

УДК 614.841

А.Н. Серебровский, канд. техн. наук, И.Н. Оксанич, канд. техн. наук, Т.К. Еременко, канд. техн. наук, Ю.Г. Пилипенко

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ СТЕПЕНИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА

Предлагается подход применения вероятностного анализа безопасности для вычислений вероятностей пожаров. Данный подход не противоречит ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. Он является определенным дополнением к стандарту, обеспечивает максимальную формализацию причинных связей между элементарными нежелательными событиями на объекте и последующим возможным пожаром. Это дает возможность дифференцированно оценивать источники и причины пожароопасности. Дополнительными преимуществами данных моделей являются: наглядность графического представления развития процессов опасности; простота манипулирования с моделями опасных событий при проектировании систем безопасности; простота формирования логических представлений взаимосвязи опасных событий; возможность выявления наиболее значимых аспектов пожароопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность; вероятностный анализ безопасности; дерево отказов; дерево событий; пожар в гостинице

A. Serebrovsky, Cand. of Sc. (Eng), I. Oksanich, Cand. of Sc. (Eng), T. Eremenko, Cand. of Sc. (Eng), Y. Pylypenko

PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT IN ASSESSMENT OF OBJECT FIRE HAZARD DEGREE

Proposes an approach of probabilistic safety assessment to calculate the probability of fires. This approach is not inconsistent with the Standard 12.1.004-91 "Fire Safety". It is a definite addition to the Standard, provides maximum formalization of causal relationships between elementary undesirable events at the facility and the subsequent possibility of fire. This makes it possible to differentially assess the sources and causes of fire. Additional advantages of these models are: visual graphical representation of development processes of hazard; ease to manipulate models of hazardous events in the design of security systems; ease of forming logical representations of the relationship of hazardous events; the ability to identify the most important aspects of fire.

Keywords: fire safety; probabilistic safety assessment; fault tree; event tree; fire in a hotel.

За 2014 год в Украине возникало, в среднем, 188 пожаров ежедневно, нанося среднесуточный ущерб 21.2 млн. грн. [1]. Аналогичное положение имеет место в России, некоторые причины которого обозначены в [2].

Финансирование мероприятий противопожарной программы на многих предприятиях в РФ происходит по остаточному принципу [3]. Это приводит к тому, что рано или поздно огневой риск реализуется. Оценка рисков пожарной опасности представителями страховых компаний не редко проводится формально, на основе недостаточно квалифицированных обследований. Отсутствует контроль за системами пожарной безопасности со стороны страховых компаний. Отсутствует эффективная система государственного профилактического пожарного надзора.

Резкое отличие от вышеизложенного отношения к обеспечению безопасности представляет система безопасности на объектах атомной энергетики. Это является следствием высокой требовательности к точности и достоверности данных, используемых

для оценок безопасности объектов атомной энергетики, а также используемыми методами и технологией оценок и анализа.

Для управления безопасностью атомных электростанций (АЭС) применяется риск-ориентированный подход (РОП), который в атомной энергетике называется чаще вероятностным анализом безопасности (ВАБ). [4,5,6].

Основными процедурами ВАБ являются:

- вычисления риска;
- оценка степени риска;
- анализ риска;
- поддержка принятия решений по уменьшению риска (в частности по предотвращению опасных событий типа взрывов, пожаров, утечек и др.) на объектах.

ВАБ применяется как при проектировании потенциально-опасных объектов, так и при их эксплуатации.

Необходимо отметить, что процедуры вероятностных оценок пожара предусмотрены стандартом ГОСТ 12.1.004-91 [7]. Этот стандарт является одним из основных документов, регламентирующих метод и процедуру вычисления вероятности возникновения пожара (взрыва) в пожароопасном объекте. Не преуменьшая значения этого документа рассмотрим те свойства ВАБ, которые позволяют:

- усовершенствовать технологию формализации опасности;
- расширить возможности оценки и анализа отдельных аспектов опасности (технических и человеческих).

Возможности ВАБ:

Программный комплекс, реализующий ВАБ должен предоставлять следующие возможности:

- создавать наглядные графические модели возникновения и развития опасности в виде дерева отказов (ДО) и дерева событий (ДС);
- на основе созданных моделей ДО и ДС автоматически формировать логические представления опасных событий (аварий, пожаров) в виде дизъюнктивно-нормальных форм (ДНФ);
- параллельно с созданием ДНФ выявлять цепочки событий, которые приводят к авариям (аварийные последовательности);
- определять приоритетность отдельных аспектов опасности по значимости их влияния на безопасность;
- выявлять слабые элементы функционирования объекта;
- оценивать неопределенность полученных результатов;
- сравнивать возможные варианты уменьшения риска.

Целью данной работы является показать возможности применения подхода ВАБ для оценивания пожарной безопасности объекта.

Для дальнейшего рассмотрения введем следующее определение.

Риск пожара на объекте – есть произведение вероятности пожара на величину ущерба (прямого или косвенного), который возникает при реализации пожара на объекте.

В практике предсказания риска его вероятностная составляющая является приоритетной [6]. С учетом этого допущения термин «Прогнозирование пожароопасности» может иметь следующую интерпретацию: «Определить вероятность возникновения пожара на заданном интервале прогнозирования».

Модель дерева отказов (ДО)

Всякое опасное событие, в том числе пожар, при всей кажущейся случайности возникновения, имеет предысторию, которая может быть представлена совокупностью взаимосвязанных элементарных (базисных) событий. Базисные события (БС) представляют собой: отказы отдельных элементов, узлов, систем пожароопасных объектов; ошибки персонала, в том числе несоблюдение правил технического обслуживания и пожарной

безопасности; события, причинами которых является различные явления окружающей среды.

При всем разнообразии БС пожароопасности могут быть отнесены (по своим непосредственным последствиям) к одному из следующих классов:

- события, приводящие к возникновению горючей среды;
- события, приводящие к возникновению источника зажигания;
- события, способствующие распространению огня.

Дерево отказов пожара (ДО) – графическая модель различных параллельных и последовательных сочетаний БС, которые могут привести к возникновению пожара. В ДО БС соединены логическими операциями «И», «ИЛИ», образуя промежуточные события. Само ДО имеет вид перевернутого дерева, корнем которого является верхнее событие - пожар, а листьями – БС. ДО наглядно иллюстрирует структуру логических отношений между БС, промежуточными и верхним событием ДО.

Совокупность БС, выполнение которых приводит к реализации верхнего события, называется сечением ДО (S_q).

Минимальным сечением ДО является такое сечение, которое не приводит к верхнему событию, если из него удалить хотя бы одно БС. Дизъюнктивно-нормальной формой (ДНФ) верхнего события «А» ДО является логическая сумма всех сечений ДО, т.е.:

$$A = \bigcup_{q \in Q} S_q, \quad (1)$$

где

$$S_q = \bigcap_{i_q \in I_q} F_{i_q} \quad (2)$$

S_q - сечение с индексом q

Q - множество индексов сечений ДО;

F_{i_q} - БС входящие в сечение с индексом S_q ;

I_q - множество индексов БС входящих в сечение S_q .

Построение ДО выполняется квалифицированным экспертом и включает в себя:

- структурный анализ объекта, определение его составных частей (помещений, элементов оборудования, технологических аппаратов, установок);
- определение перечня элементарных нежелательных событий (базисных событий), сочетания которых могут привести к пожару (взрыву). Каждому базисному событию (БС) присваивается уникальный идентификатор;
- установление причинно-следственных связей между событием пожар (взрыв) и БС.

Связи представлены с помощью промежуточных событий и логических отношений «И», «ИЛИ». Описание графа ДО завершается однозначной идентификацией промежуточных событий. Результатом является графическое представление ДО. На основании построенного графа автоматически формируется и минимизируется ДНФ, которая является основой для вычислительных и аналитических процедур.

Вероятность пожара (А), описанного с использованием ДО, вычисляется с помощью выражения:

$$P(A) = \sum_{q \in Q} P(S_q), \quad (3)$$

где

$$P(S_q) = \prod_{i_q \in I_q} P(F_{i_q}) \quad (4)$$

$P(S_q)$ - вероятности сечений из минимизированной ДНФ,

$P(F_{i_q})$ - вероятности БС.

Значения вероятностей БС, на которых основан расчет вероятности пожара (взрыва) оцениваются по методике изложенной в [7] либо определяются на основании статистических данных [8].

Необходимо отметить, что модель дерева отказов может использоваться не только для оценки отказа системы предотвращения пожара, но также и для оценки вероятности успешного срабатывания системы, как это имеет место в приводимом ниже примере.

Модель дерева событий (ДС)

Опасное событие рассматривается как заключительное (конечное) событие в цепочке предшествующих событий, одно из которых считается инициирующим (исходное событие), а другие - поддерживающими или превентирующими развитие опасности (промежуточные события). Промежуточными событиями ДС являются срабатывания или отказы систем безопасности или их отдельных структурных частей. Графически ДС изображается в виде таблицы состояний и логической диаграммы состояний в форме бинарного графа [5]. В заголовках колонок таблицы слева направо размещаются названия и условные обозначения промежуточных событий т.е. событий верхнего уровня (TOP EVENT). Конечные состояния - результаты аварийных последовательностей - отображаются в крайне правом столбце (endstate). Реализация успешного промежуточного события графически отображается в ДС в виде верхней линии исходящей из точки разветвления. Неуспешное промежуточное событие отображается в виде нижней линии. Содержательно ДС может быть представлено совокупностью возможных последовательностей событий (цепочек) от исходного к одному из конечных, часть которых является опасными событиями.

Модель ДС дает возможность моделировать аварийные последовательности и рассчитывать вероятности их реализации. Необходимыми данными для этого являются вероятности исходного и промежуточных событий. Вероятность конечного события цепочки вычисляется как произведение вероятностей исходного и промежуточных событий в этой цепочке.

В качестве иллюстрации использования ДС приведем задачу определения вероятности воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на людей, проживающих в гостинице. Данная задача описана в [7].

Предполагается, что в здании гостиницы возник пожар на первом этаже. Здание оснащено системой оповещения людей о пожаре (ОЛП) с вероятностью эффективного срабатывания $P(C)$. Статистическая вероятность возникновения пожара в аналогичных объектах в год равна P_p . Этаж здания рассматривается как одно помещение с известными геометрическими размерами. Так как здание оборудовано вентиляционной системой ПДЗ, его лестничные клетки считаются незадымляемыми.

Необходимо вычислить вероятность воздействия ОФП на людей, проживающих на верхнем этаже гостиницы (наиболее удаленном от выхода в безопасную зону). По сути, искомая вероятность является характеристикой степени пожарной безопасности гостиницы P_b . На рис.1 представлено упрощенное ДС состояния пожарной безопасности людей, проживающих в гостинице.

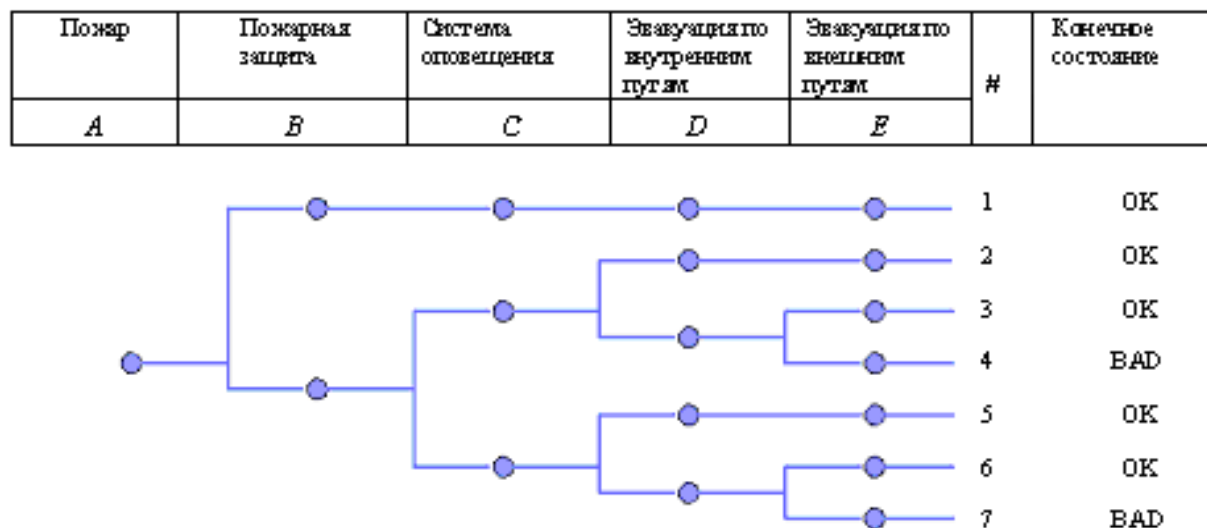


Рисунок 1 – Упрощенное дерево событий состояния пожарной безопасности гостиницы

Краткое описание ДС приведенного на рис 1.

A - исходное событие «Пожар».

Промежуточные события ДС (top event)

B - системы пожарной защиты сработали успешно.

C - система оповещения сработала успешно.

D - успешная эвакуация по внутренним эвакуационным путям.

E - успешная эвакуация по наружным эвакуационным путям.

События противоположные успешным событиям *B*, *C*, *D*, *E*, обозначим соответственно: \bar{B} , \bar{C} , \bar{D} , \bar{E} .

Конечные события (endstate)

K1 - Цепочка событий при успешной работе всех систем. Спасение людей гарантировано.

K2 - Цепочка событий, когда не сработала пожзащита, но успешное срабатывание других систем позволяет спасти людей.

K3 - Цепочка событий, когда не сработала пожзащита, но успешное срабатывание систем оповещения позволяет спасти людей по внешним путям.

K4 - Цепочка событий, когда не сработала пожзащита и доступные пути эвакуации заблокированы ОФП. Возможности спасения людей минимальны.

K5 - Цепочка событий, когда не сработала пожзащита и система оповещения, но доступные внутренние и внешние пути позволяют спасти людей.

K6 - Цепочка событий, когда не сработала пожзащита и система оповещения, но доступные внешние пути позволяют спасти людей.

K7 - Цепочка событий при неуспешной работе всех систем. Доступные пути эвакуации заблокированы ОФП. Возможности спасения людей минимальны.

Формализованные описания конечных событий и их вероятностей

$$K1 = A \cap B, \quad P(K1) = P(A) \times P(B) \quad (5)$$

$$K2 = A \cap \bar{B} \cap C \cap (D \setminus C), \quad P(K2) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(C) \times P(D \setminus C) \quad (6)$$

$$K3 = A \cap \bar{B} \cap C \cap (\bar{D} \setminus C) \cap E, \quad P(K3) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(C) \times P(\bar{D} \setminus C) \times P(E) \quad (7)$$

$$K4 = A \cap \bar{B} \cap C \cap (\bar{D} \setminus C) \cap \bar{E}, \quad P(K4) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(C) \times P(\bar{D} \setminus C) \times P(\bar{E}) \quad (8)$$

$$K5 = A \cap \bar{B} \cap \bar{C} \cap (D \setminus \bar{C}), \quad P(K5) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(\bar{C}) \times P(D \setminus \bar{C}) \quad (9)$$

$$K6 = A \cap \bar{B} \cap \bar{C} \cap (\bar{D} \setminus \bar{C}) \cap E, \quad P(K6) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(\bar{C}) \times P(\bar{D} \setminus \bar{C}) \times P(E) \quad (10)$$

$$K7 = A \cap \bar{B} \cap \bar{C} \cap (\bar{D} \setminus \bar{C}) \cap \bar{E}, \quad P(K7) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(\bar{C}) \times P(\bar{D} \setminus \bar{C}) \times P(\bar{E}) \quad (11)$$

$P(D \setminus C)$ обозначает условную вероятность события D при выполнении события C .

\bar{B} , \bar{C} , \bar{D} , \bar{E} - события противоположные успешным событиям B , C , D , E соответственно.

Выражения (5-11) являются наглядным и подробным представлением всех возможных цепочек событий которые возникают при пожаре (в оговоренных условиях заданного примера). Подставляя в данные выражения конкретные значения вероятностей верхних событий ДС, получаем значения вероятностей реализаций каждой цепочки. На основании этих вероятностей можно упорядочивать цепочки событий, группировать по критерию близости их влияния на степень пожарной безопасности, выявлять значимые элементы в каждой цепочке и во всей системе пожарной безопасности в целом.

Например, упрощенная группировка разделяет совокупность цепочек на две формальные группы: ($K1$, $K2$, $K3$, $K5$, $K6$) и ($K4$, $K7$).

Вероятность совокупности успешных последовательностей $K1$, $K2$, $K3$, $K5$, $K6$ равна:

$$P_B = P(K1) + P(K2) + P(K3) + P(K5) + P(K6) \quad (12)$$

Вероятность совокупности последовательностей, не приводящих к успеху равна:

$$P(Q) = P(K4) + P(K7) \quad (13)$$

Рассмотрим отличие приведенного подхода от гостированного метода оценок пожарной безопасности (ГМПБ) изложенного в [7].

В [7] оценка безопасности основана на вычислении вероятности события Q_B , которое заключается том, что системы оповещения и пожаротушения не сработали успешно (отказали) и кроме того, эвакуация (по наружным и внутренним путям) также оказалась неуспешной. В обозначениях, принятых для описанного выше ДС, данное событие имеет вид:

$$Q_B = A \cap \bar{B} \cap \bar{C} \cap \bar{D} \cap \bar{E} \quad (14)$$

Вероятность этого события равна

$$P(Q_B) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(\bar{C}) \times P(\bar{D}) \times P(\bar{E}) \quad (15)$$

Разложим $P(\bar{D})$ на две составляющие:

$$P(\bar{D}) = P(\bar{D} \setminus C) + P(\bar{D} \setminus \bar{C}) \quad (16)$$

и подставим в выражение (15).

$$P(Q_B) = P(A) \times P(\bar{B}) \times P(\bar{C}) \times [P(\bar{D} \setminus C) + P(\bar{D} \setminus \bar{C})] \times P(\bar{E})$$

После раскрытия скобок и сравнения с выражениями (8) и (11) становится очевидно что

$$P(Q_B) = P(K4) + P(K7) \quad (17)$$

Из данного выражения и из (13) следует что

$$P(Q_B) = P(Q) \quad (18)$$

Таким образом можно сделать выводы, что:

- оценка безопасности выполняемая методом ДС идентична оценке, полученной с помощью ГМПБ;

- метод ДС реализует более детализированную модель безопасности, которая включает в себя формализованные описания всех возможных случаев развития опасности;

- ГМПБ реализует агрегированную модель безопасности (примером может служить выражение (14), которое является сверткой цепочек К4 и К7).

Вычисление оценок безопасности

Оценки безопасности вычисляются на основании вероятностей цепочек ДС, которые, в свою очередь, вычисляется на основании вероятностей исходного и промежуточных событий ДС, а также вероятностей противоположных им событий.

Вероятности исходного и промежуточных событий ДС могут быть определены следующими способами:

- на основании статистических данных об отказах технических систем;
- как результат реализации процедур, вычисляющих параметры безопасности с учетом специфики объектов для которых выполняется оценка пожарной безопасности;
- как вероятность верхнего события ДО.

Применительно к приведенному примеру на основании статистических данных можно принять следующие значения вероятностей:

- вероятность пожара в гостинице данного класса $P(A) = 4 \times 10^{-4}$;
- вероятность успешного срабатывания системы оповещения о пожаре $P(C) = 0.95$;
- вероятность успешной эвакуации по наружным эвакуационным путям $P(E) = 0.03$.

Вероятность успешной эвакуации по внутренним эвакуационным путям $P(D)$ зависит от геометрических особенностей эвакуационных путей, а также от пожароопасных характеристик конструктивных и отделочных материалов помещений, которые влияют на скорость распространения опасных факторов пожара и блокирование путей эвакуации.

Алгоритм вычисления $P(D)$ описанный в [7] стр. 11- 18. сводится к реализации комплекса ниже перечисленных процедур.

Процедура «TR». Определение расчетного времени эвакуации людей.

Исходные данные:

l_i - длина i - го участка пути, м;

v_i - скорость движения людского потока на i -м участке пути;

Q_i - интенсивность движения людского потока на i - м участке пути, м/мин;

D_i - плотность потока;

δ_i - ширина i -го участка пути, м;

N_1 - число людей на 1-м участке пути. Величины D_i , v_i , Q_i определяются по табл. 2 из [7] стр. 13 в зависимости от вида движения людей (горизонтальный путь, дверной проем,...).

Полученные данные:

t_p - расчетное время эвакуации людей.

Процедура «ТНЕ». Определение интервала времени от начала возникновения пожара до начала эвакуации людей.

Исходные данные:

$t_{сраб.}$ время срабатывания системы оповещения;

$N_э$ - номер этажа эвакуации;

$N_п$ - номер этажа пожара.

Полученные данные:

$\tau_{нэ.}$ - время от начала возникновения пожара до начала эвакуации.

Процедура «ТВЛ». Определение времени от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате действия ОФП.

Исходные данные:

$t_{кр}$ - критическая для людей продолжительность пожара, которая определяется из условия достижения одним из ОФП своего предельно допустимого значения, (в мин.);

$K_{без.}$ - коэффициент безопасности;

$t_{кр}$, $K_{без.}$ - берутся из предварительного проектного расчета (проектной документации на здание), приведенного в соответствии с требованиями строительных норм и правил проектирования зданий и сооружений.

Полученные данные:

$\tau_{бл.}$ - время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения, (в мин.).

Принимается допущение, что в данном примере $P(D) = 0.465$.

Процедура «РЕР». Определение вероятности эвакуации по эвакуационным путям.

Исходные данные:

t_p - расчетное время эвакуации людей, (в мин.) Получено из проц. «TR»;

$\tau_{нэ.}$ - интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей (в мин.).

Получено из процедуры «ТНЕ»;

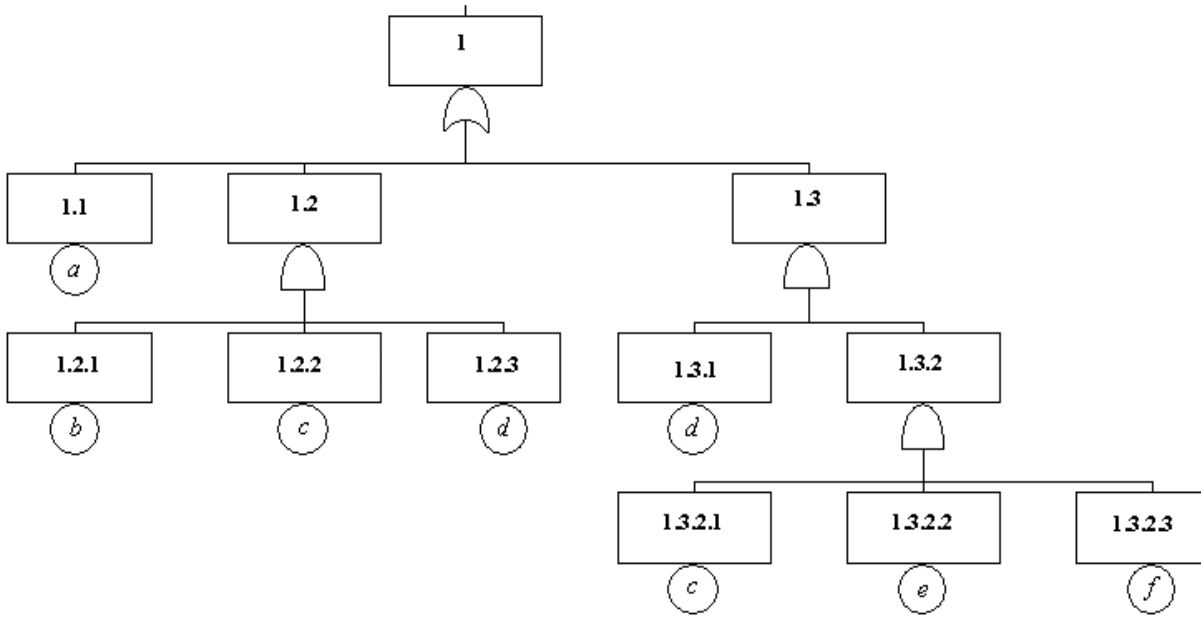
$\tau_{бл.}$ - время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате действия ОФП, (в мин.) Получено из проц. «ТВЛ»;

Полученные данные:

$P(D)$ - вероятность эвакуации людей по внутренним эвакуационным путям.

Использование модели дерева отказов для оценки вероятности успешного срабатывания системы пожарной защиты $P(B)$.

Искомая вероятность определяется как вероятность верхнего события ДО “1” см. рис.2



- 1. $P(B)$ - Противопожарная защита сработала.
- 1.1 - Сработала система спринклерного пожаротушения (базисное событие “a”).
- 1.2 - Пожаротушение выполнено с помощью огнетушителей.
- 1.3 - Сработала система с использованием гидрантов.
- 1.2.1 - Огнетушители готовы к работе (базисное событие “b”).
- 1.2.2 - Персонал сумел выполнить свои обязанности (базисное событие “c”).
- 1.2.3 - Сигнализация сработала (базисное событие “d”).
- 1.3.1 - То же, что и 1.2.3 (базисное событие “d”).
- 1.3.2 - Система гидрантов готова к работе.
- 1.3.2.1 - То же, что и 1.2.2 (базисное событие “c”).
- 1.3.2.2 - В гидранте есть напор воды (базисное событие “e”).
- 1.3.2.3 - Гидрант в рабочей готовности(базисное событие “f”).

Рисунок 2 – Дерево отказов состояния противопожарной защиты гостиницы

Дизъюнктивно-нормальная форма верхнего события ДО имеет представление:

$$B = (1.1) \cup (1.2) \cup (1.3) = a \cup (b \cap c \cap d) \cup (d \cap c \cap e \cap f) \tag{19}$$

Вероятность верхнего события ДО определяется из выражения:

$$P(B) = P(a) + P(b) \times P(c) \times P(d) + P(d) \times P(c) \times P(e) \times P(f) \tag{20}$$

Вероятности базисных событий “a”, “b”, “c”, “d”, “e”, “f” определяются :

- на основе результатов статистических данных [8];
- по методике изложенной в [7];
- на основании формализованного описания ситуации на потенциально-опасном объекте [9].

Вычисленное значение $P(B)$ подставляется в выражения (5)-(11) для вычисления вероятностей цепочек ДС и дальнейшего анализа пожарной безопасности .

Выводы

Модели дерева отказов и дерева событий могут быть использованы для оценивания пожарной безопасности объекта. Данные модели не являются альтернативой существующим гостированным методам оценивания пожароопасности, но позволяют получить развернутое представление всех возможных последовательностей событий, приводящих к пожару или препятствующих ему. Это дает возможность дифференцированно оценивать источники и причины пожароопасности объекта. Дополнительными преимуществами данных моделей (при условии их программной реализации) являются:

- наглядность графического представления процессов возникновения и развития опасности;
- простота манипулирования с моделями опасных событий при проектировании систем безопасности;
- простота автоматизации формирования логических описаний возникновения и взаимосвязи опасных событий, что создает реальные возможности создания и наращивания электронных баз данных типовых опасных процессов;
- возможность выявления наиболее значимых аспектов пожароопасности.

В данной статье отражена лишь некоторая часть особенностей вероятностного анализа безопасности, которые могут быть использованы в при решении проблемы снижения пожароопасности. В Институте проблем математических машин и систем НАНУ продолжают работы по формированию моделей ВАБ, адаптированных для применения в сфере пожарной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климась Р.В. Аналіз стану з пожежами в Україні за 2014 рік./Р.В.Климась, А.В.Одинець//Пожежна іта техногенна безпека.-К.:№2(17),2015.-С.23-26.
2. Brushlinsky N.N. World Fire Statistics/N.N. Brushlinsky,M. Abrens,S.V. Sokolov, P. Wagner//Report № 19.-М.: Center of Fire Statistics of СТІФ,2014.-59р.
3. Лебедев А. Оценка рисков пожарной опасности. Риск – менеджмент. <http://www.riskm.ru/item/112> .
4. Integrated Reliability and Risk Analysis System (IRRAS). Basic Training Course /NRC/- Washington, 1995. -720 pp.
5. Бегун В.В., Горбунов О.В., Каденко И.Н и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ). –НТУУ "КПИ", -2000. –568с
6. Вишняков Я.Д, Радаев Н.Н. Общая теория рисков. М.: Изд. Академия, 2008. - 368 с.
7. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. Дата введения 1992-07-01.
8. Серебровский А.Н., Стрельников В.П. О модельно-алгоритмическом базисе прогнозирования элементарных нежелательных техногенных событий // Міжнародний науково-технічний збірник “Надійність і довговічність машин і споруд”. – Київ. -2007. – Вып.28. №1. С.121-130.
9. O. M. Serebrovsky. Hazard Control Technology During Situation Monitoring At Potentially Hazardous Facilities // Journal of Scientific Research & Reports/-3 (18): 2382-2394, 2014; Article No. JSRR.2014.18.001.

