
БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ (РАЗРУШЕНИЙ) ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН С АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ВОЙНЫ

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

А.А. Аксенов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассматриваются пути совершенствования прогнозирования последствий аварий (разрушений) железнодорожных цистерн с аварийно химически опасными веществами без схода их с рельс на основе использования экспресс-методики, позволяющей оперативно получить данные прогноза с помощью таблиц и графиков в условиях отсутствия работы компьютерных систем управления, что возможно при ведении информационной войны.

Ключевые слова: подвижный химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций

WAYS OF IMPROVING THE PREDICTION OF ACCIDENT CONSEQUENCES (DESTRUCTION) RAIL TANK CARS CARRYING DANGEROUS CHEMICAL SUBSTANCES ARE IN AN INFORMATION WAR

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

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

This article discusses ways of improving the prediction of accident consequences (destruction) rail tank with dangerous chemical substance without gathering them from the rail based on the use of rapid methods, allowing to obtain forecast data with tables and graphs in the absence of computer control systems, which is possible in the conduct of information warfare.

Keywords: mobile chemically dangerous objects, dangerous chemical substance, unified state system of prevention and liquidation of emergency situations

В настоящее время вопросы внутривосточных и международных противоречий решаются в большинстве случаев вооруженным путем, связанным с резким расслоением государств на «богатых» (развитых) и «бедных» (развивающихся), которые используются первыми в качестве поставщика дешевой рабочей силы, природных энергетических и других ресурсов. Примерами таких решений являются войны в Кувейте, Ираке, Ливии за право доступа США и стран НАТО к их нефти.

Россия как страна, обладающая большими запасами полезных ископаемых (табл. 1), стала объектом интересов целого ряда государств, стремящихся проводить в отношении ее политику экспансии в различных формах и проявлениях [1].

Таблица 1. Доля полезных ископаемых на территории России в мировых запасах

Нефть	15–20 %
Газ	42 %
Уголь	43 %
Древесина	25 %

Анализ современной военно-политической обстановки в мире показывает, что для России по-прежнему будут существовать источники региональной и локальной опасности, вероятность перерастания которых в военные действия велика. Наглядным примером могут быть события, происходящие на Украине, затрагивающие непосредственно геополитические интересы России.

Несмотря на снижение угрозы развязывания ядерной войны, существует большая вероятность реализации войн с применением обычных средств поражения и информационных технологий.

В ходе боевых действий будет широко применяться высокоточное оружие (ВТО), которое может быть применено уже в течение первых двух суток воздушно-наступательной операции (по опыту применения авиации НАТО против Югославии). Объектами поражения таким оружием станут, в первую очередь, органы систем управления, критически важные и потенциально опасные объекты на территории России и, в том числе, химически опасные объекты (ХОО), к разряду которых относятся подвижные химически опасные объекты [2].

Ежегодно большое количество опасных химических веществ (ОХВ) перевозится транспортом, маршруты которого вынужденно проходят в населенных пунктах. К подвижным ХОО относятся средства, перевозящие ОХВ автомобильным, железнодорожным, водным и трубопроводным транспортом. Большинство грузов (около 80 %) перевозится железнодорожным транспортом. Например, на железных дорогах страны находится одновременно более 700 цистерн, содержащих до 5 000 т сжиженного хлора. Возрастает опасность поражения больших масс людей при авариях (разрушениях) в ходе боевых действий или террористических актов таких объектов с разгерметизацией резервуаров с аварийно химически опасными веществами (АХОВ) вследствие роста плотности населения вблизи железнодорожных объектов [3].

Следует отметить, что железнодорожный транспорт является серьезным источником опасности не только для пассажиров, но и для населения, проживающего в зонах транспортных магистралей, поскольку по ним перевозится большое количество легковоспламеняющихся, опасных химических, радиоактивных, взрывчатых и других веществ, представляющих при аварии угрозу жизни и здоровью людей. Частотность возникновения крупных железнодорожных катастроф составляет 5...20 1/год [4]. Динамика аварий на железнодорожном транспорте представлена на рис. 1.

Такие объекты представляют потенциальную угрозу безопасности населения и сотрудников ГПС МЧС России в случае их попадания в зону возможного химического заражения при авариях (разрушениях) с проливом ОХВ.

Развитие чрезвычайной ситуации при аварии (разрушении) подвижных ХОО будет иметь ряд отличий от аварий (разрушений) на стационарных объектах с АХОВ, в частности по способам инициирования события или по возможности одновременного развития событий на разных объектах. Ущерб на таких объектах может быть значительно больше, чем при промышленных авариях. Это обусловлено характерными особенностями современного железнодорожного транспорта:

– большая масса подвижного состава (общая масса грузового поезда составляет 3–4 тыс. т);

- высокая скорость подвижного состава (грузового до 100 км/ч), а экстренный тормозной путь может составлять до 1 000 м;
- наличие на пути следования опасных участков дорог (мосты, тоннели, спуски, подъемы, переезды, сортировочные горки);
- наличие электрического тока высокого напряжения (до 30 кВ);
- влияние человеческого фактора (диспетчерские ошибки);
- наличие большого количества пути железнодорожных маршрутов, проходящих вблизи населенных участков (особенно в Европейской части России).

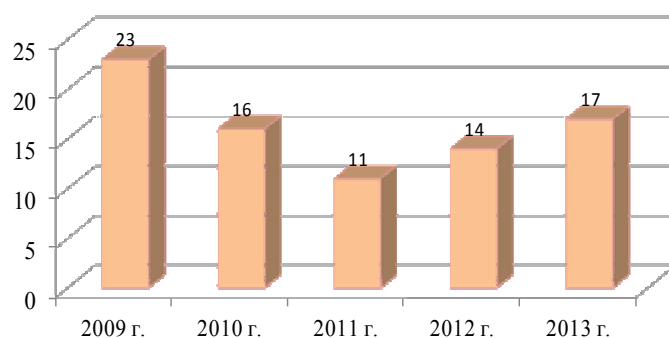


Рис. 1. Динамика количества аварий на объектах ж/д транспорта за 2009–2013 гг.

Определение зон возможного химического заражения и на этой основе выработка профилактических мер защиты и мер по ликвидации последствий аварий на таких объектах осуществляется на этапе прогнозирования.

Особенностью прогнозирования последствий аварий на такого рода объектах будет являться характер разлива жидкой фазы АХОВ при разгерметизации емкостей при движении в зависимости от площади пробоины, количества пробитых емкостей и наличия в них АХОВ, скорости перемещения, характера подстилающей местности.

При разгерметизации железнодорожных цистерн, перевозящих АХОВ, следует учитывать наиболее возможные варианты:

- образование пробоины (трещины) в днище цистерны (цистерн);
- образование пробоины в боковой части цистерны (цистерн);
- разрушение полностью цистерны (цистерн) с разбросом содержимого АХОВ.

Кроме того, следует учитывать распространение зараженного облака как с участка пролива от момента разгерметизации цистерны до остановки транспорта, так и с участка последующего пролива при остановке.

В условиях первого и второго вариантов из пробоины в днище (боковой части) цистерны происходит вылив перевозимого АХОВ. При этом следует рассматривать ситуацию, когда в результате взрыва, повлекшего образование пробоины, не происходит схода с рельсовых путей железнодорожных цистерн. Разлив АХОВ из пробоины в этом случае будет происходить как на участке торможения, так и в районе остановки поврежденного железнодорожного состава.

Для обоснованного и достоверного получения данных результатов прогнозирования необходимо знание многих исходных параметров об объекте и характере окружающей среды, то есть значительной по объему информации. К такой информации относятся все данные, характеризующие сценарий и условия возникновения и развития аварии:

- место возникновения аварии;
- характер процесса высвобождения АХОВ и сопровождающие этот процесс условия;
- качественный и количественный состав высвобождаемых АХОВ;
- физико-химические характеристики АХОВ;

- типы и параметры образующихся начальных источников заражения;
- метеорологические условия на момент аварии и время формирования и функционирования источников заражения;
- характеристики местности в зоне очага аварии и в зонах возможного химического заражения;
- наличие населенных пунктов с количественным распределением населения в зонах возможного химического заражения;
- прогностические данные о возможных последствиях аварии без учета применения мероприятий по ее ликвидации.

Получение всей этой информации в кратчайшие сроки после реализации химически опасной аварии весьма проблематично без использования информационно-аналитических управляющих компьютерных систем органов управления РСЧС. Представляется допустимым при разработке планов действий по предупреждению и ликвидации последствий аварий использовать прогнозы для случаев максимально возможных масштабов их последствий, то есть аварий с высвобождением всего количества имеющихся АХОВ с учетом основных сценариев их возникновения и развития при условиях наиболее благоприятных для формирования и распространения облака заражения воздуха. С другой стороны, для оперативной оценки последствий аварий на таких объектах в случаях неполной разгерметизации целесообразно иметь данные прогноза, исходя из конкретных условий метеорологической обстановки, вида сценария, возможного характера и ориентировочных размеров разгерметизации емкостей с ОХВ.

В современных условиях развязывания вооруженных конфликтов одно из приоритетных направлений принимают нетрадиционные войны, в частности информационная война. В связи с этим в России с внедрением информационных технологий возникают проблемы, связанные с обеспечением функционирования элементов информационной инфраструктуры, сохранности информации. Создание единого глобального информационного пространства, совершенствование компьютерной и информационной технологий создают предпосылки к совершенствованию и применению информационного оружия, которое предназначено, прежде всего, для вывода из строя компьютерных систем управления.

В этой связи возникает проблема осуществления прогнозирования последствий аварий (разрушений) таких объектов с помощью компьютерных систем управления.

В условиях выхода из строя средств вычислительной техники большое значение приобретает оперативное выявление последствий аварий на подвижных ХОО с помощью упрощенных экспресс-методик, позволяющих с приемлемой точностью рассчитывать значения зон заражения без использования компьютерной техники. В последнее время нашли широкое применение на практике экспресс-методики, разработанные на базе существующих нормативных методик, применяемых в системе МЧС России [5–8], представленных в виде графиков и таблиц при прогнозировании аварий стационарных ХОО. Так, например, диспетчеры на стационарных объектах ХОО имеют такого рода таблицы. Поэтому, целесообразно в системе органов управления РСЧС на соответствующих уровнях иметь экспресс-методику для оперативной оценки масштабов химического заражения при аварии (разрушении) цистерн с АХОВ, перевозимых железнодорожным транспортом.

В этих целях при выезде в район аварии подразделений ГПС МЧС России или оперативной группы Центра управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) по результатам их визуальной разведки определяется размер отверстия истечения (может приниматься в виде квадрата), а при докладе в ЦУКС также передаются значения размеров истечения перевозимого резервуара с АХОВ, количества и типа АХОВ, реальные метеоусловия в районе аварии.

Данные метеоусловий в районе аварий могут быть получены с помощью метеокомплекта МК-3, разворачиваемого в районе ликвидации аварии при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ.

ЦУКС, получив эти данные, с помощью таблиц и графиков, рассчитанных по методике, изложенной в работе [2], определяет размеры зон химического заражения как на участке торможения, так и в районе аварийной остановки.

Фрагменты таких таблиц и графиков для соответствующих метеоусловий, начальной скорости аварийного торможения, величины разгерметизации, типа цистерны, перевозящей хлор или аммиак, а также установленного времени локализации аварии представлены в табл. 2–7 и графиках (рис. 2–7).

Таблица 2. Глубина заражения на участках торможения при скорости начала торможения 70 км/с, аммиак

Путь торможения, м	Глубина заражения при пробоине в днище, м	Глубина заражения при пробоине на высоте					
		0,25 м	0,5 м	0,75 м	1 м	1,25 м	1,5 м
541,33	60,219	55,774	51,201	46,487	41,643	36,601	31,35
659,35	114,982	108,978	102,673	95,768	88,563	80,758	72,051
752,272	151,575	143,455	134,996	125,861	116,388	105,899	94,058
822,118	211,513	200,196	188,098	175,22	161,562	147,122	130,732
871,119	266,29	260,463	254,107	247,162	239,375	222,707	197,548
901,834	318,747	311,765	304,093	295,651	286,335	275,504	262,868
917,313	418,701	409,334	399,276	388,089	375,619	361,264	344,663
Остановка	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250

Объем цистерны 71,7 м³; масса 43 т; величина пробоины 0,04 м²; зависимость глубины химического заражения на участке торможения и в районе остановки от расположения отверстия разгерметизации в боковой части цистерны в условиях инверсии (масса 47,6 т; S_{отв}=0,04 м²; u=1 м/с; t⁰=+20 °С; время локализации 15 мин, при начальной скорости торможения 70 км/ч, одна поврежденная цистерна)

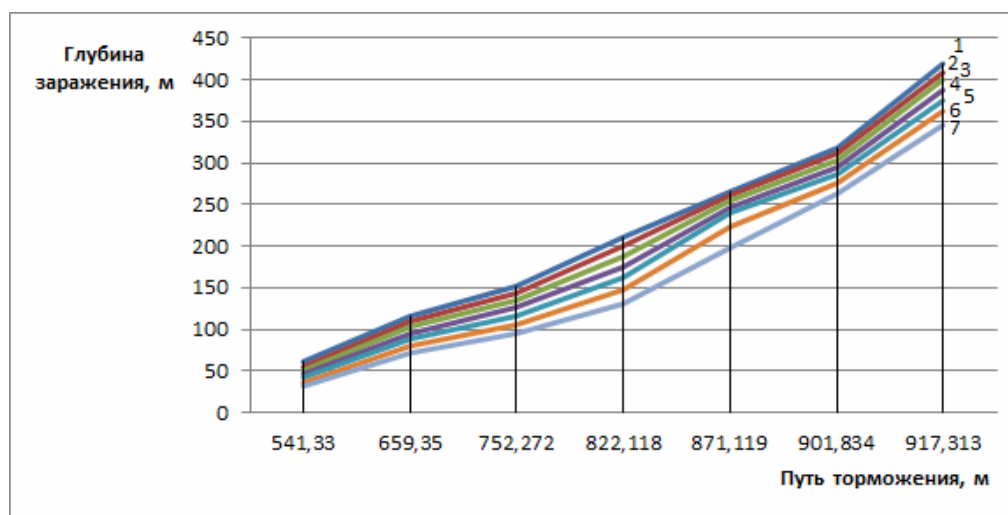


Рис. 2. Зависимость глубины химического заражения на участке торможения от расположения отверстия разгерметизации в боковой части цистерны в условиях инверсии, (S_{отв}=0,04 м²; масса 47,6 т; u=1 м/с; t⁰=+20 °С; время локализации 15 мин, при начальной скорости торможения 70 км/ч; аммиак, одна поврежденная цистерна): 1 – пробоина в днище; 2 – пробоина на высоте 0,25 м; 3 – пробоина на высоте 0,5 м; 4 – пробоина на высоте 0,75 м; 5 – пробоина на высоте 1 м; 6 – пробоина на высоте 1,25 м; 7 – пробоина на высоте 1,5 м

Таблица 3. Глубина заражения на участках торможения при скорости начала торможения 70 км/ч, хлор

Путь торможения, м	Глубина заражения при пробоине в днище, м	Глубина заражения при пробоине на высоте					
		0,25 м	0,5 м	0,75 м	1 м	1,25 м	1,5 м
541,33	101,948	90,383	78,336	65,72	52,314	37,831	21,534
659,35	212,348	194,781	175,364	154,099	130,059	101,397	64,105
752,272	278,214	254,596	228,893	200,412	168,11	130,25	80,234
822,118	386,2	352,548	316,492	276,43	230,759	176,675	106,566
871,119	487,119	469,926	450,309	415,646	345,814	262,589	154,492
901,834	581,996	561,308	537,452	508,711	472,836	423,577	259,172
917,313	763,067	735,53	704,026	665,652	618,417	552,289	440,851
Остановка	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250

Объем цистерны 38,4м³; масса 47,6 т; величина пробоины 0,04 м²; зависимость глубины химического заражения на участке торможения и в районе остановки от расположения отверстия разгерметизации в боковой части цистерны в условиях инверсии (масса 47,6 т; S_{отв}=0,04 м²; u=1 м/с; t⁰=+20 °С; время локализации 15 мин; при начальной скорости торможения 70 км/ч, одна поврежденная цистерна)

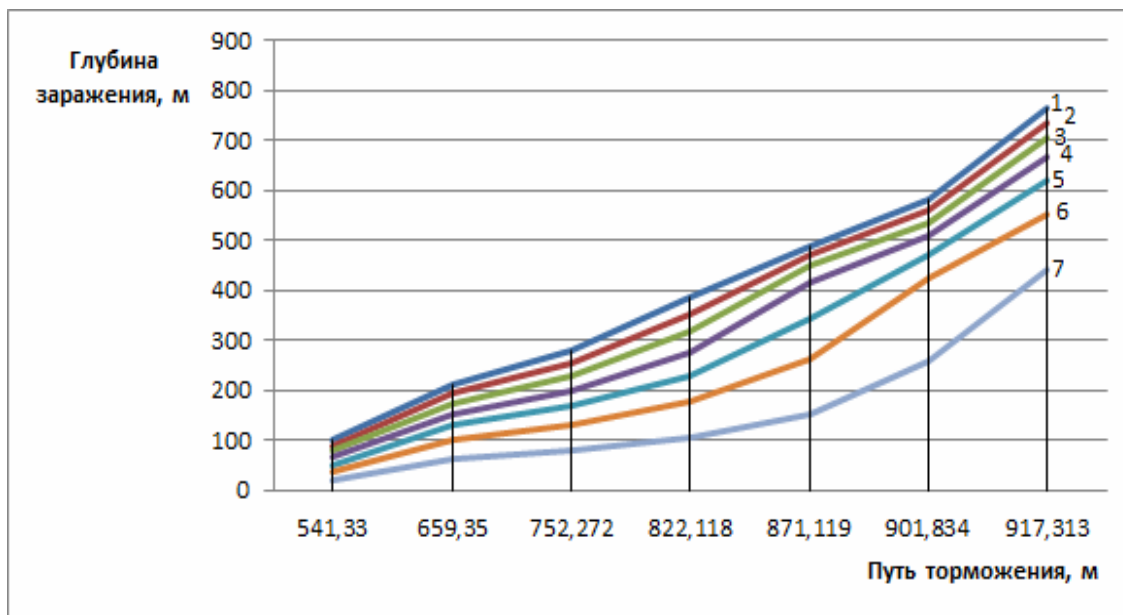


Рис. 3. Зависимость глубины химического заражения на участке торможения от расположения отверстия разгерметизации в боковой части цистерны в условиях инверсии (S_{отв}=0,04 м²; масса 47,6 т; u=1 м/с; t⁰=+20 °С; время локализации 15 мин, при начальной скорости торможения 70 км/ч, хлор, одна поврежденная цистерна): 1 – пробоина в днище; 2 – пробоина на высоте 0,25 м; 3 – пробоина на высоте 0,5 м; 4 – пробоина на высоте 0,75 м; 5 – пробоина на высоте 1 м; 6 – пробоина на высоте 1,25 м; 7 – пробоина на высоте 1,5 м

Таблица 4. Глубина заражения в районе остановки, аммиак

Время локализации, мин	Изотермия, м	Инверсия, м	Конвекция, м
15	1250	1500	1750
30	2500	3000	1970
45	3750	4500	1970
60	5000	6000	1970
90	7500	9000	1970

Скорость ветра 1 м/с; зависимость глубины химического заражения в районе остановки от времени локализации при различной вертикальной устойчивости воздуха (масса 30,5 т; $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$; $u=1 \text{ м/с}$; $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$; при начальной скорости торможения 70 км/ч)

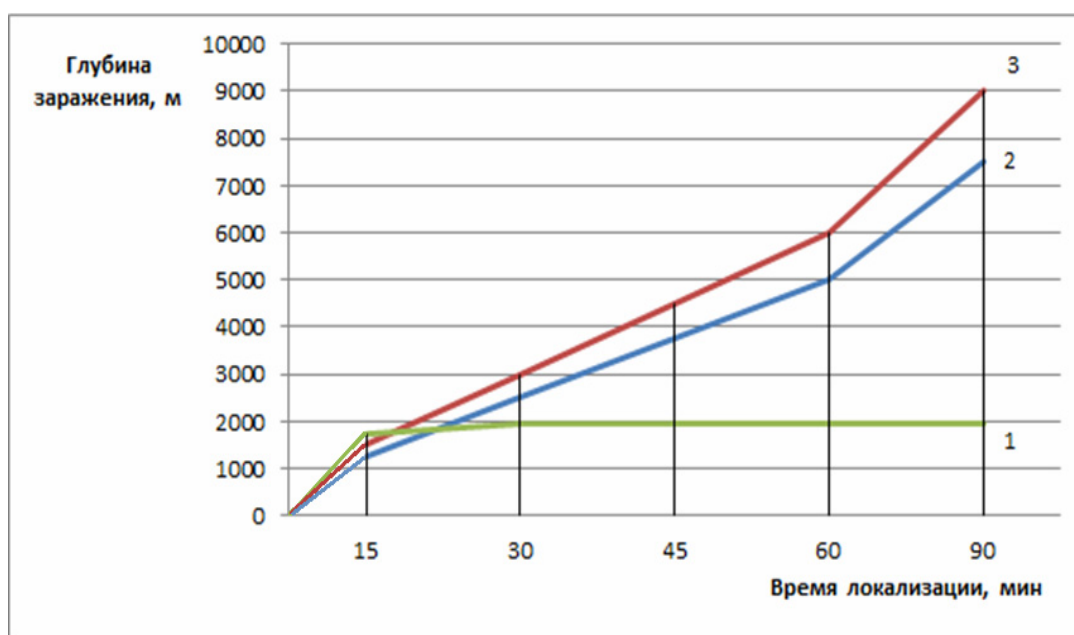


Рис. 4. Зависимость глубины химического заражения в районе остановки от времени локализации при различной вертикальной устойчивости воздуха (масса 30,5 т; $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$; $u=1 \text{ м/с}$; $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$; при начальной скорости торможения 70 км/ч, аммиак): 1 – конвекция; 2 – изотермия; 3 – инверсия

Таблица 5. Зависимость глубины химического заражения в районе остановки от времени локализации при различной вертикальной устойчивости воздуха

Время локализации, мин	Изотермия, м	Инверсия, м	Конвекция, м
15	2500	3000	1714
30	5000	4382	1714
45	7500	4382	1714
60	9437	4382	1714
90	9437	4382	1714

Скорость ветра 2 м/с; масса 30,5 т; $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$; $u=2 \text{ м/с}$; $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$; при начальной скорости торможения 70 км/ч; аммиак

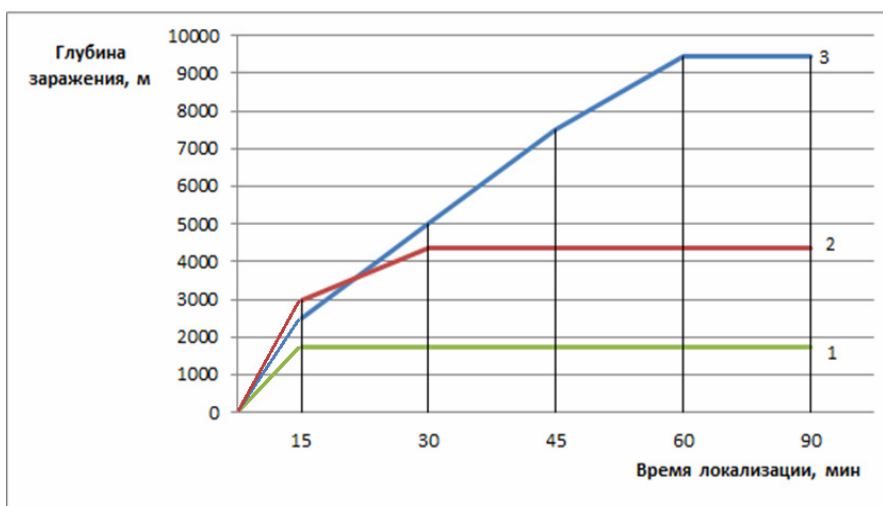


Рис. 5. Зависимость глубины химического заражения в районе остановки от времени локализации при различной вертикальной устойчивости воздуха (масса 30,5 т; $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$; $u=2 \text{ м/с}$; $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$; при начальной скорости торможения 70 км/ч, аммиак): 1 – конвекция; 2 – изотермия; 3 – инверсия

Таблица 6. Глубина заражения в районе остановки, хлор

Время локализации, мин	Изотермия, м	Инверсия, м	Конвекция, м
15	1250	1500	1750
30	2500	3000	3097
45	3750	4500	3097
60	5000	6000	3097
90	7500	8095	3097

Скорость ветра 1 м/с; зависимость глубины химического заражения в районе остановки от времени локализации при различной вертикальной устойчивости воздуха (масса 47,6 т; $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$; $u=1 \text{ м/с}$; $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$; при начальной скорости торможения 70 км/ч)

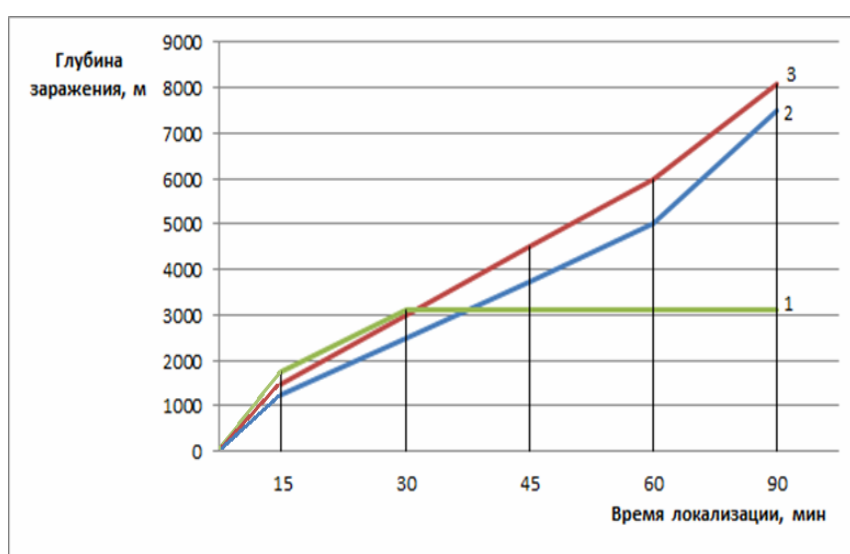


Рис. 6. Зависимость глубины химического заражения в районе остановки от времени локализации при различной вертикальной устойчивости воздуха (масса 47,6 т; $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$; $u=1 \text{ м/с}$; $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$; при начальной скорости торможения 70 км/ч, хлор): 1 – конвекция; 2 – изотермия; 3 – инверсия

Таблица 7. Зависимость глубины химического заражения в районе остановки от времени локализации при различной вертикальной устойчивости воздуха (масса 47,6 т; $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$; $u=2 \text{ м/с}$; $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$; при начальной скорости торможения 70 км/ч, хлор; скорость ветра 2 м/с)

Время локализации, мин	Изотермия, м	Инверсия, м	Конвекция, м
15	2500	3000	2590
30	5000	6000	2590
45	7500	6725	2590
60	10000	6725	2590
90	14708	6725	2590

Порядок пользования графиками (таблицами) следующий:

– по известной массе перевозимого вещества (типовой цистерны), метеоусловиям, примерной величине разгерметизации, передаваемой с места аварии или датчиком в системе сбора данных, в соответствии со стратификацией атмосферы и начальной скоростью торможения по графику определяется глубина заражения на каждом из участков торможения;

– для получения глубины смертельного заражения следует значения пороговой глубины заражения умножить на коэффициент 0,535 для хлора, на 0,196 для аммиака (в таблицах и на графиках представлено пороговое значение глубины заражения);

– при нанесении зон химического заражения на карту (схему) определяют ориентацию возможной площади химического заражения селитебной части вдоль железной дороги. Чтобы учесть глубину заражения, которая может достичь селитебной части населенного пункта при различных направлениях ветра относительно направления движения транспорта (рис. 8), следует значение глубины химического заражения, взятое из графика или таблицы, умножить на коэффициент $K_{напр. \text{ ветра}}$, приведенный в табл. 8.

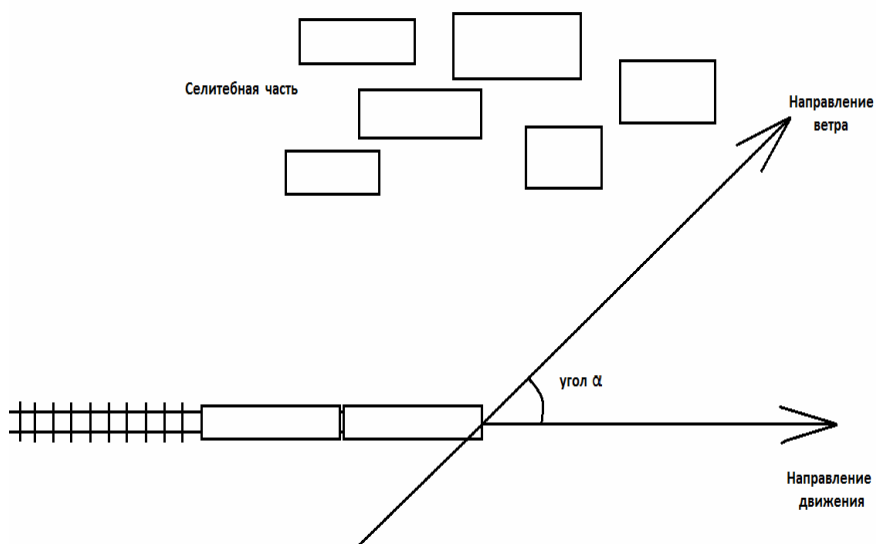


Рис. 8. Отсчет угла направления ветра относительно направления движения транспорта

Таблица 8. Значения поправочного коэффициента $K_{\text{напр. ветра}}$

Угол α	$K_{\text{напр. ветра}}$
0	0
5	0,087
10	0,174
15	0,259
20	0,342
25	0,423
30	0,500
35	0,574
40	0,643
45	0,707
50	0,766
55	0,819
60	0,866
65	0,906
70	0,940
75	0,966
80	0,985
85	0,996
90	1

Например, вследствие террористического акта при прохождении железнодорожного состава через населенный пункт (удаление селитебной части от ж/д пути 100 м) была пробита цистерна с хлором массой 47,6 т (разгерметизация в боковой части цистерны $S_{\text{отв}}=0,04 \text{ м}^2$ на высоте 1 м, метеоусловия (инверсия, скорость приземного ветра $u=1 \text{ м/с}$, направление ветра относительно направления движения транспорта – 70° , температура воздуха $t^0_{\text{в}}=+20^\circ\text{C}$ при начальной скорости торможения 70 км/ч).

Согласно табл. 3 (рис. 3) определяем глубину порогового химического заражения, достигающего населенной части города на участке торможения: начиная с участка торможения 659 м до остановки 917 м глубина от 130 до 618 м, с учетом направления ветра 70° ($K_{\text{напр. ветра}}=0,94$) глубина составит от 122 м до 581 м, тогда глубина смертельного химического заражения на этом участке торможения составит: от $122*0,535=65$ м до $581*0,535=311$ м. Используя табл. 6 (рис. 6), определяем глубину порогового химического заражения в районе остановки при времени локализации 15 мин, которая составит 1500 м, с учетом направления ветра – 1410 м, смертельного химического заражения – $1410*0,535=754$ м.

Как видно из примера, используя таблицы и графики экспресс-методики, довольно просто и оперативно можно спрогнозировать последствия таких видов аварий любым органом управления РСЧС при отсутствии работы компьютерных систем.

Литература

1. Савчук О.Н. Системный анализ прогнозирования возможных последствий при авариях (разрушениях) химически опасных объектов: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2012.
2. Савчук О.Н. Прогнозирование и ликвидация последствий при авариях (разрушениях) подвижных химически опасных объектов: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014.
3. Горбовский А.Д. Современные проблемы химической безопасности // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация» («Пожары и ЧС»). 2014. № 2. С. 35–42.

4. Буралев Ю.В. Безопасность жизнедеятельности на транспорте: учеб. 2-е изд. М.: Академия, 2007.
5. Оценка возможных последствий аварии с токсическим выбросом / В.П. Малышев [и др.]. М.: Медицина экстремальных ситуаций, 2005.
6. Методы оперативной оценки последствий аварии с токсическим выбросом / А.Н. Елохин [и др.]: тр. конф. М.: ИБС, 1990.
7. Савчук О.Н. Безопасность жизнедеятельности. Выявление последствий ЧС мирного и военного времени: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2010.
8. Капустин С.Ю., Малахов В.И. Методическое пособие по прогнозированию и оценке химической обстановки в чрезвычайных ситуациях. Иваново: ИГТА, 2001.