

Научная статья

УДК 614.8.027; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-63-73

## **УТОЧНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОЩАДИ ПРОЛИВА АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПЕРЕВОЗИМЫХ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

✉ Савчук Олег Николаевич.

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

✉ [oleg-savcuk@mail.ru](mailto:oleg-savcuk@mail.ru)

*Аннотация.* На основе анализа роста производства аварийно химически опасных веществ и доставки их на терминалы автомобильным транспортом в России рассматривается вопрос уточнения конфигурации и геометрических параметров площади пролива при разгерметизации резервуаров с аварийно химически опасными веществами, перевозимыми автомобильным транспортом, которые при прогнозировании последствий таких аварий влияют на глубину вторичного облака химического заражения и величину времени поражающего действия. Разработан подход к определению геометрических параметров площади пролива аварийно химически опасных веществ хлора и аммиака с учетом уклона местности. Приведены расчеты геометрических параметров площади пролива хлора и аммиака, в результате которых было установлено, что величина площади и высота пролива существенно изменяются при уклоне местности на маршруте. Приводятся обоснования исключения возможности оперативной локализации аварии путем постановки водяной отсекающей завесы в связи с большей затратой времени на прибытие в район аварии и развертывание сил и средств подразделений ГПС МЧС России.

Рассматривается проблема обеспечения безопасности населения и ликвидации последствий при авариях автотранспорта с аварийно химически опасными веществами на маршрутах их перемещения в населенных пунктах при перевозке в малых количествах.

*Ключевые слова:* аварийно химически опасное вещество, площадь пролива аварийно химически опасных веществ, высота пролива аварийно химически опасного вещества, время поражающего действия (испарения), уклон местности

**Для цитирования:** Савчук О.Н. Уточнение геометрических параметров площади пролива аварийно химически опасных веществ, перевозимых автомобильным транспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 63–73. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-63-73.

Scientific article

## **CLARIFICATION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE AREA OF THE STRAIT OF EMERGENCY CHEMICALLY HAZARDOUS SUBSTANCES TRANSPORTED BY ROAD**

✉ Savchuk Oleg N.

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

✉ [oleg-savcuk@mail.ru](mailto:oleg-savcuk@mail.ru)

*Abstract.* In the article on the basis of the analysis of growth of emergency chemically hazardous substances production and its delivery to terminals by road transport in Russia the question of specification of configuration and geometrical parameters of spillage area at depressurization of tanks with emergency chemically hazardous substances transported by road

transport, which at forecasting of consequences of such accidents influence the depth of secondary cloud of chemical contamination and the value of time of striking action, is considered. The approach to determination of geometrical parameters of the area of chlorine and ammonia emergency chemically hazardous substances spillage taking into account the slope of the terrain is developed. Calculations of geometric parameters of chlorine and ammonia spill area are given, as a result of which it was found that the area value and spill height change significantly with the terrain slope on the route. Justifications of exclusion of possibility of operative localization of the accident by means of setting of water cut-off curtain in connection with greater time consumption for arrival to the area of accident and deployment of forces and means of subdivisions of State fire service of EMERCOM of Russia are given.

The problem of ensuring safety of population and liquidation of consequences in case of accidents of motor transport with emergency chemically hazardous substances on routes of its movement in settlements in case of transportation in small quantities is considered.

*Keywords:* accidentally chemically hazardous substance, area of chemically hazardous substance spillage, height of chemically hazardous substance spillage, time of striking effect (vaporization), slope of terrain

**For citation:** Savchuk O.N. Clarification of the geometric parameters of the area of the strait of emergency chemically hazardous substances transported by road // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 3 (71). P. 63–73. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-63-73.

## Введение

Несмотря на введенные против России экономические санкции со стороны США и стран коллективного Запада, продолжается активное развитие промышленного производства и сельского хозяйства в России. Одними из востребованных для этого компонентов являются аварийно химически опасные вещества (АХОВ). Увеличение количества производственных и сельскохозяйственных объектов, использующих в технологическом процессе АХОВ, вызывает рост объемов перевозки данных веществ.

В настоящее время ежегодно транспортируется свыше 800 тыс. т АХОВ, большую часть из которых составляют аммиак и хлор. До 55 % АХОВ перевозится железнодорожным и автомобильным транспортом [1]. В большинстве случаев маршруты транспорта с АХОВ вынужденно проходят в населенных пунктах, по оценкам специалистов [1], вблизи селитебной части с населением около 100 тыс. чел. За последние пять лет, по статистике на транспорте, перевозящем АХОВ, до 22 % аварий произошло с разгерметизацией резервуаров с аммиаком и 12 % – с хлором. В большинстве своем они были как с частичной, так и с полной разгерметизацией в результате технологических аварий, столкновений с другим транспортом и сходом с рельс.

В связи с проведением специальной военной операции участились случаи террористических актов на грузовом железнодорожном транспорте, не исключена возможность проведения террористических акций также и на автомобильном транспорте, перевозящем АХОВ.

В целях более тщательного планирования обеспечения химической безопасности населения при прохождении автомобильного транспорта с АХОВ в населенных пунктах требуется более достоверная прогнозируемая информация о возможных последствиях в случаях аварий и террористических актов на маршруте. Анализ существующих методик прогнозирования аварий на таких объектах [2–5] показал, что не учитываются уклоны на маршрутах прохождения транспорта. Попытка учета влияния уклонов на местности приведена в работе [6] с учетом расположения стационарного объекта при разливе легковоспламеняющихся веществ. Однако следует учитывать при разгерметизации резервуаров с АХОВ, перевозимых автомобильным транспортом, характер конфигурации

дорог и уклонов, приводящих к нестандартным площадям разлива в районах аварийной остановки, влияющих на формирование глубины распространения вторичного облака химического заражения.

Целью работы является определение площади разлива АХОВ с учетом количества пролитого АХОВ в районе аварийной остановки автомобильного транспорта, конфигурации и уклонов дороги, анализ учета влияния ее на длительность поражающего действия и расчета количества сил и средств на локализацию аварии.

### **Возможные варианты определения конфигурации и параметров площади пролива при разгерметизации резервуаров с АХОВ, перевозимых автомобильным транспортом, с учетом уклона маршрута**

Как известно, одними из основных составляющих, определяющих глубину химического заражения при разгерметизации резервуара с АХОВ, является количество пролитого АХОВ и величина площади пролива.

В случае стационарного расположения на ровной местности необвалованного резервуара с АХОВ при его разгерметизации принимается пролив в виде круга. При этом площадь пролива определяется по формуле:

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{V}{h_{\text{прол}}}} V = \frac{Q}{\rho},$$

где  $S_{\text{пр}}$  – площадь пролива, м<sup>2</sup>;  $V$  – объем пролитого АХОВ, м<sup>3</sup>;  $Q$  – количество АХОВ, т;  $\rho$  – плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup> (аммиак – 0,681, хлор – 1,553);  $h_{\text{прол}}$  – высота пролива АХОВ на местности принимается равной 0,05 м.

Однако методики не учитывают уклона местности, которая меняет конфигурацию площади пролива и, соответственно, высоту пролива. В работе [2] рассматривается подход к определению геометрических параметров пожароопасного разлива для легковоспламеняющихся веществ в случае пролива при полном разрушении резервуара с учетом уклона в виде эллипса. Площадь пролива определяется в этом случае по формуле:

$$S_{\text{пр}} = f_{\text{пр}} * k_3 * V_p,$$

где  $f_{\text{пр}}$  – коэффициент разлива, м<sup>-1</sup>, с уклоном более 1 % равен 12;  $k_3$  – степень заполнения резервуара (0,85);  $V_p$  – вместимость резервуара, м<sup>3</sup>.

Однако следует отметить, что в случае частичной разгерметизации резервуаров с АХОВ, перевозимых автомобильным транспортом, геометрические параметры площади пролива АХОВ будут иными. На участке аварийного торможения это будет иметь вид прямоугольника, длина которого будет определяться длиной участка аварийного торможения по формуле [7]:

$$L_{\text{прол}} = V_{\text{пр}} t_{\text{ре}} + L_{\text{м.н.}},$$

где  $V_{\text{пр}}$  – скорость движения транспорта в момент разгерметизации, км/ч;  $t_{\text{ре}}$  – время реакции водителя, которое составляет 0,3–1,7 с;  $L_{\text{м.н.}}$  – тормозной путь, определяемый как:

$$L_{\text{м.н.}} = V_{\text{пр}} t_{\text{срм}} + \frac{V_{\text{пр}}^2}{2a_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{срм}}$  – время срабатывания тормозной системы 0,3–0,5 с;  $a_{\text{max}}$  – максимальное ускорение замедления транспорта м/с<sup>2</sup>,  $a_{\text{max}} = gK_{\text{с.ш.}}$  ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>,  $K_{\text{с.ш.}}$  – коэффициент сцепления шин (колес) транспорта с дорожным покрытием). Для автотранспорта в условиях сухой погоды:  $K_{\text{с.ш.}} \approx 0,7$ , дождя –  $K_{\text{с.ш.}} \approx 0,4$ .

В случае с проливом АХОВ с уклоном местности тормозной путь определяется как:

$$L_{m.n.} = V_{mp} t_{cрт} + V_{mp}^2 / 2a_{max},$$

где  $a_{max} = g (K_{c.u.} - \tan \alpha_{ук})$ ;  $\alpha_{ук}$  – угол уклона местности, град.

Ширина пролива АХОВ будет определяться количеством АХОВ, пролитого на этом участке пути до остановки поврежденного транспорта, по формуле:

$$Ш_{прол} = \frac{m_T}{\rho_{ж} \cdot h_{прол} \cdot L_{прол}},$$

где  $m_T$  – количество жидкости АХОВ при разливе на участке торможения, кг;  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости АХОВ, кг/м<sup>3</sup>;  $h_{прол}$  – высота пролившейся жидкости АХОВ на подстилающую поверхность, м;  $L_{прол}$  – длина пролива жидкого АХОВ в районе аварийной остановки, м.

Как показывают экспериментальные исследования [8], при скорости перемещения транспорта в 60 км/ч ширина разлива на участке аварийного торможения может быть принята равной удвоенной величине диаметра разгерметизации.

Расчеты, проведенные в работе [9], по определению глубины химического заражения при различных вариантах разгерметизации (разрушении) резервуара с АХОВ, перевозимого автомобильным транспортом на маршрутах в населенных пунктах, показали, что основную опасность при таких авариях представляет пролив в районе аварийной остановки.

Немаловажным этапом прогнозирования последствий аварии с разгерметизацией резервуара с АХОВ, перевозимого автомобильным транспортом, является определение таких геометрических параметров площади пролива, как длина и ширина для организации оперативной локализации и ликвидации аварии на дороге с целью быстрого восстановления движения транспорта на данном маршруте.

Рассмотрим определение параметров площади пролива в районе аварийной остановки.

В случае ровной местности в районе аварийной остановки принимается пролив в виде круга, тогда  $L_{прол} = 2 R_{прол}$ , где:

$$R_{прол} = \sqrt{\frac{S_{пр}}{\pi}}. \quad (2)$$

Площадь пролива  $S_{прол}$  предлагается определять с учетом рекомендаций ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» [10] и уточнений [11], согласно которым она определяется по расчетным данным [10] с условием, что удельная растекаемость пролива нефтепродукта на местности составляет  $\Delta = 0,15$  м<sup>2</sup>/л, а по результатам эксперимента, соответственно,  $\Delta = 0,52$  м<sup>2</sup>/л [11] на полотне дороги путем пересчета этих значений по вязкости АХОВ.

Ширина пролива АХОВ будет определяться равной ширине земляного полотна дороги соответствующей категории.

Так, например, пересчитаем площади пролива наиболее перевозимых АХОВ хлора и аммиака по аналогии с проливом нефтепродуктов с учетом вязкости по формуле:

$$S_{пр} = V_0 \cdot \Delta, \quad (3)$$

где  $V_0$  – количество АХОВ, пролитого в районе аварийной остановки, л.

Динамическая вязкость АХОВ и нефти при температуре +20 °С представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Динамическая вязкость АХОВ и нефти**

Наименование	Динамическая вязкость, Па*с
Нефтепродукты	$0,777 \cdot 10^{-3}$
Хлор	$0,345 \cdot 10^{-3}$
Аммиак	$0,155 \cdot 10^{-3}$

Значения удельной растекаемости пролива АХОВ на полотно дороги с учетом перерасчета по аналогии пролива нефти представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения удельной растекаемости пролива АХОВ на полотно дороги по расчетным данным и результатам эксперимента**

Наименование АХОВ	По расчету $\Delta$ , кг/л	По эксперименту $\Delta$ , кг/л
Хлор	0,07	0,23
Аммиак	0,03	0,104

Значение высоты пролившейся жидкости АХОВ на подстилающую поверхность можно определить как:

$$h_{\text{прол}} = \frac{m_0}{\rho_{\text{ж}} \cdot Ш_{\text{прол}} \cdot L_{\text{прол}}}, \quad (4)$$

где  $m_0$  – количество АХОВ пролитого в районе аварийной остановки, т;  $Ш_{\text{прол}}$  – ширина пролива жидкого АХОВ в районе аварийной остановки, м;  $L_{\text{прол}}$  – длина пролива жидкого АХОВ в районе аварийной остановки, м.

Рассчитаем значения геометрических параметров площади пролива АХОВ в районе аварийной остановки на ровной местности (формулы (2–4) с учетом ширины пролива, равной ширине земляного полотна дороги категории III согласно ГОСТ Р 52398–2005 [12].

Величина геометрических параметров площади пролива в районе аварийной остановки на ровной местности для хлора и аммиака представлена в табл. 3, 4.

Таблица 3

**Величина геометрических параметров площади пролива хлора в районе аварийной остановки на автомобильной дороге ровной местности**

Количество $m_0$ , т	Геометрические параметры $S_{\text{пр}}$	Расчеты с учетом ГОСТ Р 12.3.047–2012	Расчеты по экспериментальным данным
1	Ширина пролива, м	9,44	12
	Длина пролива, м	9,44	17,12
	Высота пролива, м	0,007	0,003
5	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	21,12	38,27
	Высота пролива, м	0,013	0,007
10	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	29,86	54,13
	Высота пролива, м	0,018	0,01
20	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	42,23	76,55
	Высота пролива, м	0,025	0,014

Таблица 4

**Величина геометрических параметров площади пролива аммиака  
в районе аварийной остановки на автомобильной дороге ровной местности**

Количество $m_0$ , т	Геометрические параметры $S_{пр}$	Расчеты с учетом ГОСТ Р 12.3.047–2012	Расчеты по экспериментальным данным
1	Ширина пролива, м	6,18	11,51
	Длина пролива, м	6,18	11,51
	Высота пролива, м	0,038	0,011
5	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	13,82	25,74
	Высота пролива, м	0,044	0,024
10	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	19,55	36,4
	Высота пролива, м	0,063	0,034
20	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	27,65	51,48
	Высота пролива, м	0,088	0,048

Рассчитаем значения геометрических параметров площади пролива АХОВ в районе аварийной остановки с учетом уклона дорог местного значения в жилой застройке в России, не превышающие 6–7 % [13].

В этих целях воспользуемся подходом к определению геометрических параметров разлива нефтепродуктов при уклонах на местности, изложенных в работе [6]. Разлив представляется в виде эллипса с расчетом большой  $b$  и малой полуоси  $a$ . В рассматриваемом случае нас будет интересовать расчет размеров большой полуоси  $b$ , тогда длину пролива с учетом уклона можно определить по формуле:

$$L_{\text{прол}} = 2 \sqrt{\frac{S_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ук}}}{\pi}}, \quad (5)$$

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

Рассчитаем значения геометрических параметров площади пролива хлора и аммиака в районе аварийной остановки с учетом уклона свыше 3 % с учетом формулы (4) при тех же условиях размера дороги, что и на ровной местности, представленных в табл. 5, 6.

Таблица 5

**Величина геометрических параметров площади пролива хлора  
в районе аварийной остановки на автомобильной дороге с учетом уклона местности**

Количество $m_0$ , т	Геометрические параметры $S_{пр}$	Расчеты с учетом ГОСТ Р 12.3.047–2012	Расчеты по экспериментальным данным
1	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	25,16	45,61
	Высота пролива, м	0,002	0,001
5	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	56,26	102
	Высота пролива, м	0,005	0,003
10	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	79,57	144,23
	Высота пролива, м	0,007	0,004
20	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	112,53	204
	Высота пролива, м	0,01	0,005

Таблица 6

**Величина геометрических параметров площади пролива аммиака  
в районе аварийной остановки на автомобильной дороге с учетом уклона местности**

Количество $m_0$ , т	Геометрические параметры $S_{пр}$	Расчеты с учетом ГОСТ Р 12.3.047–2012	Расчеты по экспериментальным данным
1	Ширина пролива, м	11,04	12
	Длина пролива, м	11,04	20,56
	Высота пролива, м	0,012	0,006
5	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	24,69	45,97
	Высота пролива, м	0,025	0,013
10	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	34,92	65
	Высота пролива, м	0,035	0,019
20	Ширина пролива, м	12	12
	Длина пролива, м	49,38	91,94
	Высота пролива, м	0,049	0,027

Для определения времени поражающего действия АХОВ следует воспользоваться высотой пролива.

Тогда согласно работе [5] время испарения (поражающего действия) АХОВ в районе аварийной остановки можно определить по формуле:

$$T = \frac{h_{\text{прол}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{K_2 K_4 K_7},$$

где  $K_2$ ,  $K_4$ ,  $K_7$  – коэффициенты, учитывающие метеоусловия: например, для хлора  $K_2=0,052$ ,  $K_4=K_7=1$ , для аммиака  $K_2=0,025$ ,  $K_4=K_7=1$  при скорости ветра  $u=1\text{ м/с}$  и температуре воздуха  $+20\text{ }^\circ\text{C}$  (табл. 5).

Рассчитаем значения времени поражающего действия при проливах АХОВ, приведенных в табл. 3–6, согласно формуле (5).

Значения времени поражающего действия при проливах хлора и аммиака в районе аварийной остановки на ровной местности представлено в табл. 7, 8.

Значения времени поражающего действия при проливах хлора в районе аварийной остановки на автомобильной дороге с учетом уклона местности представлено в табл. 9, 10.

Таблица 7

**Значения времени поражающего действия при проливах хлора  
в районе аварийной остановки на ровной местности**

Количество, т	Наименование параметров с учетом ГОСТ		Наименование параметров по экспериментальным данным	
	$h_{\text{прол}}$ , м	T, мин	$h_{\text{прол}}$ , м	T, мин
1	0,007	12,5	0,003	5,4
5	0,013	23,3	0,007	12,5
10	0,018	32,3	0,01	17,9
20	0,025	44,8	0,014	25

Таблица 8

**Значения времени поражающего действия при проливах аммиака  
в районе аварийной остановки на ровной местности**

Количество, т	Наименование параметров с учетом ГОСТ		Наименование параметров по экспериментальным данным	
	$h_{\text{прол}}, \text{ м}$	$T, \text{ мин}$	$h_{\text{прол}}, \text{ м}$	$T, \text{ мин}$
1	0,038	62,1	0,011	17,98
5	0,044	71,9	0,024	39,2
10	0,063	102,97	0,034	55,57
20	0,088	143,83	0,048	78,45

Таблица 9

**Значения времени поражающего действия при проливах хлора  
в районе аварийной остановки на автомобильной дороге с учетом уклона местности**

Количество, т	Наименование параметров с учетом ГОСТ		Наименование параметров по экспериментальным данным	
	$h_{\text{прол}}, \text{ м}$	$T, \text{ мин}$	$h_{\text{прол}}, \text{ м}$	$T, \text{ мин}$
1	0,002	3,6	0,001	1,8
5	0,005	9	0,003	5,4
10	0,007	12,5	0,004	7,2
20	0,01	17,9	0,005	9

Таблица 10

**Значения времени поражающего действия при проливах аммиака  
в районе аварийной остановки на автомобильной дороге с учетом уклона местности**

Количество, т	Наименование параметров с учетом ГОСТ		Наименование параметров по экспериментальным данным	
	$h_{\text{прол}}, \text{ м}$	$T, \text{ мин}$	$h_{\text{прол}}, \text{ м}$	$T, \text{ мин}$
1	0,012	19,6	0,006	9,8
5	0,025	40,9	0,013	21,2
10	0,035	57,2	0,019	31,05
20	0,049	80,09	0,027	44,13

Анализ полученных данных расчетов показывает, что площадь пролива в районе аварийной остановки при разгерметизации резервуара с АХОВ автотранспорта возрастает при уклоне местности на дорогах местного значения в жилой застройке, что ведет к существенному снижению времени поражающего действия (испарению) АХОВ более чем вдвое за счет уменьшения высоты пролива и соответственно быстрому его испарению.

Допущения, принятые в методике [5], по разливу АХОВ высотой 0,05 м справедливы для растекания на ровной местности по результатам экспериментальных данных при проливе свыше 20 т и более. Принятие такого допущения неправомерно, как показали расчеты при проливе АХОВ с уклоном местности.

При перевозке малых количеств АХОВ (до 1 т) время поражающего действия составляет менее 10 мин, что исключает возможность оперативной локализации аварии путем постановки водяной отсекающей завесы в связи с большей затратой времени на прибытие в район аварии и развертывание сил и средств подразделений ГПС МЧС России.

Следует отметить, что немаловажным фактором при ликвидации последствий с проливом АХОВ, перевозимых автомобильным транспортом на дорогах местного значения, является как можно более оперативная ликвидация последствий с восстановлением движения транспорта. На участках пролива АХОВ с уклоном возрастает объем по нейтрализации и ликвидации последствий таких аварий вследствие увеличений площади пролива АХОВ.

### Заключение

В целях обеспечения безопасности населения при авариях на автотранспорте, перевозящем АХОВ, на маршрутах их перемещения в населенных пунктах при прогнозировании возможных последствий аварии следует учитывать геометрические параметры площади пролива АХОВ с учетом уклона местности. Как показали исследования, в методиках прогнозирования последствий таких аварий необходима более достоверная информация по площади и высоте пролива АХОВ на основе экспериментальных данных.

С учетом малого времени поражающего действия АХОВ при проливе небольших количеств до 1 т следует разрабатывать способы оперативной локализации последствий аварии и нейтрализации площади пролива с привлечением подразделений ГПС МЧС России в целях обеспечения безопасности населения и быстрого восстановления движения на данном маршруте. Представляет интерес проведение экспериментальных исследований по проливу хлора и аммиака с уклонами местности с целью проверки получения более достоверных данных по коэффициентам уклона.

### Список источников

1. Статистика автомобильных перевозок опасных грузов и происшествий / В.В. Синицин [и др.]. М.: Технологии техносферной безопасности. 2018. № 4 (80). С. 24–35.
2. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: сб. документов. М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. Сер. 27. Вып. 2. 224 с.
3. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси», Ред. 2.2): сб. докладов. Методика оценки последствий аварий на производственных объектах. М., Гостехнадзор, 2002.
4. Ковзель А.А. Методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. М.: Молодой ученый. 2021. № 51 (393). С. 537–542.
5. Прогнозирование последствий ЧС природного и техногенного характера: учеб. пособие / О.Н. Чудинова [и др.]. Улан-Удэ.: Вост.-Сиб. гос. ун-т технологий и управления, 2022. 85 с.
6. Сучков В.П. Пособие по применению методов оценки пожарной опасности технологических систем, используемых при анализе пожарных рисков. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009.
7. Анализ тяговых и тормозных свойств автомобилей / С.В. Дорохин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 12.
8. Савчук О.Н., Аксенов А.А. Экспериментальное определение площади разлива основных видов АХОВ по подстилающей поверхности // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России. 2019. № 1 (29). С. 13–21.
9. Совершенствование методики прогнозирования масштабов возможного химического заражения АХОВ при авариях / О.Н. Савчук [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 7. С. 32–39.
10. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения: 26.05.2024).

11. Методы определения площади пролива нефтепродуктов на горизонтальную поверхность / В.В. Кокорин [и др.] // Технология техносферной безопасности. 2017. Вып. № 2 (72). С. 130–134.

12. ГОСТ Р 52398–2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200042582> (дата обращения: 26.05.2024).

13. ГОСТ Р 52028–2012. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru> (дата обращения: 26.05.2024).

## References

1. Statistika avtomobil'nyh perevozok opasnyh грузов i proisshestvij / V.V. Sinicin [i dr.]. M.: Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2018. № 4 (80). S. 24–35.

2. Metodiki ocenki posledstvij avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah: sb. dokumentov. M.: GUP NTC «Promyshlennaya bezopasnost'», 2001. Ser. 27. Vyp. 2. 224 s.

3. Metodika ocenki posledstvij himicheskikh avarij (metodika «Toksi», Red. 2.2): sb. dokladov. Metodika ocenki posledstvij avarij na proizvodstvennyh ob"ektah. M., Gostekhnadzor, 2002.

4. Kovzel' A.A. Metody prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij. M.: Molodoy uchenyj. 2021. № 51 (393). S. 537–542.

5. Prognozirovanie posledstvij CHS prirodnogo i tekhnogenного haraktera: ucheb. posobie / O.N. Chudinova [i dr.]. Ulan-Ude.: Vostochno-Sibirskij Gosudarstvennyj universitet tekhnologii i upravleniya, 2022. 85 s.

6. Suchkov V.P. Posobie po primeneniyu metodov ocenki pozharnoj opasnosti tekhnologicheskikh sistem, ispol'zuemyh pri analize pozharnykh riskov. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2009.

7. Analiz tyagovyh i tormoznyh svoystv avtomobilej / S.V. Dorohin [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 3. S. 12.

8. Savchuk O.N., Aksenov A.A. Eksperimental'noe opredelenie ploshchadi razliva osnovnyh vidov AHOV po podstilayushchej poverhnosti // Prirodnye i tekhnogenные riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii. 2019. № 1 (29). S. 13–21.

9. Sovershenstvovanie metodiki prognozirovaniya masshtabov vozmozhnogo himicheskogo zarazheniya AHOV pri avariayah / O.N. Savchuk [i dr.] // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2020. № 7. S. 32–39.

10. GOST R 12.3.047–2012. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103505> (data obrashcheniya: 26.05.2024).

11. Metody opredeleniya ploshchadi proliva nefteproduktov na gorizontalnuyu poverhnost' / V.V. Kokorin [i dr.] // Tekhnologiya tekhnosfernoj bezopasnosti. 2017. Vyp. № 2 (72). S. 130–134.

12. GOST R 52398–2005. Klassifikaciya avtomobil'nyh dorog. Osnovnye parametry i trebovaniya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200042582> (data obrashcheniya: 26.05.2024).

13. GOST R 52028–2012. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Elementy obustrojstva. Obshchie trebovaniya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 26.05.2024).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 02.05.2024; одобрена после рецензирования: 28.08.2024;  
принята к публикации: 23.09.2024

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 02.05.2024; approved after review: 28.08.2024;  
accepted for publication: 23.09.2024

*Сведения об авторах:*

**Савчук Олег Николаевич**, профессор кафедры сервиса безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savchuk@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

*Information about the authors:*

**Savchuk Oleg N.**, professor of the department of security service of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savchuk@mail.ru, SPIN: 5156-1928