

Научная статья  
УДК 614.8  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.71.47.010

## Особенности определения частоты реализации сценариев развития аварии на производственном объекте методом логического дерева событий

*Дмитрий Владимирович Седов<sup>1</sup>  
Александр Леонидович Беляк<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

<sup>2</sup> Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск, Россия

*Автор ответственный за переписку: Дмитрий Владимирович Седов, sedov\_irk@list.ru*

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности определения частоты реализации сценариев развития аварии на производственном объекте. На примере цеха ООО «Ангара-Реактив» рассмотрена практическая реализация метода логического дерева событий, определены частоты реализации сценариев развития аварии. Выявлены и прокомментированы некоторые неточности, допущенные в Пособии по определению расчётных величин пожарного риска для производственных объектов. Даны рекомендации по минимизации ошибок, которые могут возникнуть у специалистов при использовании метода логического дерева событий.

**Ключевые слова:** производственный объект, авария, пожар, взрыв, пожар-вспышка, пожарный риск, логическое дерево событий, сценарий развития аварии

**Для цитирования:** Седов Д.В., Беляк А.Л. Особенности определения частоты реализации сценариев развития аварии на производственном объекте методом логического дерева событий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 4 (31). С. 91-100. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.71.47.010>.

## FEATURES OF DETERMINING THE FREQUENCY OF IMPLEMENTATION OF SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF AN ACCIDENT AT A PRODUCTION FACILITY USING THE LOGICAL TREE OF EVENTS METHOD

*Dmitry V. Sedov<sup>1</sup>  
Alexander L. Belyak<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

<sup>2</sup> East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, Russia

*Corresponding author: Dmitry V. Sedov, sedov\_irk@list.ru*

**Abstract.** The article discusses the features of determining the frequency of implementation of scenarios for the development of an accident at a production facility. Using the example of the workshop of Angara-Reaktiv LLC, the practical implementation of the logical event tree method is considered, and the frequencies of implementation of accident development scenarios are determined. Some inaccuracies in the Manual for determining the estimated values of fire risk for production facilities were identified and commented on. Recommendations are given for minimizing errors that specialists may encounter when using the logical event tree method.

**Key words:** production facility, accident, fire, explosion, fire outbreak, fire risk, logical tree of events, accident scenario.

**For citation:** Sedov D.V., Belyak A.L. Features of determining the frequency of implementation of scenarios for the development of an accident at a production facility using the logical tree of events method. // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2023. № 4 (31): 91-100. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.71.47.010>.

## Постановка проблемы

При разработке и оценке эффективности противопожарных мероприятий необходимо применение методов инженерного анализа и компьютерного моделирования [1]. Вместе с тем, специфичность аналитического инструментария, позволяющего моделировать процессы, протекающие при пожарах и сопутствующих им явлениях, обуславливает определенные трудности для их корректной реализации [2]. В рамках вычислений величины пожарного риска на производственных объектах специалистами могут допускаться неточности, которые снижают объективность результатов. Ниже рассмотрен пример практического определения частоты реализации сценариев развития аварии на производственном объекте при расчёте пожарного риска, а также прокомментированы некоторые неточности и даны рекомендации по минимизации ошибок при использовании метода логического дерева событий.

В качестве производственного объекта выбран цех ООО «Ангара-Реактив», расположенный по адресу: Иркутская область, г. Ангарск, промзона по автодороге №15. В указанном цехе осуществляется приготовление и фасовка растворителя «645» на установке смешения (Рис. 1). Цех расположен в здании с размерами в плане 196×30 м<sup>2</sup>, высотой 19,5 м, имеющем I степень огнестойкости. Расчетная авария предполагает разгерметизацию установки с растворителем «645», который является легковоспламеняемой жидкостью (ЛВЖ) с температурой вспышки 13 °С [3]. Определим частоту реализации возможных сценариев развития данной аварии.



Рис. 1. Установка приготовления и фасовки растворителя ООО «Ангара-Реактив»

## Методы исследования

При проведении расчётов по оценке пожарного риска на производственном объекте применяется «Методика определения расчётных величин пожарного риска на производственных

объектах», утверждённая Приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404 [4]. Методология оценки пожарного риска является частным случаем оценки техногенного риска [1], [2], [5], [6], [7]. Для определения возможных сценариев развития пожароопасных ситуаций используется метод логического дерева событий [8]. Для определения частоты возникновения самих пожароопасных ситуаций могут использоваться справочные и экспериментальные данные, приведенные в [9, 10, 11, 12, 13, 14], а при их отсутствии – метод дерева неисправностей [15].

## Результаты и обсуждение

Для проведения расчётов частоты реализации возможных сценариев развития аварии необходимо иметь информацию о частоте возникновения данной аварии  $Q_a$ , то есть в рассматриваемом случае необходимо иметь информацию о частоте разгерметизации установки с растворителем. Данные сведения приведены в таблице П1.1 методики [4]. Установка с растворителем является частным случаем резервуара для хранения ЛВЖ при давлении, близком к атмосферному [16]. При данной аварии происходит истечение жидкости, и согласно таблице П1.1 методики [4] необходимо рассмотреть истечение через аварийные отверстия трёх диаметров: 25 мм, 100 мм, полное разрушение. В этой же таблице также приводятся соответствующие данным вариантам частоты возникновения аварии  $Q_a$ :  $8,8 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ ,  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ ,  $5,0 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .

Развитие аварии моделируется на основе построения логического дерева событий. В данном случае имеем три варианта разгерметизации, и для каждого варианта должно быть построено отдельное логическое дерево событий.

Для построения используется таблица П2.1 методики [4], в которой приводятся условные вероятности мгновенного воспламенения и воспламенения с задержкой в зависимости от массового расхода истечения горючих газов, двухфазной среды или жидкости. Таким образом, для каждого варианта разгерметизации необходимо предварительно определить массовый расход истечения вещества.

Определение массового расхода истечения вещества производится по формулам (П3.1), (П3.12), (П3.14), (П3.15), (П3.16) методики [4], которые выбираются для конкретного вещества и конкретных условий его содержания (давление, температура и т.д.). В рассматриваемом случае были проведены расчёты по указанным формулам и были получены значения массового расхода истечения растворителя (см. таблицу).

**Таблица. Расчетные значения массового расхода истечения растворителя**

Варианты разгерметизации	Диаметр аварийного отверстия, мм	Частота разгерметизации $Q_a$ , год <sup>-1</sup>	Массовый расход, кг/с
1-й	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$	0,2
2-й	100	$1,2 \cdot 10^{-5}$	15,0
3-й	Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$	Выброс всего содержимого

Также необходимо определить, к какому «состоянию» относится рассматриваемое вещество (газ, двухфазная смесь, жидкость). Данные «состояния» также влияют на выбор значений из таблицы П2.1 методики [4]. В частности, растворитель «645» представляет собой ЛВЖ с температурой вспышки 13 °С. Согласно Приложению №2 к методике [4] для ЛВЖ с температурой вспышки менее 28 °С должны использоваться условные вероятности воспламенения как для двухфазной смеси. Поэтому условные вероятности воспламенения для растворителя «645» необходимо брать из таблицы как для двухфазной смеси.

Переходим к этапу построения логического дерева событий. Для примера рассмотрим второй вариант разгерметизации, то есть образование аварийного отверстия диаметром 100 мм, при котором происходит истечение ЛВЖ с расходом 15 кг/с. По таблице П2.1 методики [4] определяем, что условная вероятность мгновенного воспламенения равна 0,035.

Данная информация позволяет начать построение логического дерева событий, стадии которого формируются по схеме «или». То есть происходит или событие А, или противоположное ему событие Б. Событие А – «Мгновенное воспламенение», противоположное

ему событие Б – «Мгновенного воспламенения не происходит». Если условная вероятность мгновенного воспламенения равна 0,035, то условная вероятность того, что мгновенного воспламенения не происходит, будет равна:  $1 - 0,035 = 0,965$ .

На данном этапе логическое дерево событий будет иметь вид, представленный на Рис. 2.

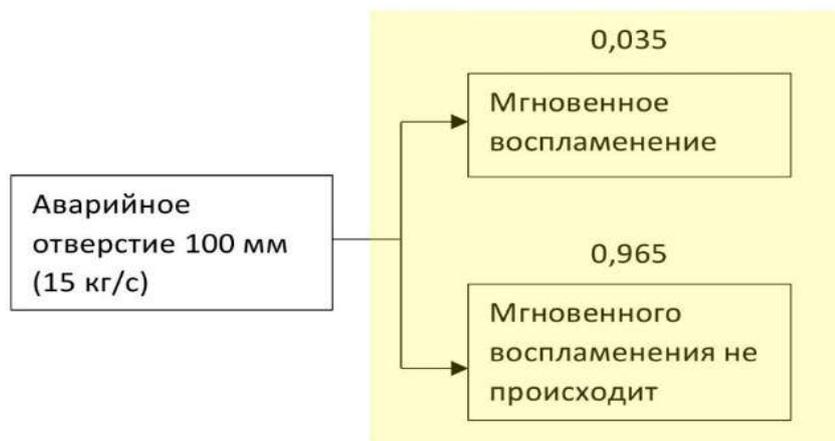


Рис. 2. Промежуточный вид логического дерева событий

Если развитие аварии выйдет на этап «Мгновенное воспламенение», то это гарантированно приведет к единственному варианту – пожару пролива (условная вероятность этого равна 1), и далее развитие аварии будет протекать только в форме пожара пролива. Поэтому первым отдельным сценарием развития аварии будет являться пожар пролива (сценарий С1).

Если же развитие аварии выйдет на этап «Мгновенного воспламенения не происходит», то при развитии аварии в цехе над проливом гарантированно начнет образовываться паровоздушное облако. Вне здания, на открытой площадке паровоздушное облако могло бы и не образоваться, например, при наличии ветра. Но в данном случае ветер в цехе отсутствует. Поэтому условная вероятность образования паровоздушного облака равна 1.

Логическое дерево событий на данной стадии построения будет иметь вид, представленный на Рис. 3.

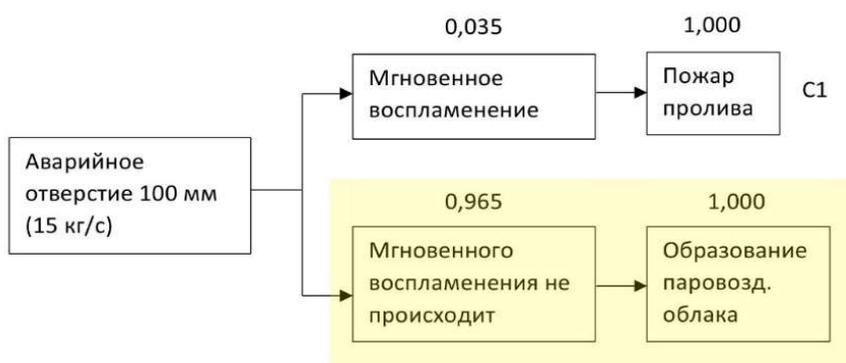


Рис. 3. Промежуточный вид логического дерева событий

Далее развитие аварии будет зависеть от появления источника зажигания. Если источник зажигания через какое-то время появится, то произойдет последующее воспламенение облака. Если же источник зажигания так и не появится, то последующего воспламенения не произойдет. Согласно таблице П2.1 методики [4] условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения равна 0,036. Данная информация позволяет продолжить построение логического дерева событий по схеме «или». Условная вероятность отсутствия последующего воспламенения будет равна:  $1 - 0,036 = 0,964$ .

Логическое дерево событий на данном этапе будет иметь вид, представленный на Рис. 4.

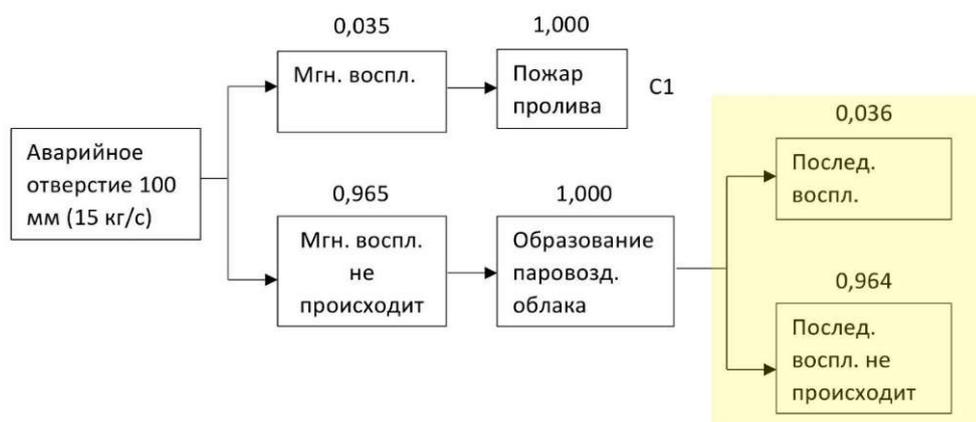


Рис. 4. Промежуточный вид логического дерева событий

Если развитие аварии выйдет на этап «Последующее воспламенение», то это гарантированно приведет к сгоранию паровоздушного облака (условная вероятность этого равна 1). Характер сгорания паровоздушного облака будет зависеть от его свойств. Оно может сформироваться как хорошо перемешанная горючая среда, способная сгорать в виде взрыва, либо как неоднородная среда, способная сгорать в виде пожара-вспышки [16].

Согласно таблице П2.1 методики [4] условная вероятность сгорания с образованием избыточного давления (сгорание в виде взрыва) равна 0,240. Данная информация позволяет по схеме «или» заключить, что условная вероятность сгорания без образования избыточного давления (сгорание в виде пожара-вспышки), будет равна:  $1 - 0,240 = 0,760$ .

Подчеркнем, что если произойдет взрыв, то это приведет к определенным негативным последствиям. Этот отдельный самостоятельный сценарий развития аварии был обозначен как С2. Если произойдет пожар-вспышка, то это также приведет к определенным негативным последствиям, и этот отдельный сценарий развития аварии был обозначен как С3. Если же последующего воспламенения так и не произойдет, то опасных последствий не возникнет (сценарий С4).

В результате логическое дерево событий будет иметь окончательный вид, представленный на Рис. 5.

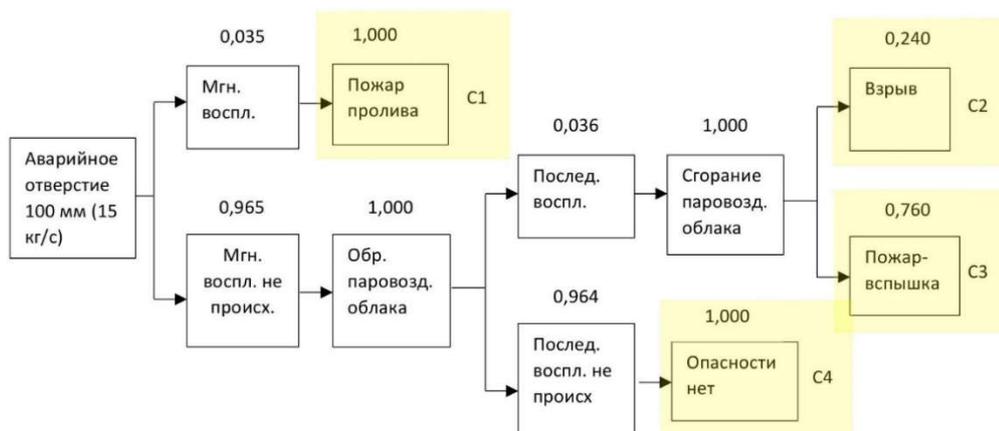


Рис. 5. Окончательный вид логического дерева событий

Итак, было получено, что в случае аварийной разгерметизации резервуара с ЛВЖ возможна реализация следующих сценариев: пожар пролива (С1), взрыв паровоздушного облака (С2), пожар-вспышка (С3), опасность отсутствует (С4).

С помощью построенного логического дерева событий можно определить частоту реализации каждого сценария. Согласно методу логического дерева событий значение частоты конкретного сценария определяется путем умножения частоты возникновения аварии  $Q_a$  на условную вероятность развития по конкретному сценарию (Рис. 6).



Рис. 6. Последовательность расчёта частоты реализации сценария с помощью логического дерева событий

Как было указано выше, частота разгерметизации при образовании аварийного отверстия 100 мм составляет  $Q_a = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

Следовательно, частоты реализации сценариев C1, C2, C3, C4 будут равны:

$$Q(C1) = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,035 \cdot 1,000 = 4,20 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1};$$

$$Q(C2) = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,965 \cdot 1,000 \cdot 0,036 \cdot 1,000 \cdot 0,240 \approx 1,00 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1};$$

$$Q(C3) = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,965 \cdot 1,000 \cdot 0,036 \cdot 1,000 \cdot 0,760 \approx 3,17 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1};$$

$$Q(C4) = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,965 \cdot 1,000 \cdot 0,964 \cdot 1,000 \approx 1,116 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

В сумме все частоты реализации сценариев должны давать исходную величину частоты аварии  $Q_a = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ . Это обязательное условие правильности построения логического дерева событий. Выполним соответствующую проверку:

$$Q_a = Q(C1) + Q(C2) + Q(C3) + Q(C4) =$$

$$= 4,2 \cdot 10^{-7} + 1,00 \cdot 10^{-7} + 3,17 \cdot 10^{-7} + 1,116 \cdot 10^{-5} \approx 1,20 \cdot 10^{-5}$$

Как видно, проверка успешно выполнена. Смысл проверки состоит в том, чтобы удостовериться в том, что был соблюден предлагаемый принцип «деления целого на части». «Целым» в данном случае является частота возникновения аварии  $Q_a$ , а «частями» – частоты отдельных сценариев  $Q(C1)$ ,  $Q(C2)$ ,  $Q(C3)$ ,  $Q(C4)$ . Указанные условные вероятности реализации сценариев в сумме должны давать 1 или 100 % (Рис. 7).

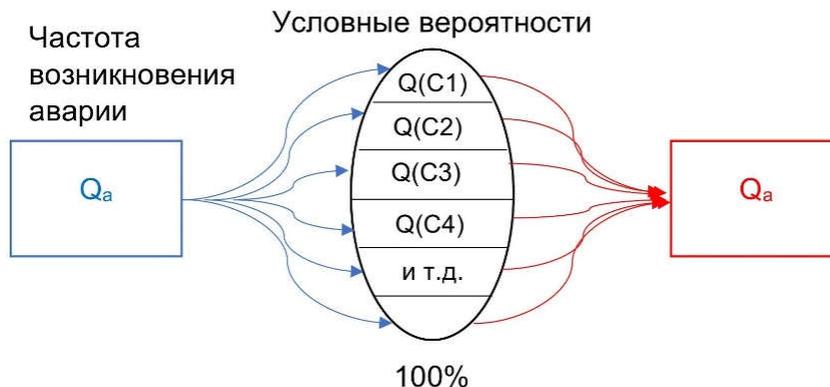


Рис. 7. Схема реализации принципа «деления целого на части»

Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы. В случае аварии резервуара с ЛВЖ возможно три варианта: разгерметизация с отверстием диаметром 25 мм; разгерметизация с отверстием диаметром 100 мм; полное разрушение. Каждый вариант аварии может развиваться по однотипным сценариям: пожар пролива (С1), взрыв паровоздушного облака (С2), пожар-вспышка (С3), опасность отсутствует (С4). Частоты реализации сценариев зависят от диаметра аварийного отверстия. Для каждого варианта разгерметизации (25 мм, 100 мм, полное разрушение) строится отдельное логическое дерево событий и рассчитываются частоты реализации сценариев.

### Неточности при использовании метода

В отдельных случаях специалистами могут быть допущены неточности, которые снижают объективность результатов. Так, в Пособии ВНИИПО по применению рассматриваемой нормативной методики даются методические указания, в том числе по применению описанного метода логического дерева событий. В данном пособии допущены некоторые неточности и ошибки.

Неточность №1. На рис. П3.2 Пособия ВНИИПО [17] построение логического дерева событий начинается с события «Воспламенение» (Рис. 8), хотя в таблице П2.1 методики [4] нет значений условной вероятности для этого события. Соответственно, с помощью данного дерева невозможно определить условную вероятность события «Воспламенение» и невозможно определить условную вероятность противоположного события «Воспламенение не происходит».



**Рис. П3.2. Типовое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией единицы технологического оборудования (1-го аппарата) и истечением жидкой фазы или двухфазной смеси СУГ или ЛВЖ**

Рис. 8. Иллюстрация из Пособия ВНИИПО с нашими пометками (выделены красным)

Неточность №2. На рис. 3.2.1 Пособия ВНИИПО [17] логическое дерево событий построено так, что некоторые цепочки событий не завершаются отдельным самостоятельным сценарием,

а входят в другие цепочки событий (Рис. 9). Тем самым нарушается рассмотренный выше принцип «деления целого на части». В данном примере «теряются» два отдельных сценария. Если выполнить вышеуказанную проверку правильности построения логического дерева путем суммирования частот реализации сценариев, то исходная частота аварии не получится.

Аналогичная неточность допущена также на рис. 3.2.2 Пособия ВНИИПО [17]. На данном рисунке две цепочки событий также не ведут к отдельным самостоятельным сценариям, а на определенном этапе входят в состав других сценариев. Данная неточность также приведет к ошибке в расчётах пожарного риска.

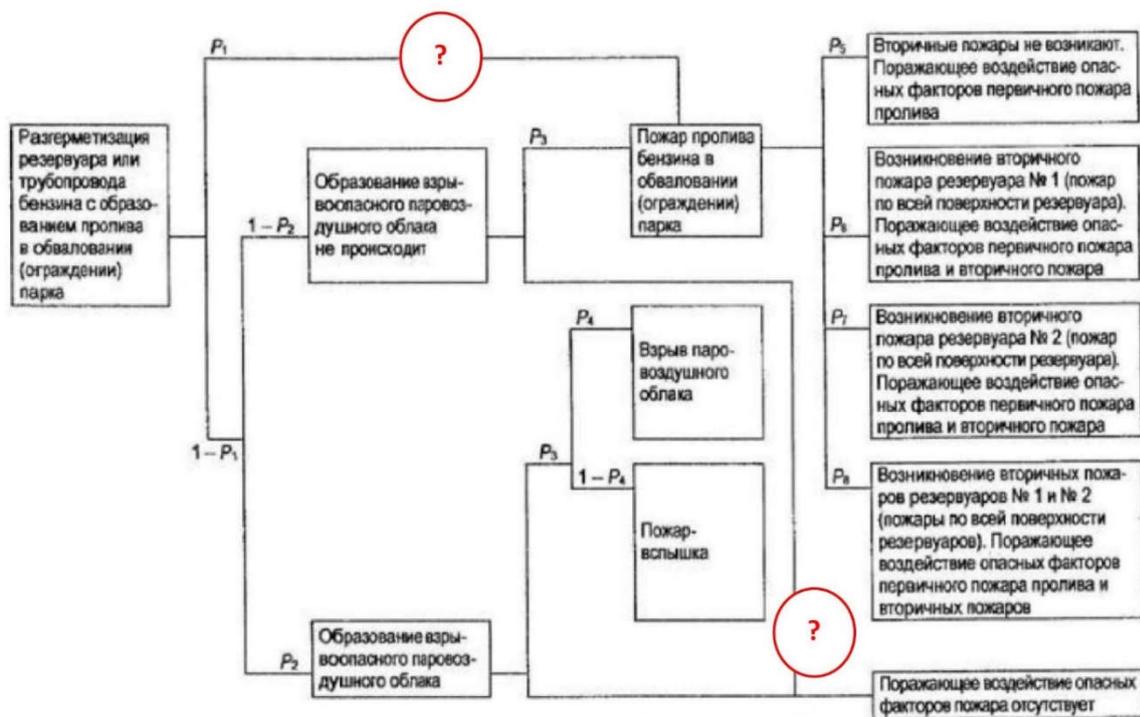


Рис. 3.2.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией резервуара или трубопровода рассматриваемого резервуарного парка

Рис. 9. Иллюстрация из Пособия ВНИИПО с нашими пометками (выделены красным)

## Заключение

Не смотря на простоту описанного метода логического дерева событий, при его использовании легко допустить ошибку или неточность. В связи с этим можно рекомендовать не переписывать «слепо» логические деревья событий, в том числе из Пособия ВНИИПО [17], а строить их самостоятельно, логически обосновывая каждый этап. Также при построении логического дерева событий рекомендуется следовать принципу «деления целого на части» и проводить соответствующую проверку.

## Список источников

1. Багров А.В. Техногенные системы и теория риска / А.В. Багров, А.К. Муртазов; Рязанский гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2010. – 207 с.
2. Хохлов Н.В. Управление риском / Н.В. Хохлов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 239 с.
3. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. Справочник: в 2-х ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Асс. «Пожнаука», 2004. — Ч. II. — 774 с.
4. Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14.12.2010). Приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 // Пожарная безопасность, № 3, 2009.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. Принят Росстандартом 01.12.2011. – М.: Стандартинформ, 2012.

6. Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» / Утверждено приказом Ростехнадзора от 3 ноября 2022 года N 387.
7. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций). Монография / Под общей ред. М.И. Фалеева; РНОАР. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 270 с.
8. ГОСТ Р МЭК 62502–2014 Менеджмент риска. Анализ дерева событий / Утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 24.10.2014 № 1429–ст. М.: Стандартинформ, 2015.
9. Ветошкин А.Г. Техногенный риск и безопасность / А.Г. Ветошкин, К.Р. Таранцева. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 171 с.
10. Галеев А.Д. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах / А.Д. Галеев, С.И. Поникаров; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. – 152 с.
11. Акимов В.А. Катастрофы и безопасность / В.А. Акимов, В.А. Владимиров, В.И. Измалков; МЧС России. — М.: Деловой экспресс, 2006. — 392 с.
12. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 368 с.
13. Харисов Г.Х. Надежность технических систем и техногенный риск / Г.Х. Харисов, Р.Н. Бирюков, Г.Г. Сидоренко и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 167 с.
14. РД 03–418–01 Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов / Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 10.07.2001 № 30 // Сб. докум. Серия 27. Декларирование промышленной безопасности и оценка риска Вып.3. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002.
15. ГОСТ Р 27.302–2009 Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей / Утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 15.12.2009 № 1249–ст. М.: Стандартинформ, 2011.
16. Федосов А.В. Анализ опасностей, оценка риска аварий на опасных производственных объектах и рекомендации по выбору методов анализа риска / А.В. Федосов, Г.Р. Маннанова, Ю.А. Шипилова // Нефтегазовое дело. – 2016. – №3. – С. 322–336.
17. Гордиенко Д. М. Пособие по определению расчётных величин пожарного риска для производственных объектов / Д. М. Гордиенко, Ю. Н. Щебеко, А. Ю. Щебеко и др. – М.: ВНИИПО, 2012. – 242 с.

#### List of sources

1. Bagrov A.V. Technogenic systems and risk theory / A.V. Bagrov, A.K. Murtazov; Ryazan State univ. S.A. Yesenina. – Ryazan, 2010. – 207 p.
2. Khokhlov N.V. Risk management / N.V. Khokhlov. – М.: UNITY-DANA, 2003. – 239 p.
3. Korolchenko A. Ya. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them / A. Ya. Korolchenko, D. A. Korolchenko. Directory: in 2 parts - 2nd ed., revised. and additional - М.: Ass. “Pozhnauka”, 2004. - Part II. — 774 p.
4. On approval of the methodology for determining the estimated values of fire risk at production facilities (as amended as of December 14, 2010). Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 10, 2009 No. 404 // Fire Safety, No. 3, 2009.
5. GOST R ISO/IEC 31010–2011 Risk management. Risk assessment methods. Accepted by Rosstandart on December 1, 2011. – М.: Standartinform, 2012.
6. Safety Guide “Methodological basis for hazard analysis and accident risk assessment at hazardous production facilities” / Approved by Order of Rostekhnadzor dated November 3, 2022 N 387.
7. Risk management of man-made and natural disasters (a manual for managers of organizations). Monograph / Under the general editorship. M.I. Faleeva; RNOAR. М.: FGBU VNI GOChS (FC), 2016. – 270 p.

8. GOST R IEC 62502–2014 Risk management. Event tree analysis / Approved and put into effect by Order of Rosstandart dated October 24, 2014 No. 1429–st. M.: Standartinform, 2015.
9. Vetoshkin A.G. Technogenic risk and safety / A.G. Vetoshkin, K.R. Tarantseva. – Penza: Penz Publishing House. state Univ., 2001. – 171 p.
10. Galeev A.D. Analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities / A.D. Galeev, S.I. Ponycars; Ministry of Education and Science of Russia, Kazan. national research technol. univ. – Kazan: Publishing house of KNRTU, 2017. – 152 p.
11. Akimov V.A. Disasters and safety / V.A. Akimov, V.A. Vladimirov, V.I. Izmalkov; Russian Emergency Situations Ministry. - M.: Business Express, 2006. - 392 p.
12. Akimov V.A. Reliability of technical systems and technogenic risk / V.A. Akimov, V.L. Lapin, V.M. Popov. – M.: Business Express, 2002. – 368 p.
13. Kharisov G.Kh. Reliability of technical systems and technogenic risk / G.Kh. Kharisov, R.N. Biryukov, G.G. Sidorenko et al. – M.: Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2012. – 167 p.
14. RD 03–418–01 Guidelines for conducting risk analysis of hazardous production facilities / Approved by Resolution of the State Mining and Technical Supervision of Russia dated July 10, 2001 No. 30 // Coll. document Series 27. Declaration of industrial safety and risk assessment Issue 3. – M.: State Unitary Enterprise “Scientific and Technical Center for Safety in Industry of the State Mining and Technical Supervision of Russia”, 2002.
15. GOST R 27.302–2009 Reliability in technology (SSNT). Fault tree analysis / Approved and put into effect by Order of Rosstandart dated December 15, 2009 No. 1249–st. M.: Standartinform, 2011.
16. Fedosov A.V. Hazard analysis, accident risk assessment at hazardous production facilities and recommendations for choosing risk analysis methods / A.V. Fedosov, G.R. Mannanova, Yu.A. Shipilova // Oil and gas business. – 2016. – No. 3. – pp. 322–336.
17. Gordienko D. M. A manual for determining the calculated values of fire risk for production facilities / D. M. Gordienko, Yu. N. Shchebeko, A. Yu. Shchebeko et al. - M.: VNIPO, 2012. - 242 p.

#### Информация об авторах

Д.В. Седов – кандидат технических наук

А.Л. Беляк – кандидат технических наук

#### Information about the authors

D.V. Sedov – Ph.D. of Engineering Sciences

A.L. Belyak – Ph.D. of Engineering Sciences

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 27.11.2023; одобрена после рецензирования 10.12.2023; принята к публикации 15.12.2023.

The article was submitted 27.11.2023, approved after reviewing 10.12.2023, accepted for publication 15.12.2023.