

Научная статья

УДК 658.382.3; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-282-291

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

✉ Аксенов Александр Александрович.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия.

Савчук Олег Николаевич;

Пьянусов Александр Викторович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ aleksandr.axenov2015@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются пути совершенствования методики оценки риска химической опасности воздействия на окружающую среду и население при перевозке автомобильным транспортом аварийно химически опасных веществ. Проведено исследование влияния параметров площади пролива и уклона местности на оценку риска эколого-химической опасности при авариях с проливом аварийно химически опасных веществ. Предложена уточненная модель определения риска опасности с учетом площади пролива аварийно химически опасных веществ с различными условиями уклонов местности. Проведен сравнительный анализ экологического риска химической опасности для окружающей среды с учетом и без учета уклона местности на примере аварии автотранспорта, перевозящего аммиак, который показал существенное влияние параметров площади пролива и уклона местности при оценке риска эколого-химической опасности.

Ключевые слова: аварийно химически опасные вещества, воздействие на окружающую среду, химическая безопасность, экологический риск химического заражения, площадь пролива, уклон местности, моделирование аварий, глубина химического заражения

Для цитирования: Аксенов А.А., Савчук О.Н., Пьянусов А.В. Совершенствование методики оценки риска эколого-химической опасности воздействия на окружающую среду при перевозке автомобильным транспортом аварийно химически опасных веществ // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 1 (77). С. 282–291. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-292-281

Scientific article

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF ASSESSING THE RISK OF ENVIRONMENTAL AND CHEMICAL DANGER IN THE TRANSPORTATION OF CHEMICAL HAZARDS BY ROAD TRANSPORT

✉ Aksenov Alexander A.

National research Mordovia state university named after N.P. Ogarev, Saransk, Russia.

Savchuk Oleg N.;

Pyanusov Alexander V.

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

✉ aleksandr.axenov2015@yandex.ru

Abstract. The article discusses ways to improve the methodology for assessing the risk of chemical hazards to the environment and population during the transportation of hazardous chemical substances by road. The article examines the impact of the spill area and terrain slope parameters on the assessment of the risk of chemical hazards in accidents involving the spill of hazardous chemical substances. A refined model for determining the risk of chemical hazards is proposed, taking into account the spill area of hazardous chemical substances and the terrain slope conditions. A comparative analysis of the environmental risk of chemical hazard for the environment, taking into account and not taking into account the slope of the terrain, was conducted using the example of an accident involving a vehicle carrying ammonia. This analysis showed a significant impact of the spill area and slope parameters on the assessment of the chemical hazard risk.

Keywords: hazardous chemicals, chemical safety, contamination risk, spill area, terrain slope, accident modeling, chemical contamination depth

For citation: Aksenov A.A., Savchuk O.N., Pyanusov A.V. Improvement of the method of assessing the risk of environmental and chemical danger in the transportation of chemical hazards by road transport // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 1 (77). P. 292–281. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-292-281

Введение

Объекты экономики, которые используют аварийно химические опасные вещества (АХОВ), представляют собой одни из наиболее опасных техногенных источников риска. К данным объектам можно отнести предприятия, которые используют АХОВ при производстве минеральных удобрений, в холодильных установках, химической промышленности, а также в качестве хладагентов и сырья для получения различных соединений. Стабильная работа ключевых отраслей промышленности и городской инфраструктуры напрямую зависит от бесперебойных поставок АХОВ от производителей к конечным потребителям. Ежегодный объем производства и транспортировки этих веществ в стране исчисляется сотнями тысяч тонн, что подчеркивает их высокую востребованность в таких сферах, как энергетика, сельское хозяйство, химическое производство и жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ). Однако масштабная логистика АХОВ сопряжена с серьезными рисками возникновения аварийных ситуаций, которые обусловлены комплексом факторов. К ним относятся не только традиционные дорожно-транспортные происшествия, вызванные человеческим фактором или техническими неисправностями, но и такие современные вызовы, как недостаточный уровень защищенности маршрутов от потенциальных террористических угроз, что создает комплексные вызовы для систем безопасности.

В России ежегодно автомобильным транспортом перевозится более 500 тыс. т аммиака, при этом даже незначительная утечка может привести к образованию токсичного облака, способного вызвать отравления, химические ожоги и даже летальные исходы.

В настоящее время прогнозирование масштабов химического заражения при авариях с АХОВ осуществляется на основе ряда официальных методик, разработанных различными ведомствами, в том числе МЧС России и Ростехнадзором [1]¹. Однако отсутствие единого унифицированного подхода создает ситуацию методологической разрозненности, что является общей проблемой не только для России, но и для других стран, где также существует множество различных расчетных процедур [2, 3]. Ярким примером эволюции таких документов является СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне» (СП 165.1325800.2014), который был разработан на основе РД 52.04.253–90 «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте», но включил в себя существенные изменения и дополнения [4].

Ключевой особенностью большинства этих методик является использование ряда упрощающих допущений, которые делают модель расчетов более универсальной, но зачастую отдалают ее от реальных условий. К числу таких допущений относятся: моделирование пролива исключительно из стационарного резервуара; принятие постоянной толщины слоя разлившихся АХОВ равной 0,05 м без учета обвалования; рассмотрение подстилающей поверхности как абсолютно непроницаемой; предположение об идеальной круговой форме зоны разлива для стационарных объектов.

Применение этих допущений, в частности фиксированной высоты пролива в 0,05 м, правомерно для моделирования аварий на ровной местности с большими объемами выброса (свыше 10 т) [5]. Однако в условиях реального рельефа местности, имеющего уклон, использование данного допущения становится некорректным. Учет уклона кардинально меняет картину: во-первых, жидкость растекается не симметрично, а формирует вытянутый в направлении склона шлейф, что приводит к увеличению площади испарения при одновременном резком уменьшении толщины слоя. Во-вторых, это уменьшение толщины слоя является критическим фактором, так как оно напрямую ведет к существенному (более чем вдвое) сокращению времени поражающего действия облака АХОВ из-за его ускоренного испарения. Таким образом, игнорирование рельефа в расчетных методиках может приводить к значительной недооценке динамики развития аварии и, как следствие, к неадекватному планированию защитных мероприятий.

Целью исследования является уточнение модели методики оценки рисков химической опасности в зависимости от параметров площади пролива с учетом уклонов местности при разгерметизации резервуаров с АХОВ, перевозимыми автомобильным транспортом.

Цель достигается путем сравнения количественного показателя риска химической опасности, полученного с учетом изменения параметров площади пролива и уклонов местности.

Предлагаемая модель исследования методики оценки риска химической опасности

В общем случае риск химической опасности в районе аварии с выбросом АХОВ, возникшей при их перевозке, рассчитывается по формуле [6]:

$$R_x = \sum_i^{m_c} Q^* \cdot P_i \cdot R_i, \quad (1)$$

где P_i – вероятность пребывания человека в i -й среде обитания; Q^* – частота реализации в течение года аварии при транспортировке АХОВ; R_i – условная вероятность поражения человека при нахождении в i -й среде обитания; m_c – количество ситуаций нахождения людей в различных средах обитания за рассматриваемый период времени.

¹ Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ: руководство по безопасности. Сер. 27. Вып. 11. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. 128 с.

Условная вероятность поражения человека R_i вычисляется по формуле:

$$R_i = \frac{S_{п.т.} + S_{п.ост}}{S_{нп}},$$

где $S_{п.т.}$ – площадь химического поражения на участке торможения, км²; $S_{п.ост}$ – площадь химического поражения в районе аварийной остановки транспорта с АХОВ, км²; $S_{нп}$ – площадь населенного пункта, км².

В работе [6], в целях уточнения параметров площади пролива АХОВ, для расчета площади пролива предлагается использовать формулу:

$$S = 3,12 \cdot (3,018 \cdot V^{0,393} \cdot \partial^{-0,116} \cdot t_{раст} \cdot K_n)^2, \quad (2)$$

где V – объем пролитого АХОВ, м³; ∂ – коэффициент кинематической вязкости АХОВ, м²/с; $t_{раст}$ – время растекания жидкости, мин; K_n – коэффициент поверхности растекания, определяемый в соответствии с [6].

Высоту пролива АХОВ на подстилающую поверхность предлагается определять по формуле:

$$h = \frac{m}{\rho_{ж} \cdot S}, \quad (3)$$

где m – масса пролитого на подстилающую поверхность АХОВ, кг; $\rho_{ж}$ – плотность АХОВ, кг/м³.

В работе [7] предлагается учитывать уклон местности в виде эллипса и определять площадь пролива АХОВ по формуле:

$$S_{пр} = V_0 \cdot \Delta, \quad (4)$$

где V_0 – количество АХОВ пролитого в районе аварийной остановки, л; Δ – коэффициент растекаемости, равный 0,52 м²/л.

Ширина зоны разлива АХОВ при аварии мобильного транспорта является динамическим параметром и напрямую зависит от объема жидкости, вытекшей из поврежденной цистерны на протяжении участка торможения до полной остановки транспортного средства. Для перевода этой физической картины в расчетную модель вводится ключевое допущение о равномерной скорости истечения вещества по всей длине пройденного пути. Это допущение позволяет существенно упростить математический аппарат и определить усредненную ширину пролива по следующей формуле:

$$\text{Ш}_{прол} = \frac{m}{\rho_{ж} \cdot h \cdot L_{прол}}, \quad (5)$$

где $L_{прол}$ – длина пролива АХОВ.

Длину пролива с учетом уклона предлагается определять по формуле:

$$L_{прол} = 2 \sqrt{\frac{S_{пр} \cdot K_{ук}}{\pi}}, \quad (6)$$

где $K_{ук}$ – коэффициент, учитывающий растекание с учетом уклона местности, определенный с пересчетом по вязкости при уклоне более 3 % равный для хлора 7,1 и аммиака – 3,19.

С учетом формул (3) и (4) площадь пролива АХОВ на участке торможения будет определяться по формуле:

$$S_{торм} = \text{Ш}_{прол} \cdot L_{прол},$$

В целях оценки зависимости риска химической опасности от параметров площади пролива при разгерметизации резервуаров с АХОВ, перевозимыми автомобильным транспортом, проведем сравнительный анализ значений риска химической опасности при расчете параметров химического заражения по методике СП 165.1325800.2014; с учетом уточнения площади пролива в соответствии с работой [4], а также с учетом уточнения площади пролива при различном уклоне местности по формулам (2) – в районе аварийной остановки и по формуле (5) – на участке торможения.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценку риска химической опасности произведем при следующих исходных данных: авария произошла при разгерметизации автоцистерны с аммиаком вследствие террористического акта при движении аммиаковоза со скоростью 60 км/ч, площадь разгерметизации 0,04 м², пробойна в дне резервуара, масса привозимого аммиака – 10 т, состояние вертикальной устойчивости воздуха – инверсия, осадков не наблюдается, температура воздуха 20 °С, скорость ветра 1 м/с. Маршрут транспортировки проходит через населенный пункт с населением 20 тыс. чел. площадью 65 км².

Расчёт количества пролитого вещества на участке аварийного торможения производился с учетом формул, изложенных в работе [8]:

$$m_{\text{торм}} = \mu \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \sqrt{2 \cdot g(h_0 - h_{\text{отв}})} \cdot t_{\text{ист}} - \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot \mu^2 \cdot S_{\text{отв}}^2}{2 \cdot S_{\text{ем}}} \cdot t_{\text{ист}}^2,$$

где μ – коэффициент истечения, принимаемый 0,7; h_0 – начальная высота жидкости в автоцистерне, принимаемая 1,6 м с учетом коэффициента заполнения автоцистерны, равного 0,8; $h_{\text{отв}}$ – высота расположения отверстия равна нулю, так как пробойна в дне цистерны; $t_{\text{ист}}$ – 6 с, рассчитанная при помощи программы [9]; $S_{\text{ем}}$ – площадь сечения емкости вычисляется с учетом параметров цистерны, принимается 12 м².

Подставив указанные выше значения в формулу (6), получили, что масса пролитого аммиака на участке аварийного торможения равна 720 кг.

Показатели химической опасности были рассчитаны в соответствии с методикой, изложенной в СП 165.1325800.2014, с уточнением площади пролива по формуле (1) и с учетом уклона местности 5 % по формулам (2) и (5). Риски химической опасности рассчитаны с помощью программы для ЭВМ «Программа прогнозирования последствий аварий на транспорте, перевозящем АХОВ» [9]. Рассчитанные параметры представлены в табл. 1, на рис. 1 представлен график высоты пролива, на рис. 2 – времени поражающего действия, на рис. 3 – глубины химического заражения, на рис. 4 – рисков химической опасности в зависимости от способа расчета и уклона.

Таблица 1

Результаты расчетов показателей химической опасности при аварии с проливом аммиака

Показатели химической опасности	Расчет в соответствии с методикой, изложенной в СП 165.1325800.2014	С уточнением площади пролива	Расчет с учетом уклона 5 %	Расчет с учетом уклона 7 %	Расчет с учетом уклона 10 %
Высота пролива на участке торможения, м	0,05	0,019	0,013	0,011	0,007
Высота пролива в районе остановки, м	0,05	0,028	0,017	0,015	0,011
Время поражающего действия на участке аварийного торможения, мин	81	81	31	22	13

Показатели химической опасности	Расчет в соответствии с методикой, изложенной в СП 165.1325800.2014	С уточнением площади пролива	Расчет с учетом уклона 5 %	Расчет с учетом уклона 7 %	Расчет с учетом уклона 10 %
Время поражающего действия в районе остановки, мин	81	81	45	27	18
Глубина химического заражения на участке торможения, м	225	268	289	304	312
Глубина химического заражения в районе остановки, м	1 253	1 418	1 491	1 521	1 539
Риск химической опасности	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$	$8,03 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$

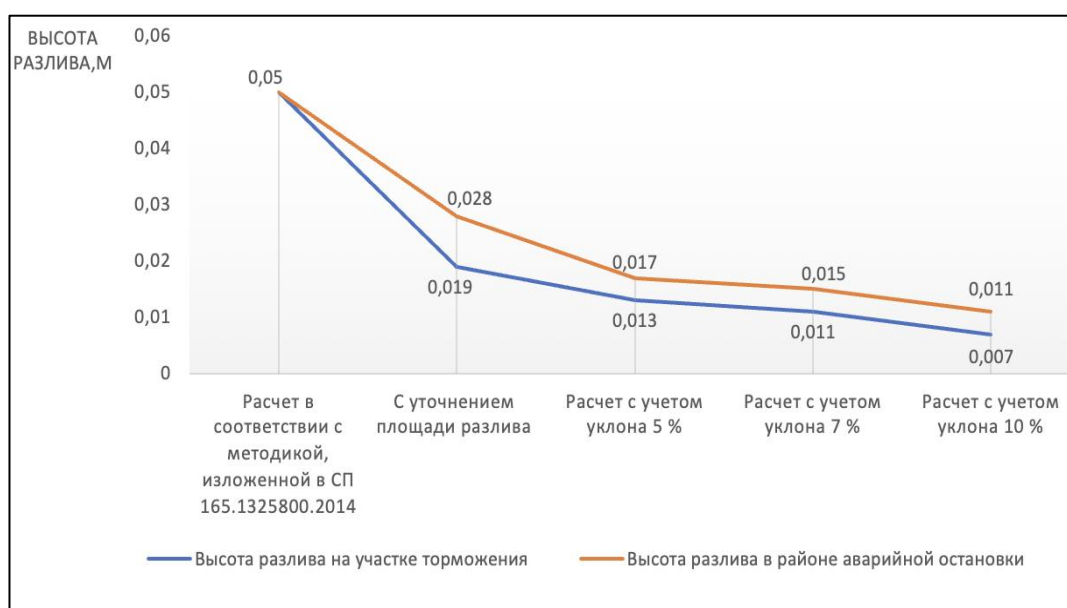


Рис. 1. График высоты пролива, определенный по методике расчета СП 165.1325800.2014 и с учетом различных уклонов местности

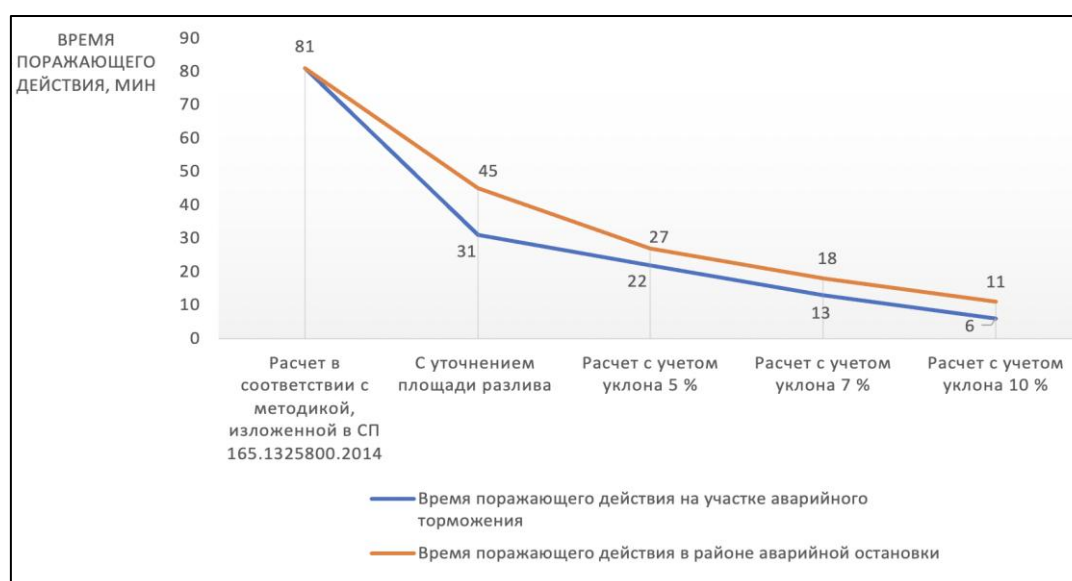


Рис. 2. График времени поражающего действия, определенный по методике расчета СП 165.1325800.2014 и с учетом различных уклонов местности

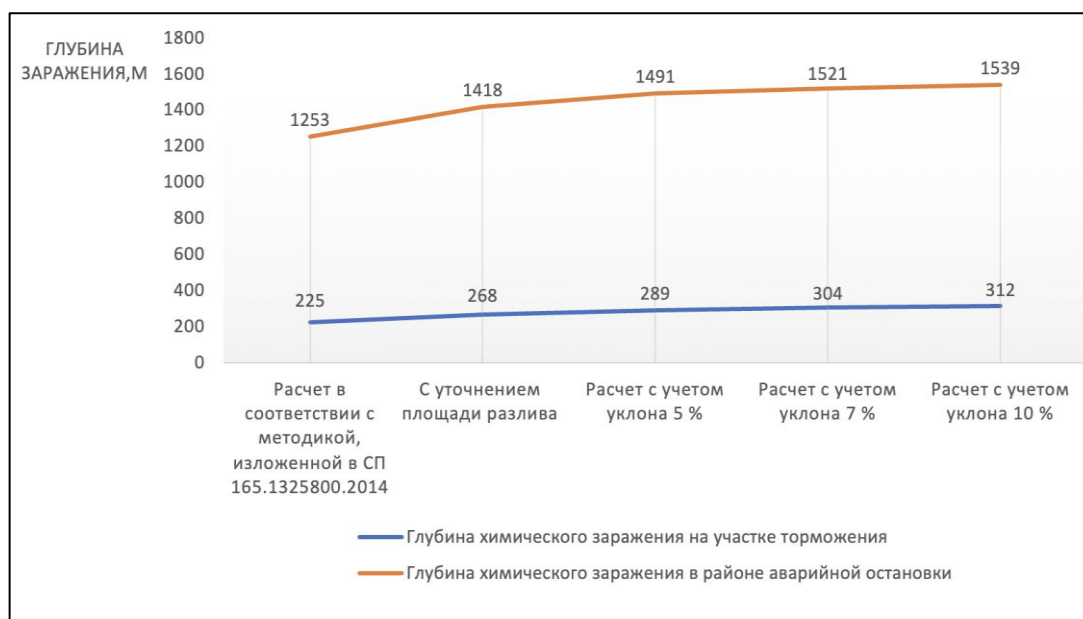


Рис. 3. График глубины химического заражения, определенный по методике расчета СП 165.1325800.2014 и с учетом различных уклонов местности

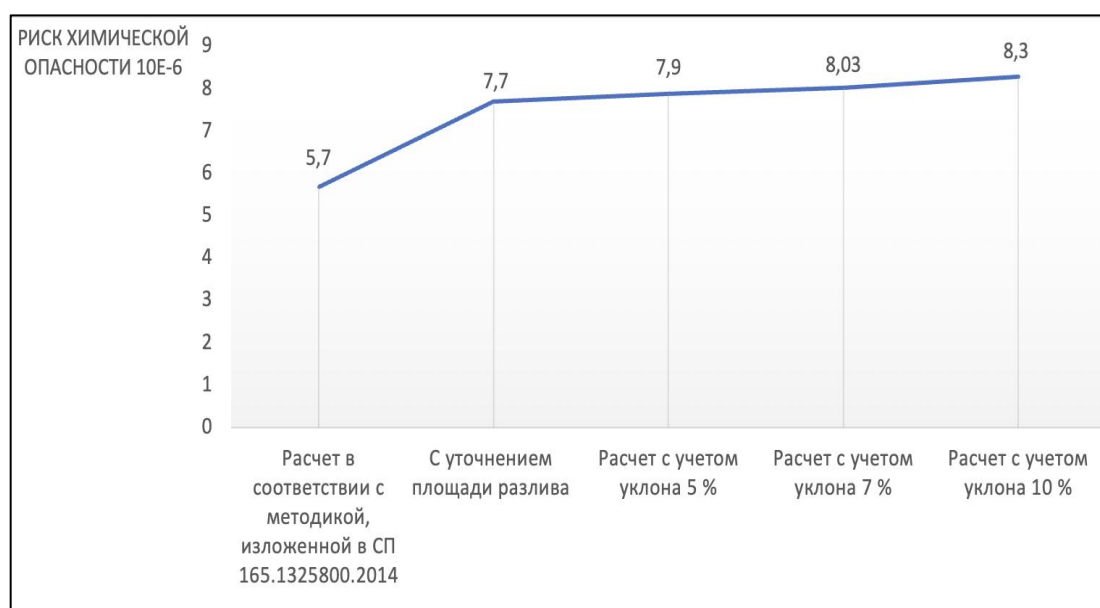


Рис. 4. График рисков химической опасности, определенных по методике расчета СП 165.1325800.2014 и с учетом различных уклонов местности

Анализ расчетов показывает, что риски химической опасности в случае аварий, сопровождающихся проливом АХОВ, в значительной степени определяются глубиной зоны химического заражения, которая находится в прямой зависимости от продолжительности процесса испарения опасного вещества с подстилающей поверхности. Время испарения коррелирует с размерами площади пролива, параметры которой существенно зависят не только от количества и типа АХОВ, но и от размеров ее, которые являются ключевым параметром, определяемым условиями уклонов местности на маршруте, при моделировании процессов химического поражения [10].

Таким образом, размеры площади пролива АХОВ и уклоны местности на маршруте выступают как критически важные элементы, влияющие на динамику испарения, что в конечном итоге определяет пространственные масштабы зоны химического заражения

и степени опасности для населения и окружающей среды. Учет данных параметров необходим для более достоверных результатов прогнозирования последствий аварийных ситуаций при разгерметизации резервуаров с АХОВ, перевозимых автотранспортом, на маршрутах перемещения и оптимизации мер по ликвидации химического загрязнения.

Заключение

Проведенное исследование убедительно продемонстрировало, что параметры площади разлива АХОВ и уклон подстилающей поверхности являются критически важными факторами, оказывающими существенное влияние на достоверность оценки риска химической опасности. Данная зависимость была детально проанализирована на примере моделирования аварийных ситуаций с автотранспортом, перевозящим опасные химические грузы. Полученные результаты указывают на то, что игнорирование рельефа местности в существующих методиках прогнозирования может приводить к значительным погрешностям как в определении зон химического заражения, так и в расчете времени поражающего действия токсичного облака. Таким образом, учет этих параметров является необходимым условием для повышения точности расчетов и планирования адекватных защитных мероприятий на транспортных маршрутах.

Использование традиционных методик расчета значительно занижает высоту пролива и глубину химического заражения. Так, например расчет глубин химического заражения местности при проливе АХОВ в соответствии с методикой, изложенной в СП 165.1325800.2014, отличается на 13–22 % в меньшую сторону в сравнении с методиками, учитывающими уклон местности на маршруте. Интеграция данных об уклоне местности в модель прогнозирования последствий аварии позволяет достичь принципиально нового уровня точности в определении ключевых параметров зоны химического заражения, в первую очередь – ее площади и конфигурации. Это, в свою очередь, напрямую повышает достоверность оценки всех потенциальных рисков, связанных с подобными инцидентами. Проведенные расчеты наглядно демонстрируют, что учет рельефа приводит к значительной трансформации прогнозируемой картины: вместо симметричного пятна заражения формируется вытянутый шлейф, что ведет к увеличению глубины распространения паров АХОВ по направлению склона. При этом происходит резкое сокращение времени поражающего действия из-за ускоренного испарения токсичного вещества с увеличенной, но более тонкой пленки пролива.

Полученные результаты имеют непосредственное практическое значение для разработки эффективных мер ликвидации последствий аварий. Критически важным становится не только уточнение границ зоны эвакуации, которая будет асимметричной и протяженной, но и корректировка временных рамок на проведение аварийно-спасательных работ в условиях быстро меняющейся химической обстановки. Таким образом, учет уклона местности становится не просто техническим уточнением, а необходимым условием для оптимизации ресурсов и повышения эффективности всей системы реагирования на химические аварии.

Предлагаемые подходы позволяют повысить точность прогнозирования зон химического заражения таких аварий и повысить достоверность при оценке рисков химической опасности. Таким образом, полученные результаты подтверждают необходимость уточнения методики расчета риска химической опасности, основанной на детальном анализе всех факторов, влияющих на распространение опасных вредных веществ.

Список источников

1. Воропаев Н.П. Методические подходы к прогнозированию обстановки при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 4. С. 29–33.
2. Comparison of six widely-used dense gas dispersion models for three recent chlorine railcar accidents / S. Hanna [et al.] // Process Safety Progress. 2008. Vol. 27. Iss. 3. P. 248–259. DOI: 10.1002/prs.10257

3. An assessment of the spread rates of accidentally spilled flammable liquids and the development of a model to forecast the spill velocity / S.M. Tauseef [et al.] // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 2019. Vol. 19. P. 1774–1780. DOI: 10.1007/s11668-019-00776-x

4. Совершенствование методики прогнозирования масштабов возможного химического заражения жидкими аварийно химически опасными веществами при авариях / Н.П. Воропаев [и др.] // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 7. С. 32–39. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-7-32-39

5. Аксенов А.А., Савчук О.Н., Куликов М.И. Экспериментальное определение параметров площади разлива при частичной разгерметизации резервуаров с аварийно химически опасными веществами, перевозимыми наземным видом транспорта // *Актуальные проблемы радиационной и химической защиты населения и территорий*. 2022. С. 93–97.

6. Аксенов А.А. Оценка риска химической опасности при перевозке автомобильным транспортом аварийно химически опасных веществ: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2020. 153 с. EDN MUFQZN.

7. Савчук О.Н. Уточнение геометрических параметров площади пролива аварийно химически опасных веществ, перевозимых автомобильным транспортом // *Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)*. 2024. № 3 (71). С. 63–73.

8. Савчук О.Н. Химическая безопасность. Системный анализ прогнозирования возможных последствий при авариях (разрушениях) химически опасных объектов: монография. Saarbrücken.: LAMBERT Academic Publishing, 2013. С. 58–63.

9. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа прогнозирования последствий аварий на транспорте, перевозящем АХОВ: свид. 2015610163 Рос. Федерация / О.Н. Савчук, А.А. Аксенов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России» (RU). – № 2014661405; заявл. 11.11.14; опубл. 12.01.15, Реестр программ для ЭВМ.

10. Капустин С.Ю., Малахов В.И., Башков А.П. Методическое пособие по прогнозированию и оценке химической обстановки в чрезвычайных ситуациях. Иваново: ИГТА, 2001.

References

1. Voropaev N.P. Metodicheskie podhody k prognozirovaniyu obstanovki pri avariayah (razrusheniyah) na himicheski opasnyh ob'ektah // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)*. 2016. № 4. S. 29–33.

2. Comparison of six widely-used dense gas dispersion models for three recent chlorine railcar accidents / S. Hanna [et al.] // *Process Safety Progress*. 2008. Vol. 27. Iss. 3. P. 248–259. DOI: 10.1002/prs.10257

3. An assessment of the spread rates of accidentally spilled flammable liquids and the development of a model to forecast the spill velocity / S.M. Tauseef [et al.] // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 2019. Vol. 19. P. 1774–1780. DOI: 10.1007/s11668-019-00776-x

4. Sovershenstvovanie metodiki prognozirovaniya masshtabov vozmozhnogo himicheskogo zarazheniya zhidkimi avarijno himicheski opasnymi veshchestvami pri avariayah / N.P. Voropaev [i dr.] // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2020. № 7. S. 32–39. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-7-32-39

5. Aksekov A.A., Savchuk O.N., Kulikov M.I. Eksperimental'noe opredelenie parametrov ploshchadi razliva pri chastichnoj razgermetizacii rezervuarov s avarijno himicheski opasnymi veshchestvami, perevozimymi nazemnym vidom transporta // *Aktual'nye problemy radiacionnoj i himicheskoy zashchity naseleniya i territorij*. 2022. S. 93–97.

6. Aksekov A.A. Ocenka riska himicheskoy opasnosti pri perevozke avtomobil'nym transportom avarijno himicheski opasnyh veshchestv: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2020. 153 s. EDN MUFQZN.

7. Savchuk O.N. Utochnenie geometricheskikh parametrov ploshchadi proлива avariino himicheskii opasnykh veshchestv, perevozimyykh avtomobil'nykh transportom // Prirodnye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2024. № 3 (71). S. 63–73.

8. Savchuk O.N. Himicheskaya bezopasnost'. Sistemnyy analiz prognozirovaniya vozmozhnykh posledstviy pri avariayah (razrusheniyah) himicheskii opasnykh ob"ektov: monografiya. Saarbrucken.: LAMBERT Academic Publishing, 2013. S. 58–63.

9. Svidetel'stvo ob oficial'noy registracii programmy dlya EVM. Programma prognozirovaniya posledstviy avariij na transporte, perevozyashchem AXOB: svid. 2015610163 Ros. Federaciya / O.N. Savchuk, A.A. Aksenov; zayavitel' i pravoobladatel' FGBOU VO «Sankt-Peterburgskiy universitet gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii» (RU). – № 2014661405; zayavl. 11.11.14; opubl. 12.01.15, Reestr programm dlya EVM.

10. Kapustin S.Yu., Malahov V.I., Bashkov A.P. Metodicheskoe posobie po prognozirovaniyu i ocenke himicheskoy obstanovki v chrezvychajnykh situatsiyah. Ivanovo: IGTA, 2001.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 28.11.2025; одобрена после рецензирования: 18.01.2026; принята к публикации: 03.02.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 28.11.2025; approved after review: 18.01.2026; accepted for publication: 03.02.2026

Информация об авторах:

Аксенов Александр Александрович, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва (430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, e-mail: aleksandr.axenov2015@yandex.ru, SPIN-код: 1462-4388

Савчук Олег Николаевич, профессор кафедры экологии и обеспечения безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, e-mail: oleg-savchuk@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

Пьянусов Александр Викторович, заведующий кафедрой экологии и обеспечения безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, доцент, e-mail: a.pyanusov@igps.ru, SPIN-код: 3449-7469

Information about the authors:

Aksenov Alexander A., associate professor of National research Mordovia state university named after N.P. Ogarev (430005, Saransk, Bolshevistskaya St., 68), candidate of technical sciences, e-mail: aleksandr.axenov2015@yandex.ru, SPIN: 1462-4388

Savchuk Oleg N., professor of department of ecology and life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: oleg-savchuk@mail.ru, SPIN: 5156-1928

Pyanusov Alexander V., head of the department of ecology and life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: a.pyanusov@igps.ru, SPIN: 3449-7469