

В.Ю. Востоков, И.В. Орлянский

(Московский физико-технический институт; e-mail: vadimeast@yandex.ru)

О ВОЗМОЖНЫХ СЦЕНАРИЯХ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Представлен вариант алгоритмизации сценариев развития чрезвычайных ситуаций на опасных объектах.

Ключевые слова: деревья событий, точки ветвления, развитие ситуации "по принципу домино".

V.Ju. Vostokov, I.V. Orljanskij

ABOUT THE POSSIBLE SCENARIOS OF EMERGENCIES ON FIRE, EXPLOSIVE AND CHEMICAL DANGEROUS FACILITIES

A version of algorithmization scenarios of emergencies on dangerous facilities is offered.

Key words: event trees, branch points, development of the situation "on principle of domino effect".

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 3 марта 2015 г.

Методические документы МЧС России [1, 2], в части определения количества пострадавших и сценариев развития чрезвычайных ситуаций, были сформированы с использованием алгоритмов оценки риска в оперативном порядке. Апробация указанных документов в региональных подразделениях МЧС России, а также в процессе предаттестационной подготовки экспертов системы независимой оценки риска не только подтвердила востребованность алгоритмов подобного типа, но и определила направление развития нового, по сути, ответвления в области анализа риска. Если говорить об алгоритмах определения сценариев развития чрезвычайных ситуаций (построения деревьев событий), то первый из них, используемый в [2], был представлен в [3], а предложения по его модернизации и дальнейшему развитию этого направления – в [4-6]. В итоге была сформирована следующая процедура определения возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций.

Процесс определения возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций состоит из четырех шагов.

Шаг 1-й: идентификация опасного объекта.

На первом шаге определения возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций с использованием табл. 1, исходя из типа опасного вещества, находящегося на объекте, и формы его использования, устанавливается идентификационный код объекта. Первый шаг является общим для процедур определения всех основных характеристик риска, что обуславливает некоторое "утяжеление" двух представляемых в настоящей статье таблиц, в том числе и табл. 1.

Идентификационные цифровые коды стационарных площадных объектов

Типы опасных веществ и формы их использования		Код
<i>Взрывчатые вещества</i>		
Хранение	Вне зон сплошной застройки	1
	На территории зоны сплошной застройки	2
Применение	Вне зон сплошной застройки	3
	На территории зоны сплошной застройки	4
<i>Горючие жидкости</i>		
Давление насыщенных паров при 20 °С менее 0,3 бар	Хранение в заглубленных резервуарах	5
	Другие формы хранения	6
	Производство, переработка	7
Давление насыщенных паров при 20 °С более 0,3 бар	Хранение в заглубленных резервуарах	8
	Другие формы хранения	9
	Производство, переработка	10
<i>Воспламеняющиеся газы</i>		
Сжиженные давлением	Хранение в заглубленных резервуарах	11
	Другие формы хранения	12
	Производство, переработка на подземных объектах	13
	Производство, переработка на наземных объектах	14
Сжиженные охлаждением	Хранение в заглубленных резервуарах	15
	Другие формы хранения	16
	Производство, переработка	17
Под давлением	Хранение баллонов и цистерн	18
	Использование баллонов и цистерн, в т.ч. заправка	19
<i>Токсичные жидкости</i>		
Низкотоксичные	Хранение в заглубленных резервуарах	20
	Другие формы хранения	21
	Производство, переработка	22
Среднетоксичные	Хранение в заглубленных резервуарах	23
	Другие формы хранения	24
	Производство, переработка	25
Высокотоксичные	Хранение в заглубленных резервуарах	26
	Другие формы хранения	27
	Производство, переработка	28
<i>Токсичные газы (сжиженные давлением)</i>		
Низкотоксичные	Хранение	29
	Производство, переработка	30
Среднетоксичные	Хранение	31
	Производство, переработка	32
Высокотоксичные	Хранение	33
	Производство, переработка	34
<i>Токсичные газы (сжиженные охлаждением)</i>		
Низкотоксичные	Хранение	35
	Производство, переработка	36
Среднетоксичные	Хранение	37
	Производство, переработка	38
Высокотоксичные	Хранение	39
	Производство, переработка	40
<i>Продукты горения крупнотоннажных химических производств</i>		
Пластики (хлорсодержащие)		41
Пестициды		42
Серная кислота		43
Удобрения (азотосодержащие)		44

Шаг 2-й: установление типа дерева событий.

На втором шаге определения возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций по цифровому коду, идентифицирующему объект, с помощью табл. 2 устанавливается тип дерева событий чрезвычайной ситуации.

Таблица 2

Матрица типов деревьев событий

Код	Тип дерева событий
1	Solid
2	
3	
4	
5	Gaseous-F
6, 7	Liquid-F
8	Gaseous-F

Код	Тип дерева событий
9, 10	Liquid-F
11	Gaseous-F
12-14	
15-17	
18, 19	
20	Gaseous-T
21, 22	Liquid-T

Код	Тип дерева событий
23	Gaseous-T
24, 25	Liquid-T
26	Gaseous-T
27, 28	Liquid-T
29-34	Gaseous-T
35-40	Liquid-T
41-44	Liquid-F

Графические изображения типов деревьев событий представлены на рис. 1-5.

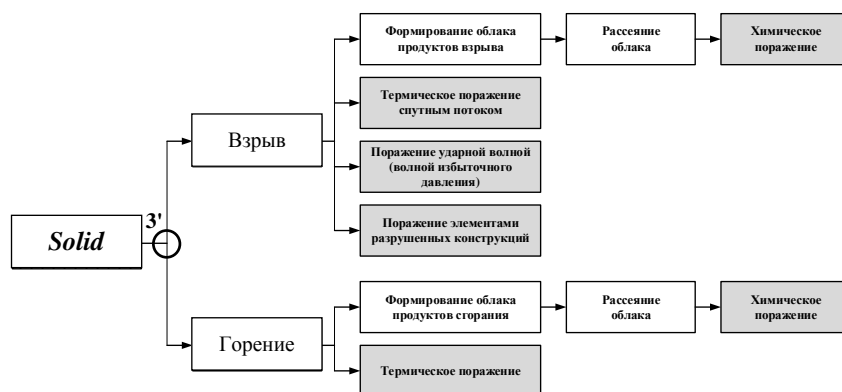


Рис. 1. Дерево событий типа **Solid**

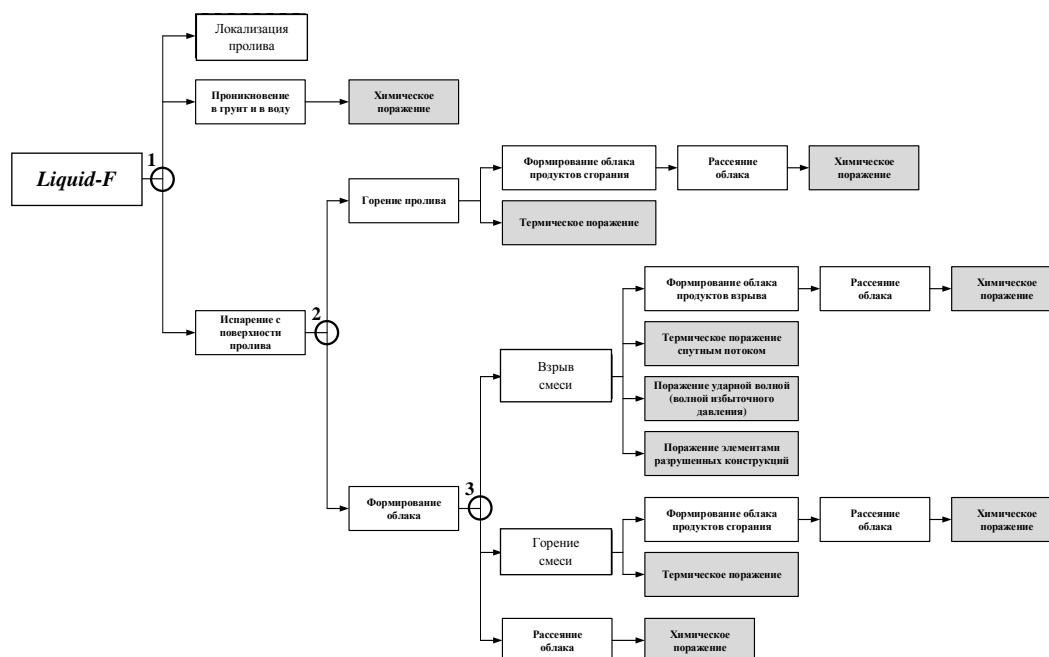


Рис. 2. Дерево событий типа **Liquid-F**

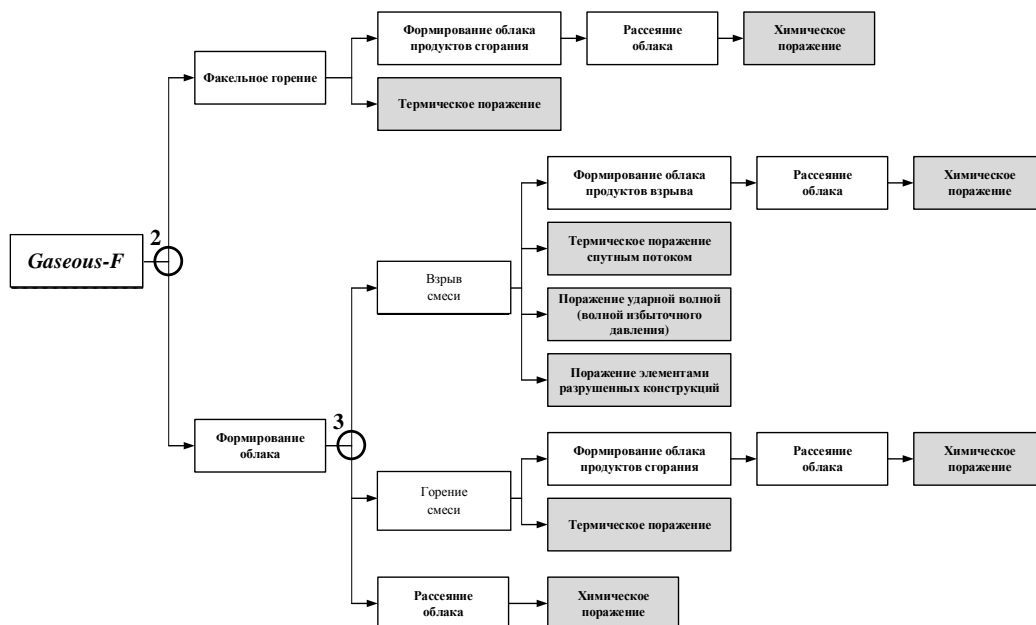


Рис. 3. Дерево событий типа **Gaseous-F**



Рис. 4. Дерево событий типа **Liquid-T**

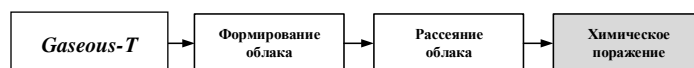


Рис. 5. Дерево событий типа **Gaseous-T**

Шаг 3-й: установление возможности реализации сценариев развития.

На третьем шаге определения возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций на основе выбора наиболее характерной для свойств вещества и условий объекта последовательности потенциально возможных событий, выходящей из точки ветвления, устанавливается возможность реализации тех или иных сценариев развития чрезвычайной ситуации.

По данным табл. 3 можно установить наличие и тип точек ветвления в выбранном типе дерева событий (на рис. 1-5 точки ветвления отмечены кружками с указанием номеров её типа).

Матрица типов точек ветвления в деревьях событий

Тип точки ветвления \ Тип дерева событий	Solid	Liquid-F	Gaseous-F	Liquid-T	Gaseous-T
№1		+		+	
№ 2		+	+		
№ 3	+	+	+		

С использованием матриц определения возможного направления развития чрезвычайной ситуации в точке ветвления (табл. 4-6) можно, исходя из условий объекта и свойств веществ, установить возможность реализации различных потенциально возможных событий (рис. 6-8.) представлены графические изображения точек ветвления).

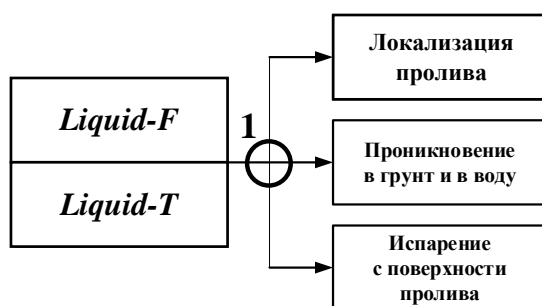


Рис. 6. Точка ветвления тип № 1

Матрица событий точки ветвления (тип № 1)

	Наличие мероприятий по недопущению поступления паров жидкости в атмосферу	Отсутствие мероприятий по недопущению поступления паров жидкости в атмосферу
Пролив формируется на подготовленной поверхности, глинистом и/или промерзшем грунте	<i>Локализация пролива</i>	<i>Испарение с поверхности пролива</i>
Пролив формируется на ином типе грунтов	<i>Проникновение в грунт и воду</i>	<i>Проникновение в грунт и воду & Испарение с поверхности пролива</i>

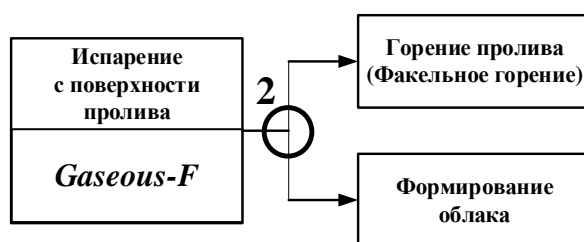
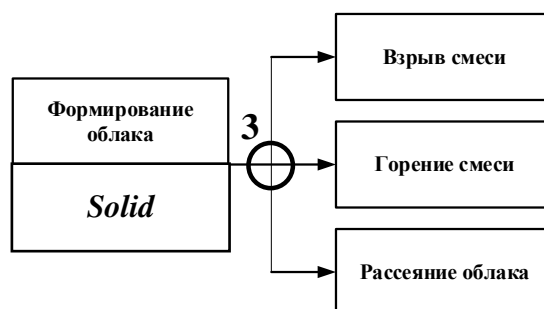


Рис. 7. Точка ветвления тип № 2

Матрица событий точки ветвления (тип № 2)

	Наличие внешних источников возгорания в зоне контакта паров (газа) с воздухом	Отсутствие внешних источников возгорания в зоне контакта паров (газа) с воздухом
Способность паров (газа) к самовоспламенению в условиях контакта с кислородом воздуха	<i>Горение пролива (факельное горение)</i>	<i>Горение пролива (факельное горение)</i>
Неспособность паров (газа) к самовоспламенению в условиях контакта с кислородом воздуха	<i>Горение пролива (факельное горение)</i>	<i>Формирование облака</i>

**Рис. 8.** Точка ветвления тип № 3**Матрица событий точки ветвления (тип № 3)**

	Наличие внешних источников возгорания в шлейфе за проливом или на пути следования облака	Отсутствие внешних источников возгорания в шлейфе за проливом или на пути следования облака
Открытое пространство	<i>Горение смеси</i>	<i>Рассеивание облака</i>
Ограниченность пространства (пересеченная местность, наличие строений, конструкций)	<i>Взрыв смеси</i>	<i>Рассеивание облака</i>

Шаг 4-й: установление возможности развития чрезвычайной ситуации по "принципу домино".

На четвертом шаге определения возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций с помощью традиционных методов планиметрии устанавливается возможность развития чрезвычайной ситуации "по принципу домино".

По данным табл. 7, на основе цифрового кода, можно установить, на каких объектах, при их попадании в зону поражения, под действием поражающих факторов возможно инициирование новых аварий, способных повлечь за собой расширение зоны чрезвычайной ситуации.

Матрица "принципа домино"

Код	Область безвозвратных потерь	Область санитарных потерь
1-19	Инициирование аварий на наземных объектах	Инициирование аварий на наземных объектах
20-44	Инициирование аварий на объектах, в том числе подземных, на которых применяются процессы, требующие постоянного участия человека	

При наличии информации о количестве опасного вещества на объекте характерный размер зон поражения можно определить с использованием табл. 8 (область санитарных потерь) или табл. 9 (область безвозвратных потерь).

Таблица 8

Определение размера области санитарных потерь, м

Код	Масса вещества, т									
	<1	1-3	3-10	10-30	30-100	100-300	300-1000	1000-3000	3000-10000	>10000
1	82	82	165	165	330	330	825	—	—	—
2	330	330	825	825	1 650	1 650	3 300	—	—	—
3	82	82	165	165	330	330	825	—	—	—
4	330	330	825	825	1 650	1 650	3 300	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	82	82	165	165
6,7	—	—	—	115	230	230	460	1 150	2 300	2 300
8	—	—	—	115	115	230	230	460	460	1 150
9,10	230	460	460	1 150	1 150	2 300	2 300	4 600	—	—
11	82	82	165	165	330	330	825	—	—	—
12,13,14	330	330	825	825	1 650	1 650	3 300	—	—	—
15	—	—	—	115	115	230	230	460	460	1 150
16,17	230	460	460	1 150	1 150	2 300	2 300	4 600	—	—
18,19	165	330	330	825	825	1 650	1 650	—	—	—

Таблица 9

Определение размера области безвозвратных потерь, м

Код	Масса вещества, т									
	<1	1-3	3-10	10-30	30-100	100-300	300-1000	1000-3000	3000-10000	>10000
20	—	—	—	—	—	—	—	—	25	50
21,22	—	—	—	25	50	50	100	250	500	500
23	—	—	—	—	—	—	25	50	100	250
24,25	—	25	50	100	250	250	500	1 000	2 500	2 500
26	—	—	—	—	25	50	100	250	250	500
27,28	50	100	250	500	1 000	1 000	2 500	5 000	—	—
29,30	—	—	25	50	100	250	250	500	1 000	1 000
31,32	25	50	100	250	250	500	1 000	2 500	2 500	5 000
33,34	100	250	250	500	1 000	2 500	2 500	5 000	—	—
35,36	—	—	—	25	50	50	100	250	500	500
37,38	—	25	50	100	250	250	500	1 000	2 500	2 500
39,40	50	100	250	500	1 000	1 000	2 500	5 000	—	—
41	—	—	—	25	50	50	100	250	—	—
42,43	—	—	25	50	100	100	250	500	—	—
44	—	25	50	100	250	250	500	1 000	—	—

В завершение описания процедуры определения возможных сценариев развития чрезвычайных ситуаций целесообразно дать несколько пояснений и рекомендаций по практическому применению изложенного, а также продемонстрировать действие процедуры на примере одного из "модельных" объектов, рассмотренных в [1]:

(а) Класс токсичности веществ может быть определен по значению величины LC_{50} (в *ppm*, крысы, 4 ч):

если значение указанного параметра меньше 0,1, то вещество относится к классу высокотоксичных;

от 0,1 до 10 – среднетоксичных;

больше 10 – низкотоксичных.

(б) Если опасность на объекте может быть вызвана более чем одним веществом, причём относящимся к разным типам, необходимо проанализировать все сценарии развития чрезвычайной ситуации по отдельности.

(в) Если опасные вещества действуют совместно и имеют один цифровой код, то они рассматриваются как одно опасное вещество с суммарной массой.

(г) Если опасное вещество является и горючим (воспламеняющимся), и токсичным, необходимо последовательно рассмотреть оба варианта.

(д) Если газу, сжиженному давлением, характерно ярко выраженное проявление эффекта Джоуля Томсона (например, аммиак), также необходимо последовательно рассмотреть оба варианта чрезвычайных ситуаций – обусловленных выбросом газов, сжиженных давлением и охлаждением.

(е) При установлении возможного направления развития чрезвычайной ситуации в точках ветвления типов № 2 и № 3 в вариантах деревьев событий типа Liquid-F / Gaseous-F в качестве возможных внешних источников возгорания следует учитывать химические вещества, способные выступать в качестве катализаторов, инициирующих самовоспламенение топливовоздушной смеси или паров (газа) при контакте с кислородом воздуха. (К числу таких катализаторов можно отнести, например, белый фосфор, фосфористый и кремнистый водороды, некоторые металлоорганические соединения [7]).

(ж) При установлении возможного направления развития чрезвычайной ситуации в точке ветвления тип № 3 в варианте дерева событий типа Solid в число внешних источников возгорания следует включать возможное механическое воздействие на взрывчатые вещества.

В качестве "модельного" объекта, рассмотренного в [1], выберем объект хранения несимметричного **диметилгидразина (НДМГ)**. Исходные данные:

на объекте хранения "О" произошел пролив на подготовленную поверхность 150 т высокотоксичного жидкого компонента ракетного топлива, давление насыщенных паров которого при 20°C более 0,3 бар;

объект находится в центре обширного (несколько десятков километров) района фермерских хозяйств, территорию которого можно отнести к категории открытого пространства.

Шаг 1-й: идентификация опасного объекта.

Объекту хранения НДМГ в соответствии с табл. 1 могут быть присвоено два идентификационных кода:

9, когда рассматриваем НДМГ в качестве горючей жидкости;

27, когда рассматриваем НДМГ в качестве токсичной жидкости.

Шаг 2-й: установление дерева событий.

По табл. 2 определяем – для описания развития чрезвычайной ситуации на объектах с идентификационным кодом 27 используется дерево событий типа Liquid-T (рис. 4), а с кодом 9 – Liquid-F (рис. 2). Учитывая, что дерево событий типа Liquid-T фактически является составной частью дерева событий типа Liquid-F, на последующих шагах процедуры определения возможных сценариев развития чрезвычайной ситуации ограничимся рассмотрением только дерева событий типа Liquid-F.

Шаг 3-й: установление возможности реализации сценариев развития.

Согласно данным табл. 3, дерево событий типа Liquid -F содержит точки ветвления всех трех типов:

в точке ветвления № 1 (рис. 6) выбираем варианты, возможные в условиях пролива на подготовленную поверхность (табл. 4 – о наличии мероприятий по недопущению поступления паров жидкости в атмосферу ничего неизвестно) – "Локализация пролива" и "Испарение с поверхности пролива";

в точке ветвления № 2 (рис. 7) выбираем вариант "Формирование облака" (табл. 5 – предполагаем, что внешние источники возгорания на объекте хранения отсутствуют, а пары НДМГ не способны к самовоспламенению в нормальных условиях при контакте с кислородом воздуха);

в точке ветвления № 3 (рис. 8) выбираем варианты, возможные в условиях открытого пространства (табл. 6) – "Рассеивание облака" и "Горение смеси".

Итоговый вариант дерева событий представлен на рис. 9.

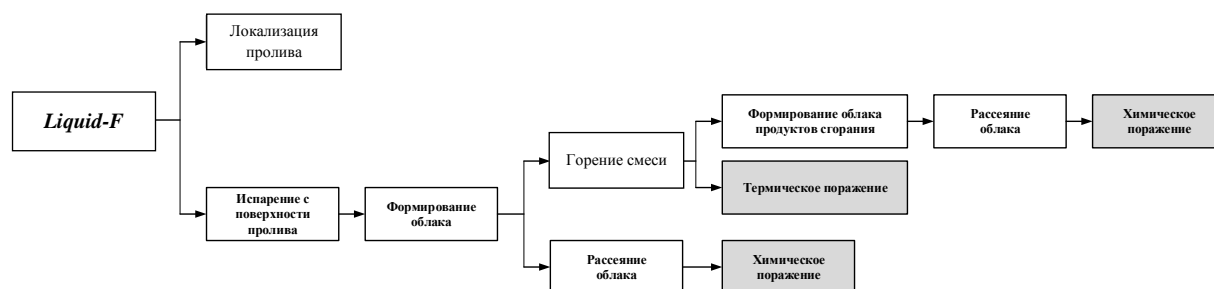


Рис. 9. Дерево событий чрезвычайной ситуации на объекте хранения НДМГ

Шаг 4-й: установление возможности развития ЧС по "принципу домино".

По табл. 8 и 9 определяем размер зоны поражения:

для объекта с кодом 9 размер области санитарных потерь составляет 2 300 м;

для объекта с кодом 27 размер области безвозвратных потерь составляет 1 000 м.

То есть, развитие чрезвычайной ситуации по "принципу домино", в соответствии с данными таблицы 7, возможно в случае, если на расстоянии от объекта "О":

- менее чем в 2 300 м находятся наземные объекты, на которых имеются пожаровзрывоопасные и/или токсичные вещества (например, воздушные линии газопровода малого диаметра);

- менее чем в 1 000 м находятся объекты, в том числе подземные, на которых имеются пожаровзрывоопасные и/или токсичные вещества и применяются процессы, требующие постоянного участия человека.

В заключение стоит отметить, что настоящий алгоритм позволяет построить дерево событий чрезвычайной ситуации на стационарных площадных объектах при наличии на них пожаровзрывоопасных и/или токсичных веществ при минимальном привлечении дополнительных сил и средств, в том числе, статистических данных, без какой-либо специальной подготовки и в течение нескольких минут.

Литература

1. **Методические** рекомендации по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях техногенного характера: утверждены первым заместителем Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 01 сентября 2007 года № 1-4-60-9-9.

2. **Методики** оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций (Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации): утверждены первым заместителем Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 09 января 2008 года № 1-4-60-9.

3. **Востоков В.Ю.** Типизация фрагментов деревьев событий // Пожарная безопасность. 2008. № 2.

4. **Орлянский И.В., Востоков В.Ю., Маркидонова Е.Ю.** Построение деревьев событий – переход от типовых фрагментов к их устойчивым комбинациям // Технологии гражданской безопасности. 2012. Т. 9. № 2. С.58-63.

5. **Орлянский И.В., Востоков В.Ю., Петрянин Е.В.** Алгоритм определения наиболее вероятного сценария развития чрезвычайной ситуации, обусловленной выбросами пожаровзрывоопасных и токсичных веществ // Технологии гражданской безопасности. 2012. Т. 9. № 3. С. 66-71.

6. **Востоков В.Ю., Маркидонова Е.Ю., Коровин А.И.** О моделировании развития чрезвычайной ситуации по "принципу домино" // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 6 (46). Декабрь 2012. <http://ipb.mos.ru/ttb>.

7. **Белюсов В.В.** Дымовые и огнеметно-зажигательные средства. М.: Воениздат, 1951. С. 309.