

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 «Менделеевсказот», 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]: где  $C_{p,liq}$  — удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг×К);  $T_0$  — температура сжиженного газа в емкости, К;  $T_b$  — температура кипения жидкости, К;  $D_{Hg}$  — 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]: 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;  $t_{эксп}$ —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]

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

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.