характеризующий механизм воздействия и природу токсиканта; $t_{\text{экп}}$ — время воздействия, мин.

Для аммиака принимались следующие значения коэффициентов: $a = -35,9$, $b = 1,85$, $n = 2$ [6].

Зависимость между вероятностью смертельного поражения P и пробит-функцией представлена в табл. 1.

Таблица 1 - Значения вероятности смертельного поражения P в зависимости от Pr [6]

$P, \%$	0,1	10	50	100
Pr	2,67	3,72	5,0	8,09

Области возможного смертельного поражения при различных значениях пробит-функции и скоростях ветра представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, наличие зданий и скорости ветра оказывают существенное влияние на значения Pr . С повышением скорости ветра возможные зоны смертельного поражения при различной вероятности уменьшаются. Однако, как можно заметить, область, соответствующая 100% смертности, практически одинакова при всех рассматриваемых скоростях ветра и сосредоточена вблизи пролива. Рециркуляционные течения удерживают газ у подветренной стороны здания в результате чего в следе здания величина Pr имеет высокие значения.

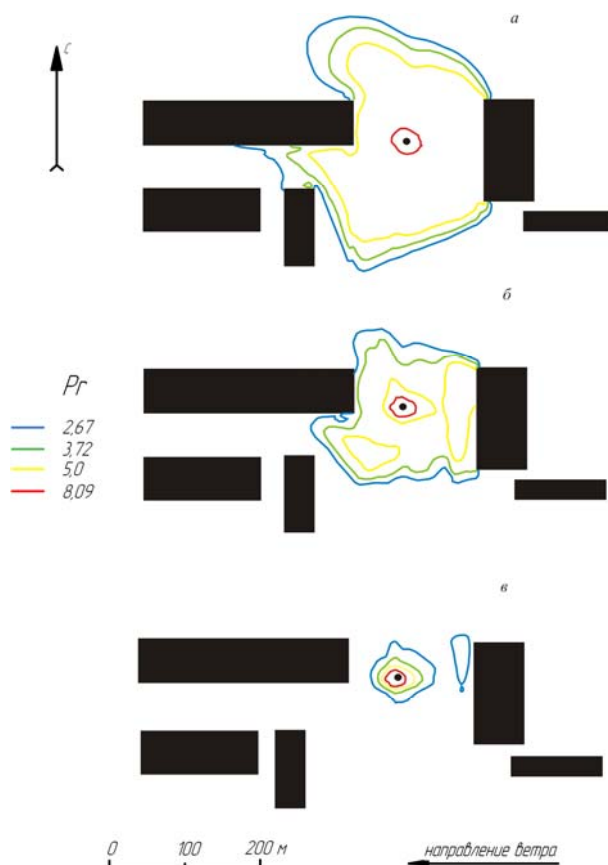


Рис. 1 - Области смертельного поражения человека при вероятностях: 0,1 % ($Pr=2,67$), 10 % ($Pr=3,72$), 50 % ($Pr=5,0$), 100 % ($Pr=8,09$) при скоростях ветра: а – 1 м/с; б – 2,5 м/с; в – 5 м/с

Вывод

С помощью пробит-функций оценены возможные области смертельного поражения человека. Показано, что зона, соответствующая 100% вероятности летального поражения, практически одинаковая при скоростях ветра 1, 2,5 и 5 м/с и сосредоточена в области пролива.

Наличие препятствий в виде зданий, сооружений в области выброса, скорость ветра оказывают существенное влияние на значения пробит-функции, что необходимо учитывать при разработке мероприятий по обеспечению безопасности персонала.

Литература

1. В. Маршалл. Основные опасности химических производств. Мир, Москва, 1989. 672 с.
2. Е.В. Старовойтова, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, *Вестник Казан. технол. ун-та*, **14**, 13, 175-179 (2011).
3. Е.В. Старовойтова, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, *Вестник Казан. технол. ун-та*, **15**, 6, 207-209 (2012).
4. Е.В. Старовойтова, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, *Вестник Казан. технол. ун-та*, **15**, 4, 110-112 (2012).
5. РД-03-26—2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ / Сер. 27. – Вып. 6 / Кол. авт. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2008.
6. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси-2.2»): сб. док-тов // Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах. Сер. 27. Вып. 2 / Кол. авт. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. – 208 с.

© **Е. В. Старовойтова** – к.т.н., асс. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, starovojtova@inbox.ru;
А. Д. Галеев – к.т.н., доц. той же кафедры; **С. И. Поникаров** – д.т.н., проф., зав. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ.