

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100>

**ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ
АВАРИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ЦЕХЕ**

Научная статья

Седов Д.В.¹*

¹ ORCID : 0009-0001-8234-3810;

¹ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sedov_irk[at]list.ru)

Аннотация

Актуальность темы исследования. В статье рассмотрены практические аспекты применения метода логического дерева событий, который необходим, в том числе, для проведения расчетов по оценке пожарного риска на производственных объектах. Метод позволяет расчетным путем определить частоты реализации сценариев развития аварии производственного оборудования, что является необходимым при разработке и оценке эффективности противопожарных мероприятий. Однако в рамках применения метода логического дерева событий специалистами могут допускаться неточности, которые снижают объективность результатов. В связи с этим исследование практических аспектов использования метода логического дерева событий и разработка рекомендаций по минимизации ошибок является весьма актуальным.

Постановка проблемы. Основной проблемой является то, что неточности в ходе применения метода логического дерева событий допускаются непосредственно в методической литературе по оценке пожарных рисков на производственных объектах. Данное обстоятельство может привести к распространению неверной трактовки метода в среде специалистов.

Цели и методы исследования. В связи с этим целью исследования является поэтапное рассмотрение и комментирование практических аспектов применения метода логического дерева событий, а также разработка рекомендаций по минимизации ошибок. Метод логического дерева событий является расчетным аналитическим методом, который описан в нормативной методике по оценке пожарного риска для производственных объектов. Рассмотрение последовательности реализации данного метода проводилось путем анализа логических связей между несовместными случайными событиями.

Результаты и ключевые выводы. На примере цеха по производству растворителя (легковоспламеняющаяся жидкость) рассмотрена реализация метода логического дерева событий для определения частоты реализации сценариев развития аварии, прокомментированы этапы построения, даны рекомендации по минимизации ошибок, в том числе предложен новый инструмент для контроля корректности построенного логического дерева событий (принцип «деления целого на части»), в настоящее время отсутствующий в методической литературе.

Ключевые слова: надежность технических систем, авария, пожар, взрыв, пожар-вспышка, пожарный риск, логическое дерево событий, сценарий развития аварии, условная вероятность, частота реализации сценария.

**PRACTICAL ASPECTS OF DETERMINING THE FREQUENCY OF IMPLEMENTATION OF ACCIDENT
SCENARIOS IN A PRODUCTION FACILITY**

Research article

Sedov D.V.¹*

¹ ORCID : 0009-0001-8234-3810;

¹ Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

* Corresponding author (sedov_irk[at]list.ru)

Abstract

Relevance of the research topic. The article examines the practical aspects of using the method of logical tree of events, which is necessary, among other things, for carrying out calculations to evaluate fire risk at production facilities. The method allows to determine by calculation the frequencies of implementation of scenarios of accident development of production equipment, which is necessary in the development and evaluation of the effectiveness of fire prevention measures. However, within the framework of application of the logical tree of events method, specialists may make inaccuracies that reduce the objectivity of the results. In this regard, the study of practical aspects of using the logical event tree method and the development of recommendations to minimize errors is highly relevant.

Problem statement. The main problem is that inaccuracies during the application of the logical tree of events method are allowed directly in the methodological literature on the assessment of fire risks at production facilities. This circumstance can lead to the spread of misinterpretation of the method among specialists.

Objectives and methods of the research. In this regard, the aim of the study is to examine and comment on the practical aspects of applying the logical event tree method step by step, and to develop recommendations for minimizing errors. The logical event tree method is a computational analytical method, which is described in the normative methodology for fire risk

assessment for production facilities. Consideration of the sequence of implementation of this method was carried out by analysing the logical links between incompatible random events.

Results and key conclusions. On the example of the solvent production shop (flammable liquid) the implementation of the logical tree of events method for determining the frequency of implementation of accident development scenarios is discussed, the stages of construction are commented, recommendations on error minimization are given, including a new tool for controlling the correctness of the constructed logical tree of events (the principle of "dividing the whole into parts"), currently absent in the methodological literature.

Keywords: reliability of technical systems, accident, fire, explosion, flash fire, fire risk, logical tree of events, accident scenario, conditional probability, frequency of scenario implementation.

Введение

При разработке и оценке эффективности противопожарных мероприятий необходимо применение методов инженерного анализа и компьютерного моделирования [1]. При расчёте величины индивидуального пожарного риска на производственном объекте применяется нормативная методика [2]. Изложенная в ней методология является частным случаем оценки техногенного риска [1], [3], [5], [6]. Для определения частоты реализации аварии в качестве исходных данных могут применяться справочные и экспериментальные данные, приведенные в работах [7], [9], [11], [12]. При отсутствии необходимых данных указанная частота может быть определена расчетным путем с помощью метода дерева неисправностей [13]. Для выявления перечня возможных сценариев развития аварии используется метод логического дерева событий [14], который в настоящее время входит в состав указанной выше нормативной методики [2].

Актуальность проведенного исследования состоит в том, что специфичность аналитического инструментария, позволяющего моделировать процессы, протекающие при пожарах и сопутствующих им явлениях, обуславливает определенные трудности для их корректной реализации [3]. Анализ методической литературы по оценке пожарных рисков на производственных объектах [15], [16] показал, что в рамках применения метода логического дерева событий имеют место неточности, которые могут существенно снижать объективность результатов.

В связи с этим целью исследования является поэтапное рассмотрение и комментирование практических аспектов применения метода логического дерева событий, а также разработка рекомендаций по минимизации ошибок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- а) сформулировать расчетный вариант аварии;
- б) сформировать банк исходных данных для проведения расчетов;
- в) рассмотреть и прокомментировать этапы построения логического дерева событий;
- г) предложить рекомендации для минимизации ошибок;
- д) рассмотреть неточности, допущенные в методической литературе [15], [16], при реализации метода логического дерева событий.

Методы и принципы исследования

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).



Рисунок 1 - Установка приготовления и фасовки растворителя
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.1>

Цех расположен в здании с размерами в плане 196×30 м², высотой 19,5 м, имеющем I степень огнестойкости. Расчетный вариант аварии предполагает разгерметизацию установки с растворителем «645», который является легковоспламеняемой жидкостью (ЛВЖ) с температурой вспышки 13 °С [17].

Для выявления перечня вероятных сценариев развития аварии был использован упомянутый ранее метод логического дерева событий [14]. Метод логического дерева событий является расчетным аналитическим методом. Данный метод достаточно подробно описан в нормативной методике по оценке пожарного риска для производственных объектов [2]. Суть метода состоит в использовании условных вероятностей реализации характерных сценариев развития аварии при воспламенении горючей среды. Условные вероятности являются справочными величинами, полученными в результате обработки большого объема статистических данных, проведенных сотрудниками ВНИИПО и других научных организаций.

Рассмотрение последовательности реализации метода логического дерева событий проводилось путем анализа логических связей между несовместными случайными событиями.

Основные результаты

Для проведения расчетов 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 [2]. Установка с растворителем является частным случаем резервуара для хранения ЛВЖ при давлении, близком к атмосферному [18]. При данной аварии происходит истечение жидкости, и, согласно таблице П1.1 методики [2], 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 [2], 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 горючего вещества.

Определение указанной величины массового расхода, с которым происходит истечение рассматриваемого горючего вещества, производится согласно расчетным формулам методики [2], которые выбираются для конкретного горючего вещества и конкретных технологических параметрах, при которых оно содержится в оборудовании. Для большинства расчетных сценариев могут быть применены следующие выражения методики [2]: (П3.1), (П3.12), (П3.14), (П3.15), (П3.16). В рассматриваемом случае были проведены расчёты по указанным формулам и были получены значения массового расхода истечения растворителя (см. таблицу).

Таблица 1 - Вычисленные значения массового расхода истечения горючего вещества

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.2>

Расчетный вариант аварии	Размер (диаметр) отверстия, мм	Частота возникновения аварии Q_a , год ⁻¹	Массовый расход истечение вещества, 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 аппарата	$5,0 \cdot 10^{-6}$	Выход всей содержащейся в аппарате массы горючего вещества

Примечание: растворитель «645»

Следующим важным этапом при определении расчетных сценариев развития аварии является определение «состояния», к которому относится рассматриваемое горючее вещество. имеются в виду такие «состояния» как газ, двухфазная смесь (паровоздушная смесь или аэрозоль), жидкость. Указанные «состояния» также влияют на выбор значений из таблицы П2.1 методики [2]. В частности, необходимо подчеркнуть, что рассматриваемое горючее вещество (растворитель «645») представляет собой ЛВЖ с температурой вспышки 13 °С, а это согласно методике [2] означает, что оно должно рассматриваться как «двухфазная смесь», то есть для него должны использоваться соответствующие условные вероятности воспламенения, приведенные в методике [2].

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 [2] определяем, что условная вероятность мгновенного воспламенения равна 0,035.

Данная информация позволяет начать построение логического дерева событий, стадии которого формируются по схеме «или». Схема «или» в данном случае означает, что в результате реализации иницирующего события происходит или событие А, или противоположное ему событие Б. Важным является то, что события А и Б должны быть обязательно противоположными, то есть исключать друг друга. Например, если событие А — это «Мгновенное воспламенение», то для него противоположным событием (событием Б) будет являться «Мгновенного воспламенения не происходит». Как известно из теории вероятностей, сумма вероятностей реализации противоположных событий равна 1. Это же относится и к условным вероятностям. Зная условную вероятность события А, можно легко определить условную вероятность события Б. Например, если условная вероятность мгновенного воспламенения равна 0,035, то условная вероятность того, что мгновенного воспламенения не происходит, будет составлять: $1 - 0,035 = 0,965$.

На данном промежуточном этапе построения логического дерева событий получаем схему, которая имеет вид, показанный на рис. 2.

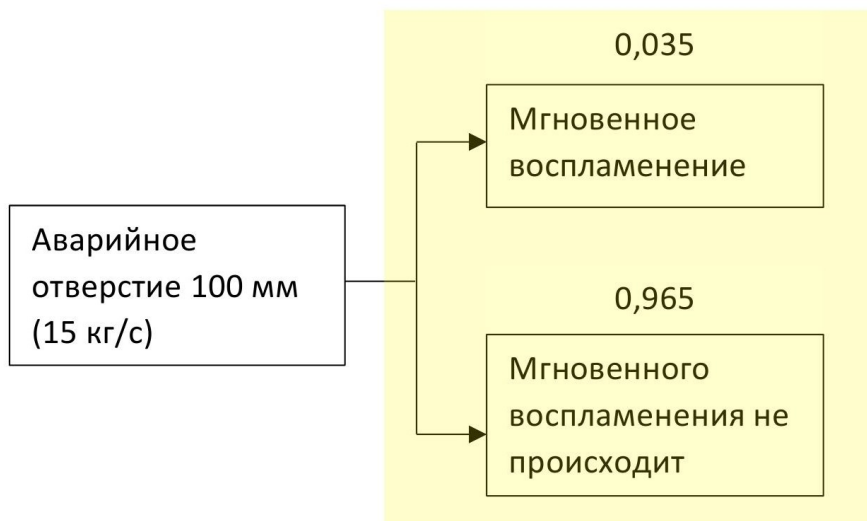


Рисунок 2 - Промежуточный вид логического дерева событий
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.3>

Если развитие рассматриваемой расчетной аварии будет развиваться по ветке, начинающейся с события «Мгновенное воспламенение», то это приведет к другому исходу. Определить данный исход не составляет труда, поскольку в момент аварии над поверхностью пролива паровоздушная среда присутствует еще в очень небольшом количестве, и ее недостаточно для возникновения более-менее мощной вспышки. Но ее достаточно для того, чтобы произошло воспламенение паров по всей поверхности жидкости и устойчивое горение пролива. Поэтому при мгновенном воспламенении сценарий может быть только один — пожар пролива. Поскольку возможен только один вариант развития событий, то условная вероятность его должна быть принята равной 1. Дальнейшее развитие ситуации может развиваться только в виде дальнейшего выгорания пролившейся жидкости, и при отсутствии рядом расположенного оборудования, которое могло бы разрушиться в результате нагревания, других сценариев развития аварии не произойдет. Поэтому первым отдельным сценарием развития аварии будет являться пожар пролива (сценарий С1).

Если же развитие рассматриваемой расчетной аварии будет развиваться по ветке, начинающейся с события «Мгновенного воспламенения не происходит», то развитие ситуации будет зависеть от дополнительных факторов, которые связаны с параметрами окружающей среды. Дело в том, что на данном этапе над пролившейся жидкостью могут образовываться пары, которые будут смешиваться с окружающим воздухом и накапливаться у поверхности жидкости в виде паровоздушного облака. При воспламенении данного паровоздушного облака возможен достаточно мощный взрыв. При этом, чем больше масса облака, тем мощность взрыва выше. Но для формирования указанного взрывоопасного облака необходим штиль, то есть отсутствие ветра. При наличии ветра пары жидкости будут сдуваться с поверхности жидкости, а значит, возможность взрыва можно исключить. Если авария развивается в цехе, как в рассматриваемом случае, где ветер гарантированно отсутствует из-за ограждающих конструкций, то над проливом будет гарантированно образовываться взрывоопасное паровоздушное облако. В связи с этим авария в цехе представляет более серьезную угрозу, чем авария на открытой площадке. Условную вероятность образования паровоздушного облака в цехе необходимо принять равной 1.

Данный промежуточный этап построения логического дерева событий предполагает схему, которая имеет вид, показанный на рис. 3.

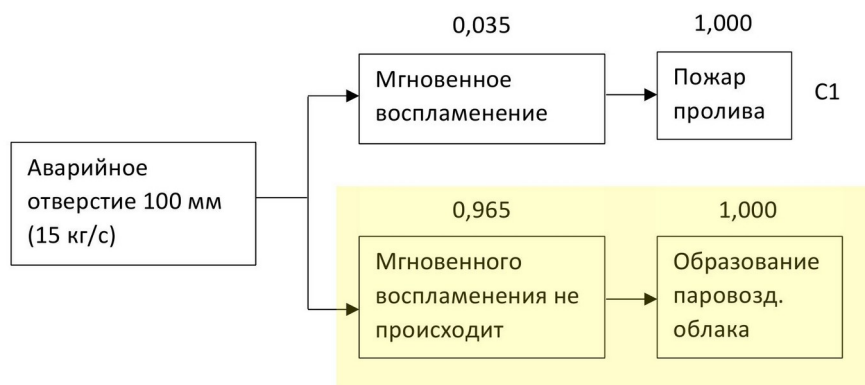


Рисунок 3 - Промежуточный вид логического дерева событий
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.4>

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 данным, приведенным в таблице П2.1 нормативной методики [2], условная вероятность последующего воспламенения при отсутствии мгновенного воспламенения составляет 0,036. Указанные в таблице сведения позволяют продвинуться в построении логического дерева событий, вновь используя схему «или». То есть можно определить условную вероятность противоположного события «Последующее воспламенение не происходит», которая составит: $1 - 0,036 = 0,964$.

Следующий промежуточный этап построения логического дерева событий предполагает схему, представленную на рис. 4.

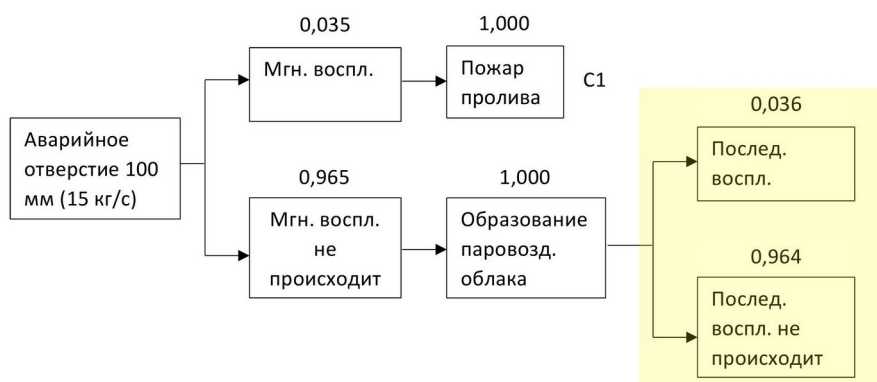


Рисунок 4 - Промежуточный вид логического дерева событий
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.5>

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 горячая среда, способная сгорать в виде взрыва, либо как неоднородная среда, способная сгорать в виде пожара-вспышки [18].

Согласно данным, приведенным в таблице П2.1 нормативной методики [2], условная вероятность сгорания горячего вещества с образованием избыточного давления (событие «Взрыв») составляет 0,240. Указанные сведения позволяют по схеме «или» рассчитать условную вероятность противоположного события «Отсутствие взрыва»: $1 - 0,240 = 0,760$. Необходимо подчеркнуть, что в данном случае «Отсутствие взрыва» предполагает отсутствие образования взрывной волны, но не отсутствие самого факта сгорания паровоздушной среды. Явление сгорания паровоздушной среды без образования взрывной волны называется пожаром-вспышкой, поэтому корректнее данное противоположное событие обозначить именно так. Таким образом, условная вероятность реализации события «Пожар-вспышки» равна 0,760.

Подчеркнем, что если произойдет взрыв, то это приведет к определенным негативным последствиям, которые связаны с опасными факторами взрыва (воздушная волна сжатия, разлет осколков, обрушение конструкций и т.д.). Этот самостоятельный сценарий развития рассматриваемой расчетной аварии обозначен как С2. Если же произойдет такое явление, как пожар-вспышка, то оно приведет к другим негативным последствиям, поскольку будет сопровождаться принципиально иными опасными факторами (раскаленные продукты горения, тепловое излучение от газа). Данный сценарий развития рассматриваемой расчетной аварии обозначен как С3.

Если же последующего воспламенения паровоздушной среды, которая образовалась нал поверхность пролива жидкости, так и не произойдет, то дальнейших опасных последствий аварии (с точки зрения пожара или взрыва) не возникнет (сценарий С4).

На данном этапе логическое дерево событий будет уже окончательный вид, который представлен на рис. 5.

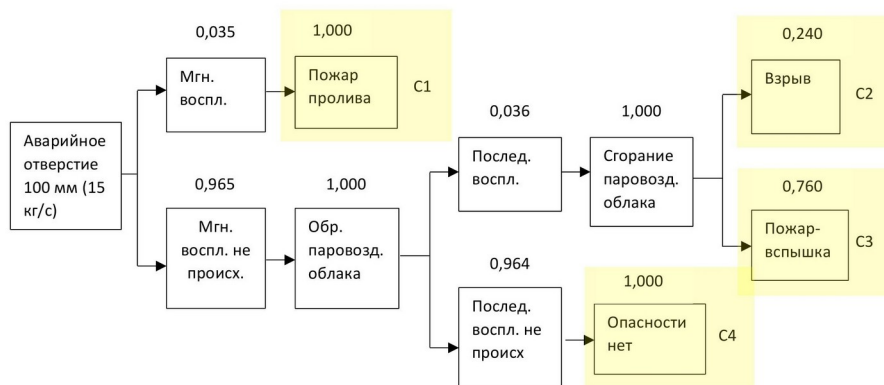


Рисунок 5 - Окончательный вид логического дерева событий

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.6>

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 полученного графического изображения логического дерева событий можно достаточно просто рассчитать значения частот реализации каждого из выявленных расчетных сценариев развития аварии. Для этого необходимо частоту возникновения первичной аварии Q_a последовательно умножить на условные вероятности реализации каждого промежуточного этапа, входящего в состав логической ветки, которая приводит к интересующему конечному сценарию (рис. 6).



Рисунок 6 - Последовательность расчёта частоты реализации сценария с помощью логического дерева событий

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.7>

Например, в рассматриваемом случае, частота возникновения аварии (разгерметизации аппарата), связанная с образованием отверстия в стенке диаметром 100 мм, равна $Q_a = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$.

Путем последовательного перемножения данной частоты возникновения аварии Q_a на условные вероятности реализации промежуточных этапов каждого из сценариев С1, С2, С3, С4, получаем значения частот реализации данных сценариев:

$$\begin{aligned} Q(C1) &= 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,035 \cdot 1,000 = 4,20 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}; \\ Q(C2) &= 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,965 \cdot 1,000 \cdot 0,036 \cdot 1,000 \cdot 0,240 = 1,00 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}; \\ Q(C3) &= 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,965 \cdot 1,000 \cdot 0,036 \cdot 1,000 \cdot 0,760 = 3,17 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}; \\ Q(C4) &= 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,965 \cdot 1,000 \cdot 0,964 \cdot 1,000 = 1,116 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Таким образом, с помощью метода логического дерева событий определены сценарии развития аварии в производственном цехе и рассчитаны частоты их реализации. Обобщая полученные результаты, можно заключить, что в случае аварии емкости 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.

Предложения

В настоящей статье для минимизации ошибок при использовании метода логического дерева событий предлагается после определения частот реализации сценариев развития аварии проводить контрольную проверку. Указанную проверку предлагается проводить путем использования принципа «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).

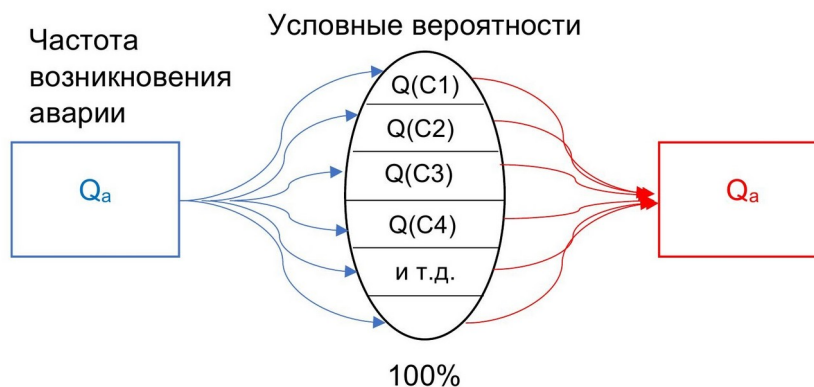


Рисунок 7 - Схема реализации принципа «деления целого на части»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.8>

Таким образом, суть проверки состоит в том, чтобы удостовериться в соблюдении указанного принципа: в сумме все частоты реализации сценариев должны давать исходную величину частоты аварии Q_a . Это обязательное условие корректности построения логического дерева событий.

Выполним контрольную проверку для рассматриваемого расчетного примера. В сумме все частоты реализации сценариев должны давать исходное значение частоты аварии $Q_a = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$:

$$Q_a = Q(C1) + Q(C2) + Q(C3) + Q(C4) = \\ = 4,2 \cdot 10^{-7} + 1,00 \cdot 10^{-7} + 3,17 \cdot 10^{-7} + 1,116 \cdot 10^{-5} = 1,20 \cdot 10^{-5}$$

Как видно, проверка успешно выполнена.

Обсуждение

В отдельных случаях специалистами могут быть допущены неточности, которые снижают объективность результатов. Так, в методических пособиях [15], [16], которые изданы с целью оказания методической помощи по применению нормативной методики [2], даются указания, в том числе по применению рассмотренного выше метода логического дерева событий. Однако в данных методических пособиях допущены неточности, которые могут повлиять на корректность результатов.

Неточность №1. В пособиях [15], [16] построение логического дерева событий начинается с события «Воспламенение» (рис. 8), хотя в таблице П2.1 методики [2] не приводится такое событие и отсутствуют значения условной вероятности для него. Поэтому с помощью приведенного логического дерева событий невозможно определить условную вероятность события «Воспламенение». С помощью него также невозможно определить и 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

Рисунок 8 - Иллюстрация из методических пособий с авторскими пометками
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.9>

Примечание: по ист. [15], [16]; авторские пометки выделены красным

Неточность №2. На другой схеме из методических пособий [15], [16] логическое дерево событий построено таким образом, что отдельные логические цепочки событий не завершаются самостоятельным сценарием, а переходят в другие логические цепочки (рис. 9). В данном случае нарушается рассмотренный выше принцип «деления целого на части». В результате данной неточности «теряются» два самостоятельных сценария, и результаты получаются некорректными. Если выполнить рекомендованную выше проверку путем суммирования частот реализации сценариев, то исходная частота аварии не получится. Аналогичная неточность допущена на нескольких схемах в методических пособиях [15], [16]. Данная неточность приведет к ошибке в расчётах пожарного риска.

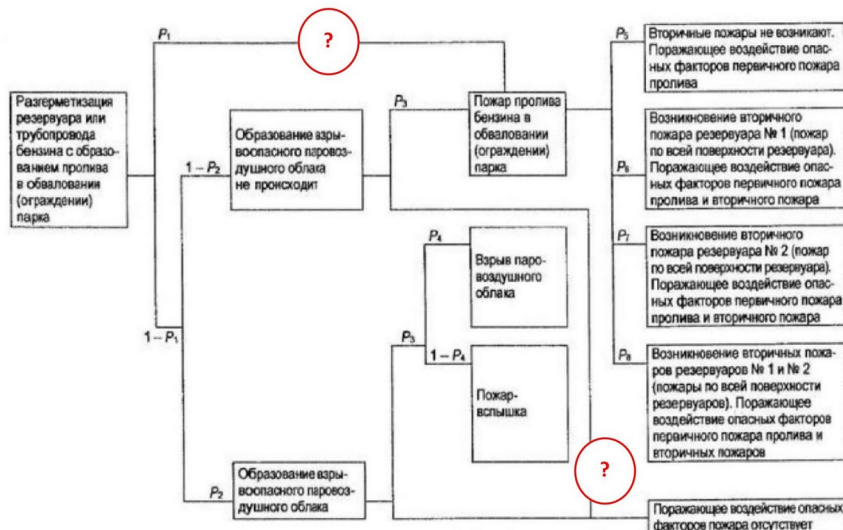


Рис. 3.2.1. Дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с разгерметизацией резервуара или трубопровода рассматриваемого резервуарного парка

Рисунок 9 - Иллюстрация из методических пособий с авторскими пометками
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.100.10>

Примечание: по ист. [15], [16]; авторские пометки выделены красным

Заключение

Таким образом, на основе проведенных исследований, в том числе расчетов с применением метода логического дерева событий, рассмотрения практических особенностей его применения и анализа методической литературы, были получены следующие результаты.

1. Несмотря на достаточную прозрачность метода логического дерева событий, при его использовании специалистами в области оценки пожарного риска в некоторых случаях могут быть допущены неточности, вызванные ошибочной трактовкой логических связей.

2. Не рекомендуется использовать « типовые » логические деревья событий без их критического осмысления, в том числе приведенные в методических пособиях по расчету пожарного риска [15], [16].

3. Рекомендуется осуществлять построение логических деревьев событий самостоятельно, учитывая особенности рассматриваемого технологического оборудования, формулируя текстовые обоснования для каждого этапа построения.

4. Рекомендуется для контроля корректности построенного логического дерева событий использовать инструмент, предложенный в настоящей статье (принцип «деления целого на части»), с проведением соответствующей проверки.

5. Новизна предложенного инструмента (принципа «деления целого на части») состоит в том, что на данный момент он отсутствует в методической литературе и в настоящей статье сформулирован впервые. Данный инструмент для отдельных специалистов в области оценки пожарного риска может являться интуитивно понятным, но для широкого круга требует вербализации. Практическая ценность данного инструмента состоит в том, что с его помощью могут быть выявлены все ошибки, допущенные при построении логического дерева событий.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Багров А.В. Техногенные системы и теория риска / А.В. Багров, А.К. Муртазов. — Рязань: Рязанский гос. ун-т им. С.А. Есенина, 2010. — 207 с.
2. Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14.12.2010): Приказ МЧС России № 404. — Москва, 2009. — 65 с.
3. Хохлов Н. В. Управление риском / Н. В. Хохлов — Москва: ЮНИТИ—ДАНА, 2003. — 239 с.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска — Введ. 2011-12-01. — Москва: Стандартинформ, 2012.— 120 с.
5. Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: [Утверждено приказом Ростехнадзора от № 387]. — Москва, 2022. — 190 с.
6. Артюхин В.В. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций) / В.В. Артюхин, Е.В. Арефьева, А.В. Верескун. — Москва: ФГБУ ВНИИ ГОЧС, 2016. — 270 с.
7. Ветошкин А.Г. Техногенный риск и безопасность / А.Г. Ветошкин, К.Р. Таранцева. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. — 171 с.
8. Галеев А.Д. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах / А.Д. Галеев, С.И. Поникаров. — Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. — 152 с.
9. Акимов В.А. Катастрофы и безопасность / В.А. Акимов, В.А. Владимиров, В.И. Измалков. — Москва: Деловой экспресс, 2006. — 392 с.
10. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов. — Москва: Деловой экспресс, 2002. — 368 с.
11. Харисов Г.Х. Надежность технических систем и техногенный риск / Г.Х. Харисов, Р.Н. Бирюков, Г.Г. Сидоренко. — Москва: Академия ГПС МЧС России, 2012. — 167 с.
12. 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. — Москва, 2002. — Вып. 3. — 216 с.
13. ГОСТ Р 27.302—2009 Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей — Введ. 2009-12-15. — Москва: Стандартинформ, 2011.— 182 с.
14. ГОСТ Р МЭК 62502-2014 Менеджмент риска. Анализ дерева событий — Введ. 2014-10-24. — Москва: Стандартинформ, 2015.— 96 с.
15. Гордиенко Д.М. Пособие по определению расчётных величин пожарного риска для производственных объектов / Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Щебеко, А.Ю. Щебеко. — Москва: ВНИИПО, 2012. — 242 с.

16. Гордиенко Д.М. Пособие по определению расчётных величин пожарного риска для производственных объектов / Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Щебеко, А.Ю. Щебеко. — Москва: ВНИИПО, 2019. — 344 с.
17. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: в 2 т / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. — Москва: Пожнаука, 2004. — Т. II. Справочник.
18. 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.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bagrov A.V. Tehnogenyie sistemy i teorija riska [Technogenic systems and risk theory] / A.V. Bagrov, A.K. Murtazov — Rjazan': S.A. Yesenin Ryazan State University, 2010. — 207 p. [in Russian]
2. Ob utverzhdenii metodiki opredelenija raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob'ektah (s izmenenijami na 14.12.2010) [On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk at industrial facilities (as amended on 14.12.2010)]: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 404. — Moscow, 2009. — 65 p. [in Russian]
3. Hohlov N. V. Upravlenie riskom [Risk management] / N. V. Hohlov — Moskva: JuNITI—DANA, 2003. — 239 p. [in Russian]
4. GOST R ISO/MEK 31010-2011 Menedzhment riska. Metody otsenki riska [GOST R ISO/IEC 31010-2011 Risk management. Risk assessment methods] — Introduced 2011-12-01. — Moskva: Standartinform, 2012.— 120 p. [in Russian]
5. Rukovodstvo po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy analiza opasnostej i otsenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah» [Safety Guide "Methodological Foundations for Hazard Analysis and Accident Risk Assessment at Hazardous Industrial Facilities"]: [Approved by Rostekhnadzor Order No. 387]. — Moscow, 2022. — 190 p. [in Russian]
6. Artjuhina V.V. Upravlenie riskami tehnogenyih katastrof i stihijnyh bedstvij (posobie dlja rukovoditelej organizatsij) [Risk Management of Man-Made and Natural Disasters (manual for heads of organizations)] / V.V. Artjuhina, E.V. Aref'eva, A.V. Vereskun. — Moskva: FGBU VNII GOChS, 2016. — 270 p. [in Russian]
7. Vetoshkin A.G. Tehnogenyj risk i bezopasnost' [Man-made risk and safety] / A.G. Vetoshkin, K.R. Tarantseva. — Penza: Publishing house of Penza State University, 2001. — 171 p. [in Russian]
8. Galeev A.D. Analiz riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah [Analysis of the risk of accidents at hazardous industrial facilities] / A.D. Galeev, S.I. Ponikarov. — Kazan': Publishing house of KNITU, 2017. — 152 p. [in Russian]
9. Akimov V.A. Katastrofy i bezopasnost' [Disasters and Safety] / V.A. Akimov, V.A. Vladimirov, V.I. Izmalkov. — Moscow: Delovoj ekspress, 2006. — 392 p. [in Russian]
10. Akimov V.A. Nadezhnost' tehniceskix sistem i tehnogenyj risk [Reliability of technical systems and man-made risks] / V.A. Akimov, V.L. Lapin, V.M. Popov. — Moskva: Delovoj ekspress, 2002. — 368 p. [in Russian]
11. Harisov G.H. Nadezhnost' tehniceskix sistem i tehnogenyj risk [Reliability of technical systems and man-made risks] / G.H. Harisov, R.N. Birjukov, G.G. Sidorenko. — Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2012. — 167 p. [in Russian]
12. RD 03-418-01 Metodicheskie ukazanija po provedeniju analiza riska opasnyh proizvodstvennyh ob'ektov [RD 03-418-01 Guidelines for conducting risk analysis of hazardous industrial facilities] : [Approved by the resolution of Gosgortekhnadzor of Russia dated 07/10/2001 No. 30] // Sb. dokum. Serija 27. Deklarirovanie promyshlennoj bezopasnosti i otsenka riska [Collection of documents. Episode 27. Declaration of industrial safety and risk assessment]. — Moscow, 2002. — Iss. 3. — 216 p. [in Russian]
13. GOST R 27.302—2009 Nadezhnost' v tehnike (SSNT). Analiz dereva neispravnostej [GOST R 27.302—2009 Reliability in Engineering (SSNT). Fault Tree Analysis] — Introduced 2009-12-15. — Moskva: Standartinform, 2011.— 182 p. [in Russian]
14. GOST R MEK 62502-2014 Menedzhment riska. Analiz dereva sobytij [GOST R IEC 62502-2014 Risk management. Event tree analysis] — Introduced 2014-10-24. — Moskva: Standartinform, 2015.— 96 p. [in Russian]
15. Gordienko D.M. Posobie po opredeleniju raschetnyh velichin pozharnogo riska dlja proizvodstvennyh ob'ektov [Manual for determining the calculated values of fire risk for industrial facilities] / D.M. Gordienko, Ju.N. Schebeko, A.Ju. Schebeko. — Moskva: VNIPO, 2012. — 242 p. [in Russian]
16. Gordienko D.M. Posobie po opredeleniju raschetnyh velichin pozharnogo riska dlja proizvodstvennyh ob'ektov [Manual for determining the calculated values of fire risk for industrial facilities] / D.M. Gordienko, Ju.N. Schebeko, A.Ju. Schebeko. — Moskva: VNIPO, 2019. — 344 p. [in Russian]
17. Korol'chenko A.Ja. Pozharovzryvoopasnost' veschestv i materialov i sredstva ih tushenija [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them]: in 2 vol / A.Ja. Korol'chenko, D.A. Korol'chenko. — Moscow: Pozhnauka, 2004. — Vol. II. Handbook. [in Russian]
18. Fedosov A.V. Analiz opasnostej, otsenka riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah i rekomendatsii po vyboru metodov analiza riska [Hazard analysis, accident risk assessment at hazardous production facilities and recommendations for choosing risk analysis methods] / A.V. Fedosov, G.R. Mannanova, Ju.A. Shipilova // Neftegazovoe delo [Oil and Gas Business]. — 2016. — № 3. —P. 322–336. [in Russian]