

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НА ЭВМ ОЦЕНКИ РИСКА ХИМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ АВАРИЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА, ПЕРЕВОЗЯЩЕГО АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА

**О.Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;**

А.А. Аксенов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассматриваются особенности программной реализации на ЭВМ оценки риска химической опасности аварий автомобильного транспорта, перевозящего аварийно химически опасные вещества, пути совершенствования оперативной оценки риска химической опасности таких аварий и рекомендации по обеспечению безопасности перевозок аварийно химически опасных веществ автомобильным транспортом в пределах населенных пунктов, а также ликвидации последствий аварий.

Ключевые слова: подвижный химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, риск химической опасности

FEATURES OF THE SOFTWARE IMPLEMENTATION ON A COMPUTER RISK ASSESSMENT CHEMICAL HAZARDS OF ACCIDENTS OF VEHICLES CARRYING DANGEROUS CHEMICAL SUBSTANCES

O.N. Savchuk; A.A. Aksenov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article discusses the features of the software implementation on a computer risk assessment chemical hazards of accidents of vehicles carrying hazardous chemicals, ways to improve operational risk assessment of chemical hazards such accidents and recommendations for ensuring the safe transport of hazardous chemicals by road transport within settlements, as well as the elimination of consequences of accidents.

Keywords: movable chemically dangerous objects, dangerous chemical substance, risk of chemical hazards

В XX в. бурное развитие получила химическая промышленность и особенно ее нефтехимическая отрасль. Погоня за увеличением добычи нефти привела к росту промышленных предприятий по ее переработке и увеличению количества аварийно химически опасных веществ (АХОВ), образующихся в процессе технологического цикла, а также к росту использования их в других отраслях промышленности. Не менее трети всех существующих предприятий имеет дело с химическими веществами – производят их или используют в своих технологических процессах [1].

Сегодня крупными потребителями АХОВ являются:

– черная и цветная металлургия, которые используют в процессе производства хлор, аммиак, соляную кислоту, ацетонциангидрин, водород фтористый, нитрил акриловой кислоты;

– целлюлозно-бумажная промышленность – хлор, аммиак, сернистый ангидрид, сероводород, соляная кислота;

- машиностроительная и оборонная промышленность – хлор, аммиак;
- медицинская промышленность – хлор, аммиак, фосген, нитрил акриловой кислоты, соляная кислота;
- сельское хозяйство – аммиак, хлорциан, хлорпикрин, сернистый ангидрид.

Для бесперебойной работы этих производств требуется своевременная доставка АХОВ различными видами транспорта.

В объеме грузов, перевозимых в России всеми видами транспорта, доля опасных грузов, в том числе АХОВ, составляет порядка 20 % или примерно 800 млн т. Из них 65 % приходится на долю автомобильного транспорта, около 30 % – на долю железнодорожного транспорта, примерно 5 % – на долю речного и морского транспорта и около 0,1 % – на долю авиации. Безусловно, наиболее проблемным вопросом в области перевозок опасных грузов является снижение их аварийности. Россия по этому показателю находится на уровне других экономически развитых государств, однако ситуация во многом осложняется тем, что значительное количество транспорта с опасными грузами постоянно находится в непосредственной близости от промышленных предприятий и жилых массивов, что создает повышенную угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций с особо тяжелыми последствиями [2].

Для успешного решения задач по предупреждению и ликвидации аварий на подвижных химически опасных объектах (ХОО) необходимо заблаговременное тщательное планирование осуществления профилактических мероприятий, а также обоснованного расчета сил и средств на ликвидацию последствий. Эффективность планирования и осуществления мероприятий по предупреждению и обеспечению безопасности населения вокруг подвижных ХОО зависит от достоверного и своевременного прогноза возможной аварии на том или ином подвижном ХОО, условий пребывания вблизи селитебной части населенных пунктов и учета особенностей организации ликвидации последствий аварии.

Проблема актуальна в связи с отсутствием в настоящее время уточненных методик оценки безопасности и риска для подавляющего большинства типов транспортных объектов, учитывающих неполную разгерметизацию перевозимых резервуаров с АХОВ [3].

Актуальность проблемы обеспечения химической безопасности таких объектов в настоящее время еще обусловлена осложнением международной обстановки в связи с событиями на Украине, дальнейшим распространением НАТО на восток, наращиванием размещения вооруженных сил НАТО в странах, непосредственно граничащих с Россией, усилением террористической деятельности [1].

По данным центра дорожно-транспортных происшествий (ДТП) (Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России) за период с 1 февраля 2014 г. по 17 февраля 2015 г. в России произошло 26 ДТП с опасными грузами. В табл. 1 представлено количество происшествий ДТП с опасными грузами и вероятность реализации происшествий по субъектам Российской Федерации. На рис. 1 представлен график распределения вероятности аварий на транспорте, перевозящем опасные грузы, по субъектам Российской Федерации.

По результатам анализа статистических данных можно сделать вывод, что высокая вероятность возникновения подобного рода аварий в Волгоградской, Московской, Ленинградской областях и Краснодарском крае.

Анализ и оценка рисков химической опасности аварий автомобильного транспорта, перевозящего АХОВ, требует совершенствования способов и методов прогнозирования возможных потерь населения и сотрудников Государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России в условиях их возникновения.

Таблица 1. Количество происшествий ДТП с опасными грузами и вероятность реализации их по субъектам Российской Федерации

Территории	Количество ДТП с опасными грузами	Вероятность ДТП 1/год
Российская Федерация	26	0,0722
Северо-Западный региональный центр (РЦ) (Санкт-Петербург)	3	0,0083
Ленинградская область	3	0,0083
Центральный РЦ (Москва)	5	0,0139
Курская область	1	0,0028
Московская область	3	0,0083
Ярославская область	1	0,0028
Южный РЦ (г. Ростов-на-Дону)	12	0,0333
Республика Калмыкия	1	0,0028
Краснодарский край	3	0,0083
Астраханская область	1	0,0028
Волгоградская область	7	0,0194
Северо-Кавказский РЦ (г. Железноводск)	1	0,0028
Ставропольский край	1	0,0028
Приволжский РЦ (г. Нижний Новгород)	2	0,0056
Удмуртская Республика	1	0,0028
Оренбургская область	1	0,0028
Уральский РЦ (г. Екатеринбург)	1	0,0028
Челябинская область	1	0,0028
Сибирский РЦ (г. Красноярск)	1	0,0028
Кемеровская область	1	0,0028
Главное управление МЧС России по Республике Крым	1	0,0028
Республика Крым	1	0,0028

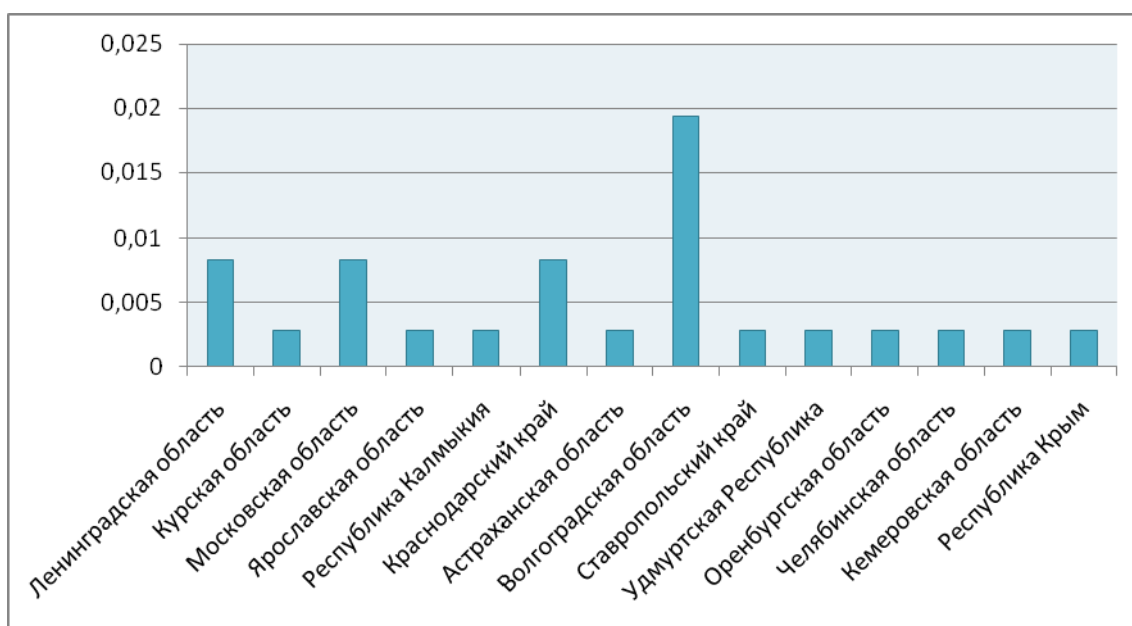


Рис. 1. График распределения вероятности аварий на транспорте, перевозящем опасные грузы, по субъектам Российской Федерации

Анализ риска химической опасности имеет ряд общих положений, независимо от конкретной методики анализа и специфики решаемых задач. Во-первых, общей является задача определения допустимого уровня риска химической опасности, стандартов безопасности обслуживающего персонала, населения и защиты окружающей природной среды. Во-вторых, определение допустимого уровня риска химической опасности происходит, как правило, в условиях недостаточной или непроверенной информации, особенно когда это касается новых технологических процессов или новой техники. В-третьих, в ходе анализа в значительной мере приходится решать вероятностные задачи, что может привести к существенным расхождениям в получаемых результатах. В-четвертых, анализ риска химической опасности нужно рассматривать как процесс решения многокритериальных задач, которые могут возникнуть как компромисс между сторонами, заинтересованными в определенных результатах анализа [4].

Оценка риска – этап, на котором идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критериев приемлемого риска с целью выделения опасности с неприемлемым уровнем риска, этот шаг послужит основой для разработки рекомендаций и мер по уменьшению опасностей.

Рассмотрим систему критериев приемлемости риска. В соответствии с этими критериями, первый диапазон риска (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или меньший 1×10^{-6} , что соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц) характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков (уровень *De minimis*). Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению и их уровни подлежат только периодическому контролю.

Второй диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни более 1×10^{-6} , но менее 1×10^{-4}) соответствует предельно допустимому риску, то есть верхней границе приемлемого риска. Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Третий диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни более 1×10^{-4} , но менее 1×10^{-3}) приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории.

Четвертый диапазон (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или более 1×10^{-3}) неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Данный диапазон обозначается как *De manifestis Risk* и при его достижении необходимо давать рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска.

Таким образом, за показатель приемлемого риска для населения принимаем 1×10^{-6} , для сотрудников ГПС МЧС России 1×10^{-4} .

Существующие программные комплексы по прогнозированию аварий на объектах с АХОВ рассматривают сценарии полного разрушения и пролива стационарно расположенных объектов и не учитывают характер разгерметизации подвижных объектов с АХОВ.

При выявлении химической обстановки при авариях подвижных объектов с АХОВ следует учитывать распространение зараженного облака как с участка пролива от момента разгерметизации цистерны до остановки транспорта, так и с участка последующего пролива при остановке. Разлив АХОВ из пробоины будет происходить до остановки автотранспорта. При остановке транспорта происходит пролив остального количества АХОВ, содержащегося

в резервуаре в зависимости от величины отверстия и высоты его расположения: либо до полного его истечения, либо частично, либо до времени герметизации отверстия.

При оценке риска химической опасности подвижных объектов с АХОВ необходимо учитывать три сценария развития аварий:

- аварии во время загрузки АХОВ;
- аварии в ходе перемещения транспорта с АХОВ на маршруте;
- аварии во время выгрузки АХОВ.

Наибольшее внимание следует уделить авариям в ходе перемещения транспорта с АХОВ на маршруте, так как на погрузочно-разгрузочных станциях уже приняты меры по обеспечению безопасности в случае аварии. Объекты находятся на безопасном расстоянии от городов, эстакады оборудованы лафетными стволами для быстрой локализации возникшей аварии и т.д.

В общем случае потенциальный риск химической опасности аварии подвижного ХОО и в селитебной зоне вблизи такого объекта определяется по формуле:

$$R_x = \sum_i^{m_c} Q^* \cdot P_i \cdot R_i,$$

где P_i – вероятность пребывания человека в i среде обитания; $Q^* = \sum_j^k Q_j$ – частота реализации

в течение года аварии на подвижном ХОО; Q_j – частота событий, инициирующих сценарии аварии ($j=1-k$); R_i – условная вероятность поражения человека (сотрудника ГПС МЧС России) при нахождении в i среде обитания; m_c – количество ситуаций нахождения людей в различных средах обитания за рассматриваемый период времени.

Вероятность пребывания человека в зоне химического заражения от разгерметизации цистерны с АХОВ может быть определена по формуле:

$$P_i = \frac{n \cdot L_{уч}}{360 \cdot T_{пер} \cdot V_{тр}},$$

где n – количество перевозок по маршруту; $T_{пер}$ – время перевозки на рассматриваемом маршруте (час); $L_{уч}$ – длина рассматриваемого участка (км); $V_{тр}$ – скорость транспорта.

R_i – условная вероятность поражения человека (сотрудника ГПС МЧС России) при нахождении в i среде обитания определяется как:

$$R_i = \frac{S_{торм} + S_{ост}}{S_{н.п.}},$$

где $S_{торм}$ – площадь заражения на участке торможения; $S_{ост}$ – площадь заражения в районе остановки; $S_{н.п.}$ – площадь населенного пункта.

Площадь порогового химического поражения на участке торможения и в районе аварийной остановки будет определяться глубиной порогового заражения на этих участках.

Площадь химического заражения на участке торможения с учетом подъема зараженного облака может быть вычислена как:

$$S_{п.т.} = \sum_{i=1}^n S_{п.т.i} \cdot \frac{H_{п.т.}}{H_{зд}},$$

где $S_{п.т.i}$ – площадь химического заражения на i участке торможения, определяемая как:

$$S_{п.т.і} = \frac{\pi\varphi}{360^\circ} [\Gamma_{н.в.в.с} + (\Gamma_{п.і} - \Gamma_{н.в.в.с}) \cdot k_M]^2 - \Gamma_{н.з.ас}^2,$$

где $i=1$ – соответствует участку тормозного пути при достижении $\Gamma_{п}=\Gamma_{н.з.ас.}$, м; n – соответствует участку конечного тормозного пути до аварийной остановки, м; $\Gamma_{п.і}$ – глубина порогового заражения на i участке торможения, м; $H_{п}$ – высота подъема порогового заражения облака, м; $H_{зд}$ – высота зданий в населенном пункте, м.

Площадь химического заражения в районе аварийной остановки с учетом подъема зараженного облака может быть вычислена как:

$$S_{п..ост} = \frac{\pi\varphi}{360^\circ} [\Gamma_{н.в.в.с} + (\Gamma_{п.ост} - \Gamma_{н.в.в.с}) \cdot k_M]^2 - \Gamma_{н.з.ас}^2] \cdot \frac{H_{п.ост.}}{H_{зд}},$$

где $\Gamma_{н.з.ас}$ – удаление начала застройки от железнодорожного пути, м; $\Gamma_{п.ост}$ – глубина порогового заражения в районе аварийной остановки; k_M – коэффициент снижения распространения зараженного облака в зависимости от застройки и этажности зданий [1]; φ – угол распространения возможного химического заражения определяется по таблице 1.13 [1], а угол фактического химического заражения определяется по таблице 1.19 [1].

При движении автотранспорта с АХОВ на маршруте на каждом его участке риски химической опасности будут различны. Это обусловлено тем, что перевозка осуществляется как вблизи населенных пунктов, где риск химической опасности будет значительно выше, так и на отдаленных расстояниях от селитебной части, где риск химической опасности в результате аварии минимален. Рассмотренным способом предлагается производить оценку риска химической опасности на различных участках маршрута.

В целях оценки рисков химической опасности аварий автомобильного транспорта, перевозящего АХОВ, была разработана программа для ЭВМ [6], интерфейс которой представлен на рис. 2. В основу программы легла методика прогнозирования и оценки риска химической опасности аварий на подвижных ХОО, изложенная в монографии [1].

Программа позволяет рассчитать глубину и высоту подъема облака химического заражения как на участке торможения, так и в районе аварийной остановки, а также потери и риски химической опасности такой аварии. При работе с программой необходимо учитывать ввод конкретных исходных данных: какой субъект Российской Федерации, количество и тип перевозимого АХОВ, параметры резервуара с АХОВ, размер площади разгерметизации, место пробойны, метеоусловия, время локализации, характер застройки селитебной части города, удаленность ее от места аварии, скорость перемещения автотранспорта. Для визуального представления масштабов зон химического заражения, программа позволяет отобразить их в геоинформационной системе на табло.

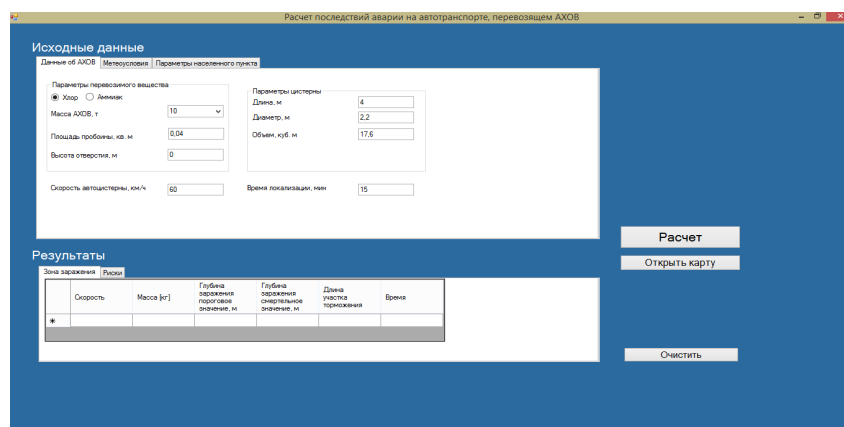


Рис. 2. Интерфейс программы расчета глубины химического заражения и риска химической опасности при авариях автомобильного транспорта с проливом АХОВ

Рассмотрим оценку риска химической опасности при перевозке 10 т хлора автопоездом из пункта А в пункт Б. Маршрут (рис. 3) проходит вблизи трех населенных пунктов. Перевозка производится при следующих метеоусловиях: температура воздуха +20 °С, скорость ветра 1 м/с, вертикальная устойчивость воздуха – инверсия. Первый населенный пункт расположен в 500 м от дороги, второй – в 250 м, третий – в 50 м.

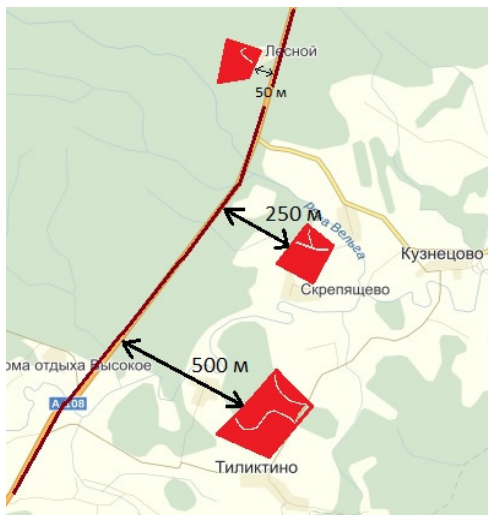


Рис. 3. Схема маршрута движения автотранспорта с АХОВ

Расчет оценки риска химической опасности проводится на трех участках маршрута, как показано на рис. 4. Длина первого участка – 3 км, второго и третьего – 0,5 км, четвертого – 1 км.



Рис. 4. Участки маршрута движения автотранспорта с АХОВ

Результаты расчета рисков химической опасности представлены в табл. 2.

Таблица 2. Риски химической опасности на рассматриваемых участках маршрута

Участок маршрута	Длина участка маршрута, км	Удалённость до населенного пункта, м	Риск
1-й участок	3	–	0
2-й участок	0,5	500	3,9092E-06
3-й участок	0,5	250	8,2556E-06
4-й участок	1	50	9,7499E-06

График рисков химической опасности на участках маршрута изображен на рис. 5.

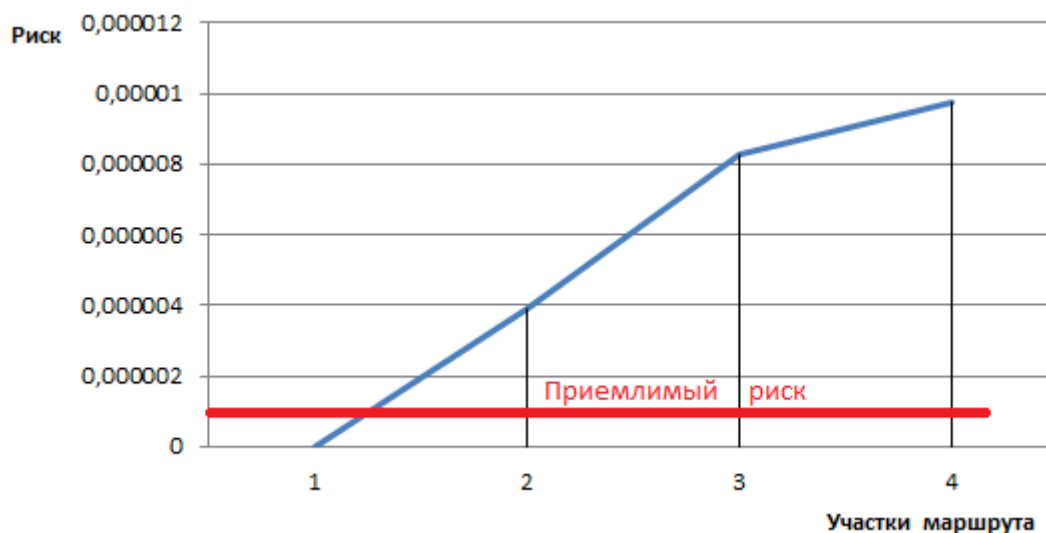


Рис. 5. График рисков химической опасности на участках маршрута

По результатам анализа рисков химической опасности на маршруте можно сделать вывод о том, что на 2, 3, 4 участках маршрута необходимо уменьшать риск химической опасности путем изменения маршрута или другими способами.

Исходя из анализа возможного химического заражения при авариях такого рода объектов, в целях обеспечения безопасности перевозки АХОВ автомобильным транспортом предлагается:

1. Перевозку осуществлять в ночное время, когда грузопоток меньше и пребывание людей, находящихся открыто, также меньше. Исходя из метеоусловий, осуществлять перевозку летом в сухую погоду, когда наблюдается конвекция, с направлением ветра вдоль дороги, превышающего скорость 2–3 м/с. В зимнее время, при пониженных температурах, перевозку можно осуществлять в любое время суток.

2. Перевозить АХОВ желательно на скорости не ниже 40 км/ч.

3. Осуществлять предупреждение населения при аварии путем подачи звуковых сигналов сопровождающего автомобиля ГИБДД, что будет способствовать принятию экстренных мер по защите населения путем герметизации помещения.

4. Назначать оптимальные безопасные для основной массы населения маршруты.

5. Предусмотреть оборудование кабины автомобиля автоматической сигнализацией от датчика разгерметизации резервуара с АХОВ и повышенной системой герметизации кабины.

6. Иметь непосредственно рядом средства индивидуальной защиты для лиц, сопровождающих груз.

Для наихудших условий сценария аварии время полного истечения из резервуара (отверстие в днище) будет определяться в основном величиной отверстия разгерметизации.

Для существующих объемов перевоза АХОВ в цистернах прибытие аварийных бригад грузоотправителя (грузополучателя), сил ГПС МЧС России, территориальных подсистем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций с целью оперативного устранения течи до полного истечения из емкости (отверстие в днище) будет проблематичным при величине отверстия более 20 см. Вместе с тем в населенной зоне остается опасность заражения людей в домах, расположенных в отдаленности не более 50 м от участка пролива АХОВ с момента разгерметизации до аварийной остановки в зависимости от удаления от места аварии при величине разгерметизации свыше 6 см (для хлора) и свыше 8 см (для аммиака) при больших количествах перевозимого АХОВ.

Расчеты показывают, что перевозку АХОВ автомобильным транспортом в населенных пунктах целесообразно осуществлять в небольших количествах менее 10 т на маршрутах удаленных от домов на расстоянии не менее 200 м.

Пути совершенствования методик прогнозирования и оценки риска химической опасности аварии автомобильного транспорта, перевозящего АХОВ, способствующих принятию более обоснованного по их результатам решения по обеспечению химической безопасности населения и объектов, расположенных вблизи маршрутов перемещения подвижных ХОО, сотрудников ГПС МЧС России, принимающих участие в ликвидации последствий аварии:

- учет реальных метеоусловий в зависимости от удаления объекта от очага аварии, характер городской застройки (плотности), этажности, рельефа местности;
- автоматизировать сбор данных о характере и размерах отверстий разгерметизации емкости подвижных ХОО, скорости истечения АХОВ при данных метеоусловиях;
- учет конкретных условий растекания жидких АХОВ при разгерметизации (площадь разлива и глубину растекания) и их впитываемости в подстилающую поверхность;
- разработка модели выбора оптимального маршрута передвижения транспорта, перевозящего АХОВ, с учетом наличия объектов массового скопления народа и минимизации рисков химической опасности в случае возникновения аварии.

Литература

1. Савчук О.Н. Прогнозирование и ликвидация последствий при авариях (разрушениях) подвижных химически опасных объектов: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014.
2. Соколов Ю.И. Вопросы безопасности транспортировки опасных грузов // Проблемы анализа риска. 2009. Вып. № 1.
3. Дурнев Р.А., Колеганов С.В. Комплексная оценка уровня транспортной безопасности // Безопасность жизнедеятельности. 2015. Вып. 2 (170).
4. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие. М.: Деловой экспресс, 2002.
5. Савчук О.Н., Аксенов А.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2015610163. 2015.