

Ключевые слова: химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, коэффициент поверхности растекания

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE AREA OF THE SPILL OF THE MAIN TYPES OF POISONING SUBSTANCES ACCORDING TO THE UNDERLYING SURFACE

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

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

The article substantiates the need to clarify the methods of predicting the consequences of accidents of mobile chemically hazardous objects data on the area of the real spill emergency chemically hazardous substances. The technique of the experiment is considered and the data on the area of the spill of the main emergency chemically hazardous substances are given, the example justifies the validity of accounting for these data.

Keywords: chemically hazardous object, emergency chemically hazardous substances, the ratio of the surface of the spreading

В настоящее время существует множество методик прогнозирования последствий аварий, связанных с выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ) [1–6]. Основными геометрическими параметрами, влияющими на глубину заражения в результате разлива АХОВ, являются:

- площадь разлива АХОВ;
- толщина слоя разлитого АХОВ.

Определение величины реальной площади разлива АХОВ сопряжено с рядом трудностей из-за широкого спектра АХОВ, обладающих различными физическими свойствами, а толщина слоя жидкости может быть различной в зависимости от подстилающей поверхности.

При проливе небольших количеств АХОВ, особенно при авариях транспорта, перевозящего АХОВ, на участках аварийного торможения допущение высоты пролива [3] $h=0,05$ м неправомерно. Отсутствие учета реальной площади разлива и особенно толщины пленки разлива приводит к существенным ошибкам как в определении глубины заражения, так и времени поражающего действия (испарения). Принятие допущения в работе [4], что площадь разлива АХОВ идентична площади разлива нефтепродуктов, не соответствует действительности в связи с различным коэффициентом вязкости и химическим составом АХОВ и нефтепродуктов. Отсутствие учета реальных параметров площади разлива и толщины пленки разлива может привести к неверным результатам прогнозируемых параметров зоны химического заражения и времени поражающего действия, что может сказаться на принятии недостоверных мер по обеспечению безопасности и ликвидации последствий. Одним из путей решения проблемы является постановка эксперимента по определению площади разлива АХОВ по подстилающей поверхности.

В настоящее время существует ряд расчетных методик [7–12] для определения радиуса разлива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на горизонтальных твердых поверхностях без учета испарения и впитывания.

В методике [7] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{25.5 \cdot \pi \cdot V}{4}},$$

где R – радиус разлива, м; V – объем вытекшей жидкости, m^3 .

В методике, изложенной в работе [8], радиус разлива определяется по формуле:

$$R = 3,018 \cdot V^{0.393} \cdot \vartheta^{-0.116} \cdot t^{0.115} \cdot K_{\pi};$$

где ϑ – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; t – время растекания жидкости, мин; K_{π} – коэффициент поверхности растекания, определяющий соотношение фактического радиуса растекания по реальной поверхности и радиуса растекания по идеальной поверхности.

$$K_{\pi} = \frac{S_{\text{раз.реальной пов.}}}{S_{\text{раз.ид.пов.}}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{раз.ид.пов.}}$ – площадь разлива по идеальной поверхности (стеклу), м²;
 $S_{\text{раз.реальной пов.}}$ – площадь разлива по реальной поверхности, м².

В методике [9] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = V^{\frac{1}{3}} \cdot 0.58 \cdot \left(\frac{V}{g^2}\right)^{0.08} \cdot \left(\frac{t^2}{V^{\frac{1}{3}}}\right)^{0.06} \cdot K_{\pi};$$

В методике [10] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{0.15 \cdot V \cdot 10^3}{\pi}};$$

В методике [11] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \frac{\sqrt{53.3 \cdot V}}{\pi};$$

В методике [12] радиус разлива определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{20 \cdot V}{\pi}};$$

На основе статистических результатов определения радиуса разлива рассматриваемыми методиками [13], методика, изложенная в работе [8], является наиболее приемлемой. Преимуществом данной методики является учет основных параметров, влияющих на радиус растекания жидкости. Недостаток в том, что коэффициенты поверхности растекания K_{π} определены лишь для нефтепродуктов и только для поверхности из бетона. На практике подложка, на которую происходит разлив АХОВ, может быть в виде асфальта, грунта, песка, различных видов почв.

В целях определения K_{π} целесообразно использовать методику экспериментального исследования геометрических параметров разлива жидкостей [13]. Эта методика наиболее подходит для определения соотношения фактического радиуса растекания по реальной поверхности и радиуса растекания по идеальной поверхности из-за простоты проведения эксперимента и привлечения небольшого количества используемого АХОВ.

Экспериментальные исследования проводились на установке для определения геометрических параметров разлива жидкости на различных поверхностях (рис. 1), схема которой представлена на рис. 2.

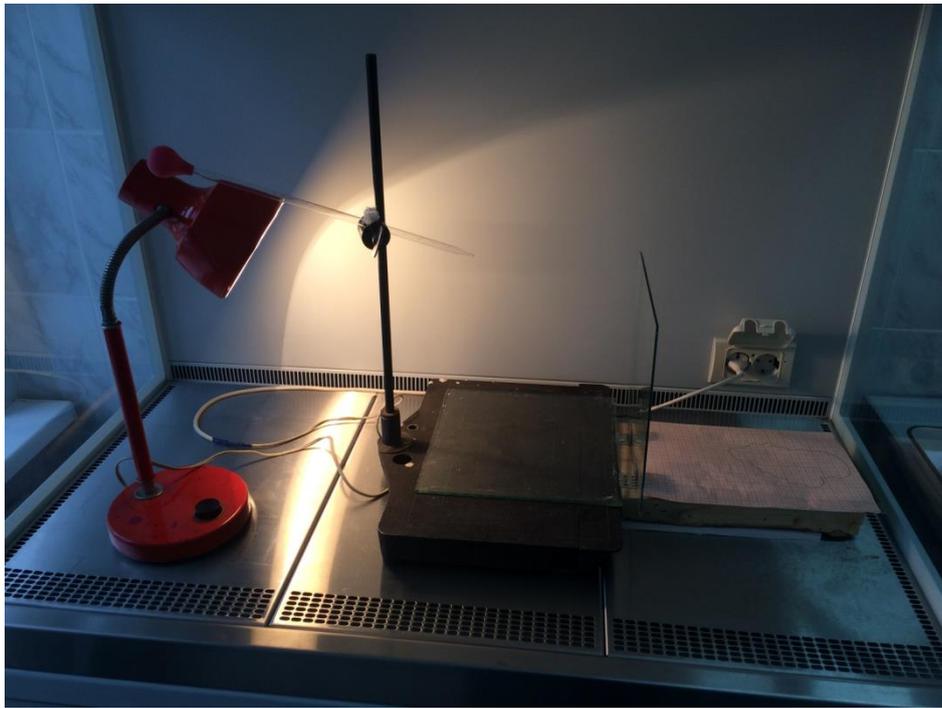


Рис. 1. Установка для определения геометрических параметров разлива жидкости на различные поверхности

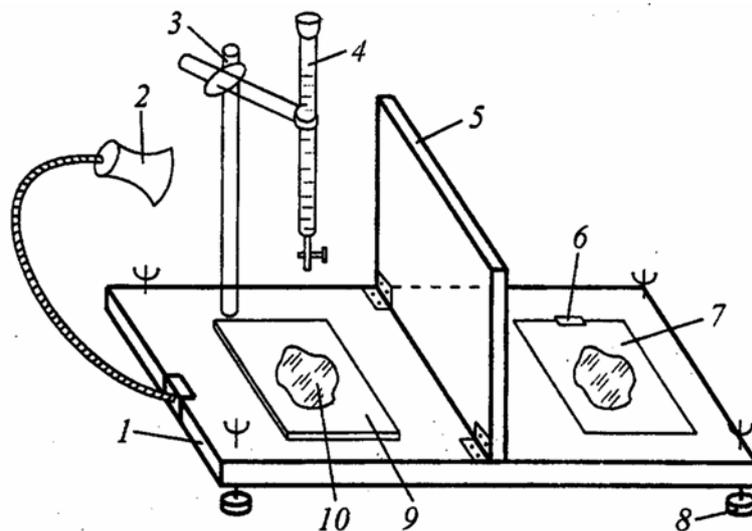


Рис. 2. Схема лабораторного стенда и его составляющие:
1 – испытательный стол; 2 – лампа; 3 – штатив; 4 – бюретка; 5 – вертикально установленное стекло; 6 – зажим для бумаги; 7 – миллиметровая бумага с отражением разлитой жидкости; 8 – регулировочные винты; 9 – исследуемая поверхность; 10 – разлитая жидкость

Из бюретки заданный объем АХОВ выпускался на подготовленную поверхность, помещаемую под бюреткой. В качестве подстилающих поверхностей были рассмотрены: идеальная поверхность (стекло для дальнейших расчётов коэффициента поверхности растекания), песок, асфальт, чернозем, серые лесные почвы. По результатам разлива АХОВ по поверхности определялась площадь разлива. Образцы исследуемой поверхности вместе с АХОВ помещали в холодильную установку для придания необходимой температуры.

Последовательность процедур при проведении эксперимента:

1. Производился отбор, упаковка и транспортирование образцов почв по ГОСТ 12071-2000 [14];
2. Образцы почвы помещались в сушильный шкаф и высушивались при температуре 105 °С в течение двух часов, после этого гигроскопическую влажность грунта (W_g) принимали равной единице;
3. Производилось увлажнение образцов почв водой. Необходимый для увлажнения объем воды Q_v , м³ определяли по формуле:

$$Q_v = \frac{m_{гр} \cdot (W_0 - W_g)}{(1 + W_g)},$$

где $m_{гр}$ – масса пробы грунта, кг; W_0 – среднестатистическая влажность грунта, доли ед.; W_g – гигроскопическая влажность грунта, доли ед.

Исходя из среднестатистической влажности почв по месяцам был установлен диапазон гигроскопической влажности почв при проведении эксперимента: от 0,2 доли ед. до 0,4 доли ед.;

4. Площадь разлива АХОВ в ходе эксперимента определялась путем подсчета клеток внутри контура на миллиметровке. Результаты измерений были приведены по системе СИ;

5. По результатам эксперимента был произведен расчет коэффициента поверхности растекания (K_n) для основных видов АХОВ по формуле (1).

Проведение экспериментальных исследований включает в себя работу с АХОВ, которые представляют опасность для жизни человека, поэтому при работе с ними соблюдались следующие меры безопасности:

- все рабочие помещения были оборудованы общей приточно-вытяжной вентиляцией;
- сотрудники в ходе проведения эксперимента с АХОВ использовали следующие средства защиты (рис. 3): костюмы для защиты от кислот [15], сапоги [16], защитные очки, перчатки для защиты от кислот [17], противогазы с фильтрами марки «Е» [18];



Рис. 3. Экипировка сотрудника, работающего на установке с АХОВ

– процесс эксперимента осуществлялся двумя людьми. Один непосредственно проводил эксперимент, второй являлся ассистентом, а также производил фотосъемку процесса;

– при проведении эксперимента для оказания первой помощи был подготовлен запас питьевой воды, молока, адреналин 1,0 мл, для нейтрализации опасных веществ – запас соды (Na_2CO_3) по ГОСТ 6221-90 [18].

На основе экспериментальных данных по определению геометрических параметров разлива АХОВ был проведен расчет коэффициента поверхности растекания основных видов АХОВ по формуле (1) для подстилающих поверхностей, которые представлены в таблице.

Таблица. Коэффициент поверхности растекания $K_{\text{п}}$ основных видов АХОВ по подстилающим поверхностям

	Сухая погода				Дождь				Сухая погода	
	Скорость ветра 0 м/с		Скорость ветра 5 м/с		Скорость ветра 0 м/с		Скорость ветра 5 м/с		Скорость ветра 0 м/с	Скорость ветра 5 м/с
	t=20 °C	t=0 °C	t=20 °C	t=0 °C	t=20 °C	t=0 °C	t=20 °C	t=0 °C	t= -5 °C	t= -5 °C
АММИАК										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,209	0,223	0,238	0,218	0,204	0,220	0,222	0,229	0,2040	0,2083
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,3023	0,3197	0,2511	0,2762	0,3002	0,3205	0,3129	0,3052	0,3051	0,3080
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,1653	0,1826	0,1746	0,1573	0,2068	0,2217	0,2046	0,2095	0,1758	0,1848
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,2057	0,2204	0,1954	0,2151	0,2202	0,2165	0,1870	0,2093	0,2060	0,2083
СОЛЯНАЯ КИСЛОТА										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,1718	0,1692	0,1917	0,1665	0,2480	0,2283	0,2712	0,3112	0,1524	0,1623
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,2192	0,2222	0,2972	0,2664	0,3340	0,3244	0,3490	0,3540	0,2090	0,2367
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,1691	0,1540	0,1921	0,1880	0,2060	0,2042	0,2244	0,2220	0,1536	0,1708
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,1904	0,2018	0,2092	0,1905	0,2278	0,2300	0,2887	0,2887	0,1799	0,1861
СЕРНАЯ КИСЛОТА										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,4390	0,4142	0,5161	0,4719	0,3651	0,3402	0,4729	0,4417	0,2146	0,2370
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,4604	0,4848	0,4559	0,4534	0,4592	0,4351	0,4770	0,4515	0,3196	0,3456
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,3202	0,2979	0,4529	0,3820	0,2637	0,2131	0,3127	0,2716	0,1949	0,2347
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,2854	0,2714	0,3482	0,2942	0,2183	0,2017	0,2598	0,2541	0,1851	0,2282
АЗОТНАЯ КИСЛОТА										
$K_{\text{п}}$ для песка	0,1647	0,1402	0,1801	0,1568	0,1782	0,1729	0,2105	0,1757	0,1366	0,1440
$K_{\text{п}}$ для асфальта	0,3462	0,3409	0,4245	0,3631	0,40507	0,36750	0,43644	0,39425	0,3619	0,3584
$K_{\text{п}}$ для чернозема	0,1701	0,1506	0,1809	0,1551	0,1886	0,1832	0,2252	0,1820	0,1446	0,1434
$K_{\text{п}}$ для серых лесных почв	0,1373	0,1248	0,1902	0,1562	0,1550	0,1480	0,1976	0,1765	0,1275	0,154

ХЛОП										
К _п для песка	0,1706	0,1641	0,1911	0,16746	0,2471	0,2339	0,2701	0,2741	0,1638	0,1667
К _п для асфальта	0,2180	0,2205	0,2933	0,26794	0,3333	0,3266	0,3467	0,3514	0,2296	0,2505
К _п для чернозема	0,1706	0,1538	0,1924	0,1866	0,2039	0,20161	0,2229	0,2278	0,1592	0,1797
К _п для серых лесных почв	0,1905	0,2000	0,2066	0,1909	0,2286	0,2258	0,2846	0,2818	0,1991	0,2268

На основе полученных коэффициентов поверхности растекания уточняются величина площади и толщина пленки, влияющие на глубину химического заражения и время испарения, согласно формулам (2–4).

Площадь разлива АХОВ $S_{\text{прол}}$ определяется по формуле:

$$S_{\text{прол}} = 3,14 * (3,018 * V^{0.393} * \vartheta^{-0.116} * t^{0.115} * K_{\text{п}})^2, \quad (2)$$

где ϑ – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; t – время растекания жидкости, мин; К_п – коэффициент поверхности растекания; V – объем пролитого АХОВ, м³.

Соответственно толщина пленки разлива определяется по формуле:

$$h_{\text{прол}} = \frac{m}{\rho_{\text{ж}} \cdot S_{\text{прол}}}, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.

Время поражающего действия (испарения) АХОВ определяется по формуле:

$$T_{\text{п.д.}} = \frac{h_{\text{прол}} \cdot \rho_{\text{ж}}}{K_2 K_4 K_7}, \quad (4)$$

где K₂, K₄, K₇ – коэффициенты, определяемые по табл. 5, указанной в прил. 2 к монографии [1].

Площадь разлива и время поражающего действия (испарения) могут существенно повлиять на глубину заражения, определяемую по формуле, приведенной в монографии [1]:

$$\Gamma_{\text{расч}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \Gamma_{\text{пер}} = V_{\text{п}} \cdot T_{\text{п.д.}} \\ \Gamma_{\text{п}} = 0,95 \sqrt[1+b+d]{\frac{m}{0,13(2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot a \cdot c \cdot C_{\text{п}}}} K_{\text{в}} K_{\text{т}} \end{array} \right. , \quad (5)$$

где m – масса АХОВ, кг; C_п – пороговая концентрация АХОВ, г/м³; K_в – коэффициент зависимости глубины заражения от скорости ветра; K_т – коэффициент влияния температуры воздуха на глубину заражения АХОВ; a, b, c, d – коэффициенты степенных моделей дисперсии, определяемые по табл. 1, указанной в прил. 2 к монографии [1]; V_п – скорость переноса воздуха (км/ч), которая определяется по табл. 2, указанной в прил. 1 к монографии [1].

Для сравнения результатов глубины химического заражения и времени поражающего действия (испарения) был проведен расчет времени поражающего действия (испарения) по формуле (4) и глубины химического заражения по формуле (5) с использованием полученных коэффициентов поверхности растекания и без их учета. Расчет был произведен

для хлора массой 10 т, в качестве подстилающей поверхности выбран чернозём, метеоусловия: скорость ветра 1 м/с, температура воздуха 0 °С, вертикальная устойчивость воздуха – инверсия. Время поражающего действия по методике [1] без учета коэффициента поверхности растекания составило 1,49 ч, с учетом коэффициента поверхности растекания 0,87 ч. Глубина заражения по методике [1] без учета коэффициента поверхности растекания составила 1 250 м, с учетом коэффициента поверхности растекания – 866 м.

Таким образом, использование коэффициентов поверхности растекания АХОВ в методиках прогнозирования последствий химических аварий позволит повысить точность и достоверность прогнозируемых параметров химического заражения, особенно при разливе на аварийных участках торможения транспорта.

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. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. М.: МЧС России, ВНИИПО, 2006.
3. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Руководящий документ РД 52.04.253-90. Л., Гидрометеиздат, 1991. 23 с.
4. Fthenakis V. M. HGSYSTEM: a review, critique, and comparison with other models //Journal of loss prevention in the process industries. 1999. Т. 12. №. 6. С. 525–531.
5. Шаталов А.А., Лисанов М.В., Печеркин А.С. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ ТОКСИ-3 // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 9.
6. Методика определений площади зоны защитных мероприятий, устанавливаемых вокруг объектов по хранению химического оружия. М.: Министерство обороны Рос. Федерации, 1999.
7. Временное методическое руководство по оценке экологического риска деятельности нефтебаз и автозаправочных станций. М.: Нефть, 1999.
8. Чаусов Ю.П. Растекаемость особо опасных жидкостей на твердых поверхностях // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения. 1978. Вып. 4. С. 37–46.
9. Яковлев В.В. Нефть. Газ. Последствия аварийных ситуаций: монография. СПб.: СПбГПУ, 2003.
10. НПБ 105-03. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности. М.: Стандарт, 2003.
11. СО 11-04-АКТНП-006-2006. Методика оценки степени риска эксплуатации магистральных нефтепродуктопроводов. М.: Стандарт, 2006.
12. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС Рос. Федерации от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
13. Хафризов Ф.Ш. Исследование разлива нефтепродуктов при авариях технологических трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2014. № 3.
14. ГОСТ 12071-2000 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200009944> (дата обращения: 21.01.2019).
15. ГОСТ 12.4.103-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005295> (дата обращения: 21.01.2019).

16. ГОСТ 5375-79. Сапоги резиновые формовые. Технические условия (с Изменениями № 1–4) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200018526> (дата обращения: 21.01.2019).

17. ГОСТ 12.4.010-75. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия (с изменениями № 1–3) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003070> (дата обращения: 21.01.2019).

18. ГОСТ 6221-90. Аммиак безводный сжиженный. Технические условия (с изменением № 1) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200018926> (дата обращения: 21.01.2019).

