

В.Ю. Востоков¹, Е.Ю. Маркидонова², А.И. Коровин¹
(¹ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России, ²МФТИ; e-mail: vadimeast@yandex.ru)

О МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПО "ПРИНЦИПУ ДОМИНО"

Разработаны предложения по моделированию развития чрезвычайной ситуации, обусловленной пожарами, взрывами и выбросами токсичных веществ.

Ключевые слова: деревья событий, чрезвычайные ситуации, пожары, взрывы, выбросы токсичных веществ.

V.Yu. Vostokov, E.Yu. Markidonova, A.I. Korovin **ABOUT MODELING OF THE PROCESS OF EMERGENCY BY "DOMINO EFFECT"**

Developed proposals for modeling of emergency process caused by fires, explosions and releases of toxic substances.

Key words: event trees, emergency, fires, explosions, releases of toxic substances.

В работе [1] в качестве инструмента, способствующего сведению процесса построения и анализа чрезвычайных ситуаций, развивающихся на открытом пространстве и обусловленных пожарами, взрывами и выбросами токсичных веществ, к строгой технологической схеме, была предложена система типизированных фрагментов. Данный подход был использован в руководстве по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера (далее – Руководство [2]), которое было утверждено в установленном порядке (09 января 2008 года № 1-4-60-9) и направлено в территориальные органы МЧС России для использования в практической деятельности. Также указанное Руководство [2] было включено в программу по предаттестационной подготовке экспертов системы независимой оценки рисков в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны.

Апробация Руководства [2] при его практическом использовании, а также в процессе предаттестационной подготовки экспертов подтвердила востребованность подхода, представленного в [1], и позволила модернизировать систему типизированных фрагментов, что упростило алгоритмизацию чрезвычайных ситуаций. Указанная модернизация свелась к формированию устойчивых комбинаций типизированных фрагментов.

В табл. 1 сведены данные по устойчивым комбинациям фрагментов, в том числе и кодификация опасных объектов, применяемая в методиках по оценке в оперативном порядке числа пострадавших в результате чрезвычайной ситуации [3, 6], для которых устойчивые комбинации могут быть использованы в качестве:

- деревьев событий (если возникновение новых пожаров, взрывов и выбросов токсичных веществ не происходит);
- первого эпизода дерева событий (если в процессе развития чрезвычайной ситуации происходит возникновение новых пожаров, взрывов и выбросов токсичных веществ).

Данные по устойчивым комбинациям фрагментов

№	Устойчивая комбинация	Изображение	Коды опасных объектов [3, 6]
1.	Solid	Рис. 1	1, 2
2.	Liquid-F	Рис. 2	4, 6, 10
3.	Gaseous-F	Рис. 3	3, 5, 7-9, 11
4.	Liquid-T	Рис. 4	13, 15, 17, 21-23
5.	Gaseous-T	Рис. 5	12, 14, 16, 18-20



Рис. 1. Устойчивая комбинация №1 – эпизод "Solid"

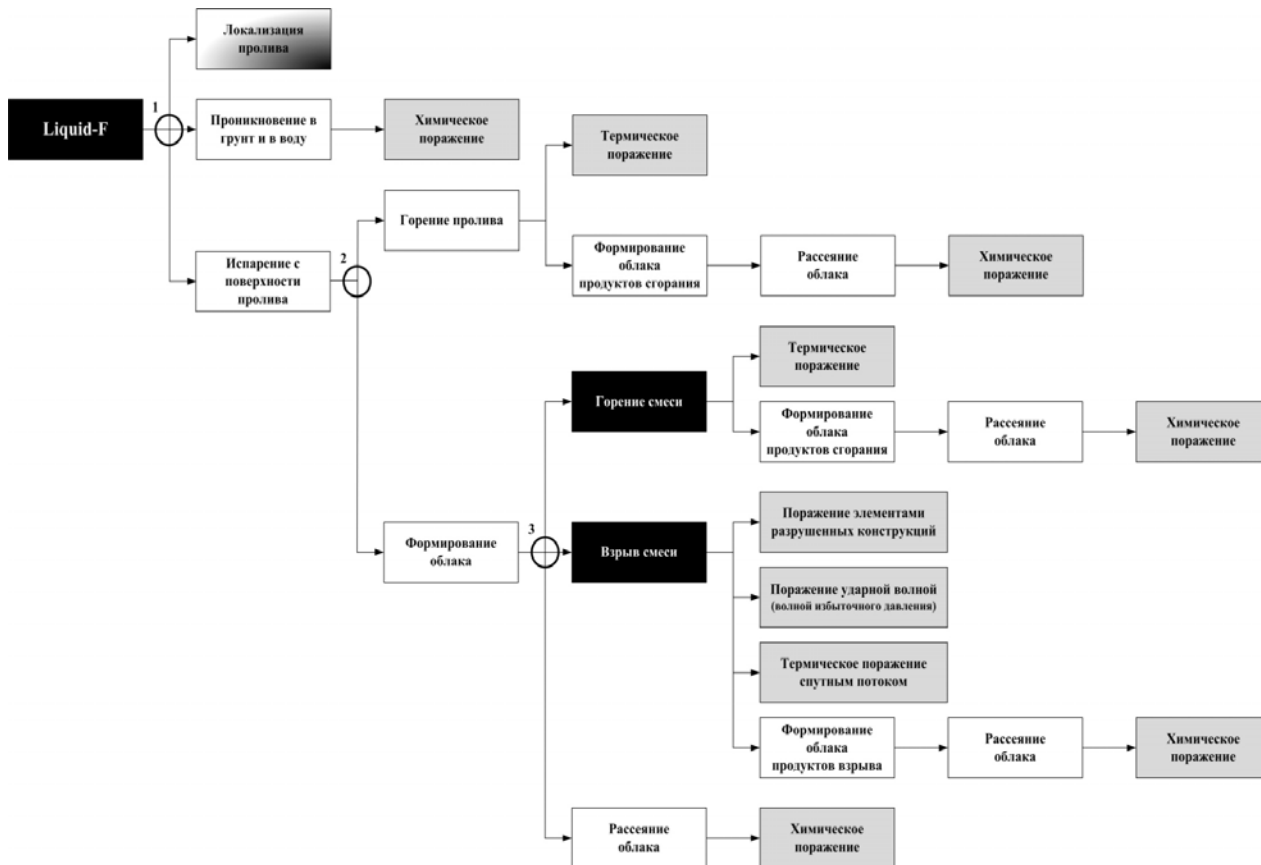


Рис. 2. Устойчивая комбинация №2 – эпизод "Liquid-F"

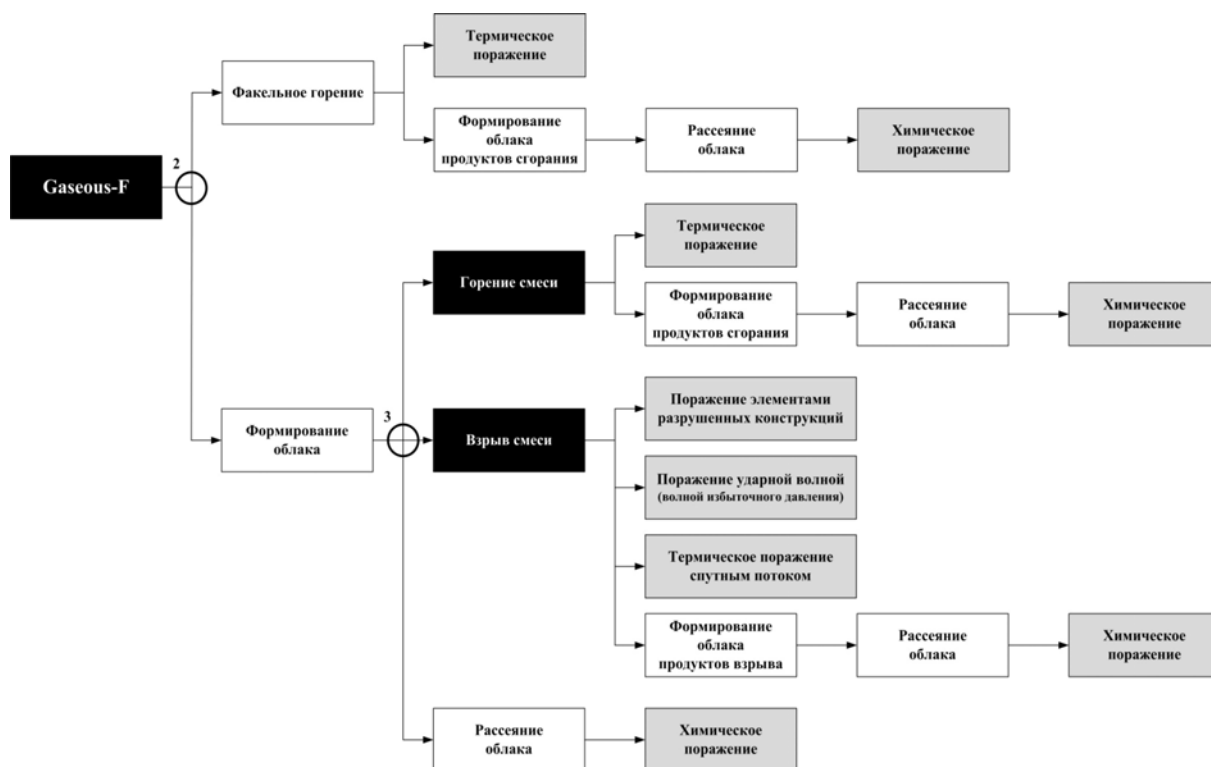


Рис. 3. Устойчивая комбинация №3 – эпизод "Gaseous-F"



Рис. 4. Устойчивая комбинация №4 – эпизод "Liquid-T"



Рис. 5. Устойчивая комбинация №5 – эпизод "Gaseous-T"

Для формирования полноценной методики моделирования развития чрезвычайных ситуаций, обусловленных пожарами, взрывами и выбросами токсичных веществ, на базе представленной системы устойчивых комбинаций фрагментов необходимо решить ряд задач. Одна из указанных задач связана с формализацией условий инициирования при развитии чрезвычайной ситуации аварий на других объектах, использующих пожаровзрывоопасные и токсичные вещества.

Ниже для обсуждения специалистами в области моделирования развития чрезвычайных ситуаций представлено возможное решение задачи по формализации условий инициирования новых аварий, которое было сформулировано при условии, что упоминаемые выше устойчивые комбинации типовых фрагментов, по механизму инициирования можно разделить на три группы:

- сценарий "Solid";
- сценарии "Liquid-F" и "Gaseous-F";
- сценарии "Liquid-T" и "Gaseous-T".

Сценарий "Solid"

Устойчивая комбинация "Solid" описывает развитие чрезвычайных ситуаций при детонации конденсированных взрывчатых веществ. В этом случае характер и масштаб инициируемых чрезвычайных ситуаций обусловлен степенью разрушений, характерных месту нахождения пожаровзрывоопасных и токсичных веществ [5]. В табл. 2 представлены данные, позволяющие оценить характер и масштаб инициируемых чрезвычайных ситуаций в зависимости от расстояния места нахождения пожаровзрывоопасных и токсичных веществ от эпицентра взрыва (в формулах, используемых в табл. 2, так же, как и ниже по тексту, все параметры имеют размерность Международной системы единиц (СИ)).

Таблица 2

Исходные данные для оценки характера и масштаба инициируемых ЧС

Степень разрушений (описание разрушений), внешний радиус [5]	Инициирование сценариев "Liquid-F", "Gaseous-F", "Liquid-T" и "Gaseous-T"	Инициирование сценария "Solid"
Сплошные (разрушение и обрушение всех элементов зданий и сооружений, включая подвалы) $R_1 \approx 5,95 \cdot q^{1/3}$	Повреждение подземных хранилищ и трубопроводов. Разрушение наземных хранилищ и трубопроводов	Детонация взрывчатых веществ, включая находящиеся в подземных хранилищах
Сильные (разрушение части стен и перекрытий верхних этажей, образование трещин в стенах, деформация перекрытий нижних этажей) $R_2 \approx 15,1 \cdot q^{1/3}$	Повреждение наземных хранилищ и крупных трубопроводов (свыше 1 метра в диаметре). Разрушение малых и средних наземных трубопроводов	Детонация взрывчатых веществ, находящихся выше уровня земли
Средние (разрушение главным образом второстепенных элементов, перекрытия, как правило, не обрушаются) $R_3 \approx 29,6 \cdot q^{1/3}$	Повреждение средних наземных трубопроводов. Разрушение малых наземных трубопроводов (до 0,1 метра в диаметре)	Детонация инициирующих (первичных) взрывчатых веществ, находящихся выше уровня земли
Слабые (разрушение оконных и дверных заполнений и перегородок, подвалы и нижние этажи полностью сохраняются) $R_4 \approx 56,9 \cdot q^{1/3}$	Повреждение малых наземных трубопроводов	—

Что касается наиболее вероятного направления развития чрезвычайной ситуации при инициировании сценариев "Liquid-F" и "Gaseous-F", то диффузионное горение (горение пролива или факельное горение) является доминирующим даже при образовании пролива на песке (торфе). Это обусловлено появлением при взрыве большого числа внешних источников возгорания, причем их действие, в основном, кратковременно и следует непосредственно за прохождением ударной волны.

К числу упомянутых источников возгорания относятся:

- спутный поток – его возможности в качестве источника возгорания во многом зависят от состава взрывчатого вещества;
- искрение при ударах элементов разрушаемых конструкций друг о друга, которое имеет место, главным образом, в зонах сплошных и сильных разрушений;
- искрение при нарушении электропроводки, которое имеет место по большей части в зонах средних и слабых разрушений.

Сценарии "Liquid-F" и "Gaseous-F"

Во вторую группу входят устойчивые комбинации "Liquid-F" и "Gaseous-F", описывающие, главным образом, развитие чрезвычайной ситуации при выбросе пожаровзрывоопасных веществ, находящихся в жидком и газообразном состояниях (кроме этого указанные устойчивые комбинации могут использоваться и в случае выброса нескольких аварийно химически опасных веществ, не вступающих в реакцию с кислородом, но выступающих по отношению друг к другу как окислитель и восстановитель). В этом случае инициируемые чрезвычайные ситуации могут быть обусловлены:

- горением пролива (факела) или дрейфующего топливовоздушного облака;
- взрывом топливовоздушной смеси.

Расчёт горения пролива (факельного горения) и дрейфующего топливовоздушного облака можно провести с помощью [6, 7]. Однако используя подходы, сформулированные в [8], можно предположить, что новая чрезвычайная ситуация может быть инициирована, если место нахождения пожаровзрывоопасных и токсичных веществ окажется внутри максимально возможного в конкретной ситуации пролива (факела) или на пути следования облака: высота пламени пролива может быть рассчитана по формуле [7]:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{\mu}{\rho_{\text{в}} \sqrt{gd}} \right)^{0,61},$$

где d – эффективный диаметр пролива;

μ – удельная массовая скорость выгорания топлива;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность окружающего воздуха.

Высота факела – по формуле из [6]:

$$H \approx 61 \cdot \Omega^{0,4},$$

где Ω – расход газа.

Расстояние, на которое дрейфующее горящее облако может проследовать от места выброса газа, определяется по формуле, используемой для расчёта зон поражения в [3, 4]:

$$R \approx 5,33M^{0,327},$$

где M – масса воспламеняющегося газа и/или паров горючей жидкости в топливовоздушном облаке.

Что касается взрыва топливовоздушной смеси, то для оценки характера и масштаба инициируемых чрезвычайных ситуаций можно воспользоваться данными табл. 1, однако при этом необходимо учитывать:

- взрыв топливовоздушной смеси может произойти на расстоянии от места выброса пожаровзрывоопасного вещества, которое оценивается "сверху" с помощью соотношений для оценки максимальных расстояний от места пролива или выброса облака пара (газа) R^+ , в которых в качестве концентрации используется нижний предел взрываемости C^* [3]:

$$\frac{R^+}{R_0} = 6,68 \cdot \sqrt{\frac{W_{\text{исп}}}{C^* U}} - 1,75 \text{ (для "Liquid-F")};$$

$$R^+ = 4,14 \cdot \sqrt[3]{\frac{M}{C^*}} \text{ (для "Gaseous-F")},$$

где R_0 – радиус пролива, определяемый в соответствии с нормативными документами, например [9];

$W_{\text{исп}}$ – интенсивность испарения горючей жидкости в проливе, для определения которой можно воспользоваться, например [10];

U – скорость ветра;

M – масса горючего вещества в облаке;

- взрыв сопровождается догоранием топливовоздушной смеси, находящейся за концентрационными пределами взрываемости, но в концентрационных пределах распространения пламени;

- тротильный эквивалент топливовоздушного облака изменяется в процессе дрейфа, в то время как тротильный эквивалент взрыва топливовоздушной смеси, образовавшейся при испарении пролива, зависит от объёма ограниченного пространства, в котором смесь скопилась.

Сценарии "Liquid-T" и "Gaseous-T"

В третью группу входят устойчивые комбинации "Liquid-T" и "Gaseous-T", описывающие развитие чрезвычайных ситуаций при выбросе негорючих аварийно химически опасных веществ, находящихся в жидком и/или газообразном состоянии. В принципе у подобных чрезвычайных ситуаций существует два механизма инициирования новых пожаров, взрывов и выбросов токсичных веществ.

Первый обусловлен химической активностью вещества, выброс которого произошел, по отношению к металлическим поверхностям всевозможных резервуаров и трубопроводов. Однако при разовом контакте, как правило, коррозионного разрушения металла не происходит, а варианты, когда в местах регулярных технологических выбросов аварийно химически опасных веществ отсутствует профилактическая обработка поверхностей, мы не рассматриваем.

Второй обусловлен осуществлением в зоне поражения процессов, требующих постоянного участия человека (например, управление транспортными средствами). Согласно [3], расстояние R^+ от места выброса токсичного вещества, на котором может быть получена токсодоза D , оценивается по формулам:

$$\frac{R^+}{R_0} = 6,68 \cdot \sqrt{\frac{M}{UD}} - 1,75 \text{ (для "Liquid-T");}$$

$$R^+ = 5,3 \sqrt{\frac{M}{UD}} \text{ (для "Gaseous-T"),}$$

где R_0 – радиус пролива, определяемый в соответствии с нормативными документами, например [9];

U – скорость ветра;

M – масса токсичного вещества, выброс которого произошёл.

В качестве токсодозы в указанных соотношениях, как представляется, целесообразно использовать "смертельную токсодозу". Это обусловлено тем, что воздействие токсичного вещества на человека, которое стало причиной ошибки в управлении, приведшей к возникновению новой чрезвычайной ситуации, не обязательно должно быть смертельным, но должно проявляться на временах значительно меньших, чем время экспозиции, используемое при определении токсодозы и, обычно, принимаемое равным 30 минутам.

Заключение

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что авторы будут благодарны за все высказанные в адрес представленного материала замечания.

Литература

1. **Востоков В.Ю.** Типизация фрагментов деревьев событий // Пожарная безопасность. 2008. № 2. С. 66-73.
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) / Акимов В.А., Быков А.А., Востоков В.Ю. и др. // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 4. С. 368-404.
3. **Методические** рекомендации по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях техногенного характера / Акимов В.А., Быков А.А., Востоков В.Ю. и др. // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 4. С. 347-367.
4. **Олтян И.Ю., Востоков В.Ю., Коровин А.И.** Методика оценки максимального числа пострадавших при чрезвычайных ситуациях, обусловленных пожарами, взрывами и выбросами токсичных веществ // ВНИИ ГОЧС: вчера, сегодня, завтра. 35 лет на службе безопасности жизнедеятельности: в 3 кн. Кн. 3: Научные статьи. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. С. 262-273.
5. **Сборник** методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 1994.
6. **Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е.** Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1980. с. 255.
7. **Пожарная** безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: ГОСТ Р 12.3.047-98.
8. **Manual** for the classification and prioritization of risks due to major accidents in process and related industries. IAEA, Vienna, 1993. IAEA-TECDOC-727. ISSN 1011-4289.
9. **Определение** категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (НПБ-105-03). М.: ВНИИПО МЧС России, 2003.
10. **Методика** определения площади зоны защитных мероприятий, устанавливаемой вокруг объектов по хранению химического оружия и объектов по уничтожению химического оружия. МО РФ. 1999.

Статья опубликована 28 декабря 2012 г.