

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ РИЗИКІВ

УДК 519.2, 614.84

А.Н. СЕРЕБРОВСКИЙ, В.Г. ПИЛИПЕНКО, Л.П. СИТНИЧЕНКО

Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, г. Киев

О ДОПОЛНЕНИИ ГОСТ 12.1.004-91 “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ” МОДЕЛЮ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ

Предлагается методика использования модели «Дерево отказов» для расчета возможности пожаров. Эта методика не противоречит ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность». Она является определенным дополнением к стандарту, обеспечивает максимальную наглядность и формализацию причинных связей между элементарными нежелательными событиями на объекте и дальнейшим возможным пожаром, создает основу для дальнейших аналитических процедур. Пользователями данной методики могут быть: эксперты-аналитики пожарной безопасности; конкретные практические функционеры по личному составу объектов, которые отвечают за пожарную безопасность; инспекторы пожарной безопасности, которые контролируют состояние объектов.

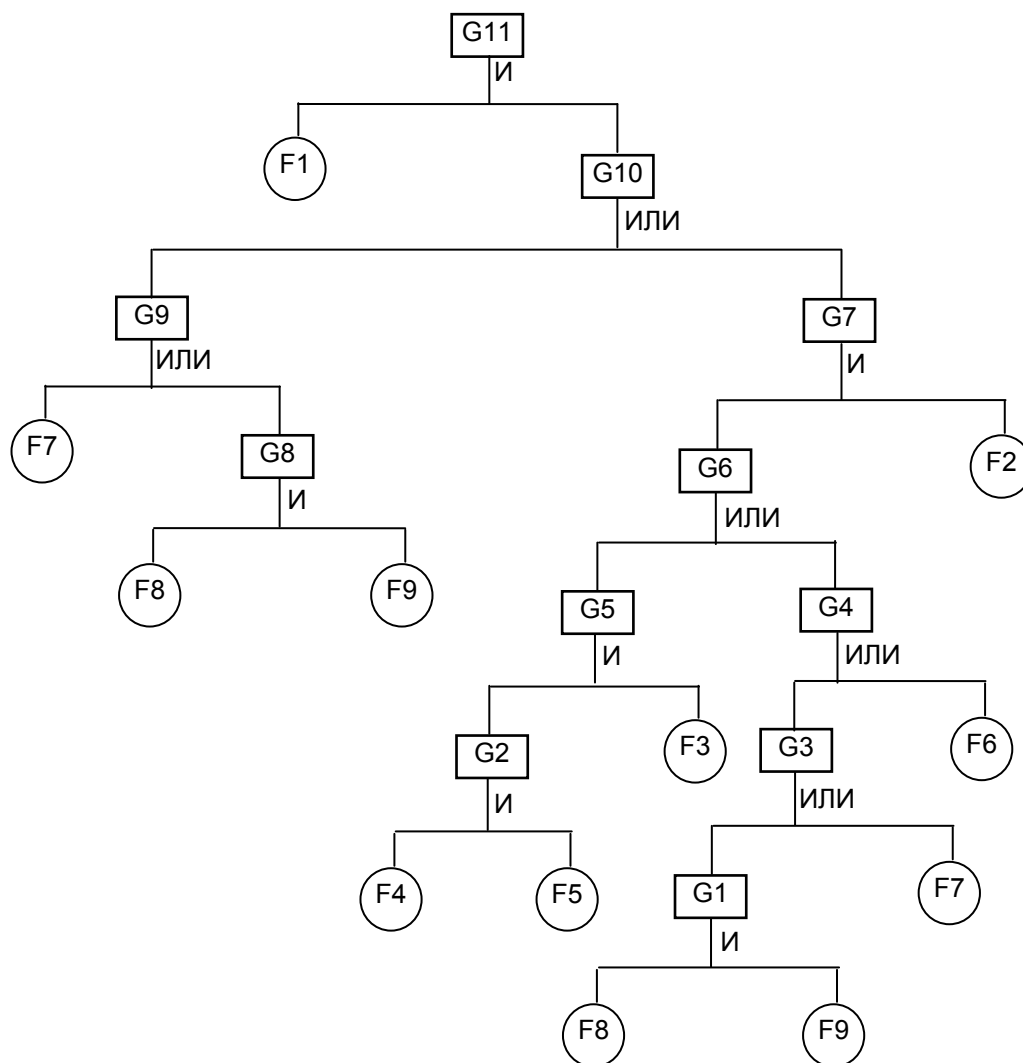
Введение

ГОСТ 12.1.004-91 [1] является одним из основных документов, регламентирующих пожарную безопасность. В Приложении 3 данного ГОСТа излагается Метод определения вероятности возникновения пожара (взрыва) в пожаровзрывоопасном объекте. Процесс вычислений представляет собой последовательность расчетов: вероятностей событий, способствующих возникновению горючей среды и источников зажигания в отдельных помещениях и технологических аппаратах; вероятностей пожара (взрыва) в отдельных составных частях объекта; вероятности пожара (взрыва) в объекте в целом. Не преуменьшая значения этого документа, рассмотрим метод моделирования «Дерево отказов» (ДО) как инструмент, расширяющий возможности ГОСТ 12.1.004-91. Метод ДО находит широкое применение как эффективное средство формализации процессов возникновения и развития техногенной опасности [2-5]. Достоинством ДО являются: графическая наглядность; возможность использования логико-вероятностных методов для формализованного представления опасности, что не только позволяет вычислять вероятности возникновения опасных событий, но облегчает моделирование и анализ потенциального риска; возможность оценки структурных значимостей отдельных событий из состава ДО; апробированность и универсальность применимости к различным предметным областям. Последнее обстоятельство позволяет включить метод ДО в арсенал расчетных и аналитических средств оценок и анализа риска пожаровзрывоопасных объектов. Метод ДО не противоречит ГОСТ 12.1.004-91, а только расширяет его возможности.

Цель данной работы – продемонстрировать методику построения ДО, его формализацию и применимость для расчетов вероятности пожара (взрыва) на потенциально опасном объекте.

Основные понятия

ДО пожара – графическая модель различных параллельных и последовательных сочетаний элементарных нежелательных событий (базисных событий) (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. Упрощенный иллюстративный пример ДО [6] приведен на рис. 1.



- F1 – отсутствует пожарная сигнализация;
 F2 – отсутствуют средства индивидуального пожаротушения;
 F3 – низкая дисциплина соблюдения пожарной безопасности;
 F4 – наличие горючих и смазочных материалов;
 F5 – наличие мусора;
 F6 – неисправность двигателя автомобиля;
 F7 – низкое техническое состояние электропроводки в гараже;
 F8 – неисправность электропроводки автомобиля;
 F9 – отсутствие заземления массы автомобиля.

Обозначения элементов:



– базисное событие



– промежуточное событие “И”/”ИЛИ”

Наименования элементов:

F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9 – базисные события

G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10 – промежуточные события
G11 – верхнее событие

Рис. 1. Дерево отказов возникновения пожара в индивидуальном гараже

Совокупность БС, выполнение которых приводит к реализации верхнего события называется сечением ДО. 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.:

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

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

где: 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 .

Таким образом, ДНФ верхнего события является логической формализацией ДО.

Минимальной дизъюнктивно-нормальной формой является такая ДНФ, у которой все сечения являются минимальными.

Построение графа ДО (Процедура «А»)

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), которые 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.

Ввод ДО в базу данных (БД) (Процедура «В»)

Ввод ДО в БД выполняется оператором (техническим работником) в автоматизированном интерактивном режиме на основании сформированного экспертом графа ДО. Ввод включает два шага: регистрацию в БД элементов ДО и ввод описаний причинно-следственных связей между элементами ДО.

В результате первого шага в БД формируются два списка идентификаторов для базисных и промежуточных событий.

Описание каждой причинно-следственной связи ДО имеет три составных элемента:

- идентификатор события – «следствия» (промежуточного или верхнего события ДО);
- тип логического отношения между событием –«следствием» и «причинными» событиями;
- совокупность идентификаторов «причинных» событий (промежуточных и (или) базисных порождающих событие-«следствие»).

Оператор выполняет последовательный ввод составных частей описания связей для верхнего события и всех промежуточных событий ДО. При этом сами идентификаторы не вводятся, а только указываются с помощью «выпадающих» списков промежуточных и базисных событий. При такой программной поддержке действия оператора сводятся к минимуму. После завершения ДО на экране высветится граф, описанный на рис.1, а в БД будет сформирована совокупность логических равенств, устанавливающих зависимость

между верхним событием (G11) и совокупностью промежуточных и базисных событий ДО:

$$\begin{array}{l}
 G1=(F8*F9) \\
 G2=(F4*F5) \\
 G3=(F7+G1) \\
 G4=(F6+G3) \\
 \\
 G6=(G5+G4) \\
 G7=(F2*G6) \\
 \\
 G9=(F7+G8) \\
 G10=(G9+G7) \\
 G11=(F1*G10)
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 G5=(F3*G2) \\
 \\
 G8=(F8*F9)
 \end{array}
 \right.
 \quad (3)$$

Выражения (3) представляют собой первичную формализацию ДО (ПФДО), которая является основой для создания дизъюнктивно-нормальной формы ДО.

Построение дизъюнктивно-нормальной формы (Процедура «С»)

Задача данной процедуры – исключить из ПФДО промежуточные события и установить прямое логическое соотношение между верхним событием ДО с одной стороны и базисными событиями с другой. Процедура выполняется автоматически и состоит из двух шагов: исключение промежуточных событий из ПФДО и раскрытие скобок в логическом представлении верхнего события ДО.

Первый шаг реализуется последовательной подстановкой логических элементов ДО (БС и промежуточных событий), находящихся на более низких уровнях, в логические элементы более высоких уровней, вплоть до верхнего события ДО. На втором шаге в полученном логическом выражении верхнего события раскрываются скобки. При этом соблюдается правило транзитивности логического умножения относительно сложения. В результате получаем представление верхнего события в виде дизъюнкции сечений базисных событий ДО. В полученной ДНФ для каждого сечения выполняется проверка: присутствует ли в сечении такое базисное событие, которое повторяется в качестве сомножителя более одного раза. Если подобное имеет место, то повторные сомножители удаляются. По сути данная проверка реализует правило:

$$C * B * B = C * B \quad (4)$$

Применительно к нашему примеру результат первого шага имеет вид:

$$\left\{
 \begin{array}{l}
 G1=(F8*F9) \\
 G2=(F4*F5) \\
 G3=(F7+(F8*F9)) \\
 G4=(F6+(F7+(F8*F9))) \\
 G5=(F3+(F4*F5)) \\
 G6=((F3*(F4*F5))+(F6+(F7+(F8*F9)))) \\
 G7=(F2*((F3*(F4*F5))+(F6+(F7+(F8*F9)))) \\
 G8=(F8*F9) \\
 G9=(F7+(F8*F9)) \\
 G10=((F7+(F8*F9))+((F2*((F3*(F4*F5))+(F6+(F7+(F8*F9)))))) \\
 G11=(F1*((F7+(F8*F9))+((F2*((F3*(F4*F5))+(F6+(F7+(F8*F9)))))))
 \end{array}
 \right.
 \quad (5)$$

Результатом второго шага является выражение:

$$\begin{aligned}
 G_{11} = & F1 * F2 * F3 * F5 + F1 * F2 * F3 * F4 + F1 * F2 * F8 * F9 + F1 * F2 * F7 + F1 * F2 * \\
 & F6 + F1 * F8 * F9 + F1 * F7.
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

Минимизация ДНФ (Процедура «D»)

Задача данной процедуры – исключить из состава ДНФ «неминимальные» («избыточные») сечения, т.е. оставить в составе ДНФ только минимальные сечения. Необходимость минимизации вызвана тем, что значение вероятности верхнего события ДО, вычисленное для ДНФ, содержащей избыточные сечения, будет заведомо завышенным.

Процедура реализуется автоматически применением правила [7]:

$$C + C * D = C \quad (7)$$

где: C и D – конъюнкции БС в составе ДНФ.

Применительно к нашему примеру в ДНФ, описанном выражением (6), сечения $F1 * F2 * F7$ и $F1 * F2 * F8 * F9$ являются избыточными относительно сечений $F1 * F7$ и $F1 * F8 * F9$ соответственно, (согласно правилу (7)), поэтому они могут быть удалены из ДНФ.

Результатом является минимизированная ДНФ, имеющая вид:

$$G_{11} = F1 * F7 + F1 * F8 * F9 + F1 * F2 * F6 + F1 * F2 * F3 * F4 + F1 * F2 * F3 * F5 \quad (8)$$

Расчетная процедура (процедура «E»)

Минимизированная ДНФ является основой для расчетных и аналитических процедур. В данной работе рассмотрим процедуру расчетов вероятности пожара (взрыва), которая реализуется правилом:

$$P(A) = \sum_{q \in Q} P(S_q) \quad (9)$$

$$P(S_q) = \prod_{i_q \in I_q} P(F_{i_q}) \quad (10)$$

где: $P(A)$ – вероятность пожара (взрыва);

$P(S_q)$ – вероятности сечений из минимизированной ДНФ ;

$P(F_{i_q})$ – вероятности БС из ДНФ.

Замечание. Формулы (9), (10) реализуют приближенный расчет вероятности верхнего события, когда значения вероятностей БС не превышают 10^{-3} [8]. Точные значения вероятности можно рассчитать, если предварительно провести ортогонализацию полученной ДНФ [7]. Процедура ортогонализации подробно изложена в [7].

Значения вероятностей БС, на которых основан расчет вероятности пожара (взрыва), оцениваются по методикам, изложенным в ГОСТ 12.1.004-91.

Кроме того, существует подход оценки вероятностей БС, основанный на комбинированном использовании статистических данных и экспертных оценок [9]. Однако, эта проблема выходит за рамки данной работы.

Заключение

В работе предлагается методика применения модели «Дерево отказов» для расчетов вероятностей пожаров (взрывов) на объектах повышенной опасности. Данная методика не противоречит ГОСТ 12.1.004-91 “Пожарная безопасность”, а может быть определенным дополнением к нему, позволяющим обеспечить максимальную наглядность и формализацию причинно-следственных связей между элементарными нежелательными событиями, возникающими на объекте, и последующим возможным пожаром (взрывом).

Прямым назначением модели ДО является расчет вероятности пожара. Дополнительными достоинствами модели являются:

- удобство автоматизированной модификации самой модели ДО (добавление и удаление ветвей и элементов ДО, компилирование новых вариантов ДО на основе созданных ранее типовых ДО);

- высокая степень автоматизации ввода ДО (процедура “В”) и формализации ДО (процедуры “С”, “D”);

- возможность на основе модели ДО выполнять анализ значимости отдельных базисных событий и сечений ДО, а также анализ чувствительности вероятности пожара (взрыва) на вариацию параметров пожаровзрывоопасности.

Пользователями данной методики могут быть: эксперты-аналитики пожаровзрывоопасности; конкретные практические функционеры из личного состава объектов повышенной опасности, отвечающие за пожарную безопасность; инспекторы пожаровзрывобезопасности, контролирующие состояние объектов.

В Институте проблем математических машин и систем НАН Украины проводятся работы по созданию программного комплекса оценки и анализа пожаровзрывоопасности с использованием моделей Дерева отказов и Дерева событий.

1. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. Введ. 14.06.91.
2. Бегун В.В., Горбунов О.В., Каденко И.Н. и др.. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ). НТУУ КПИ, – 2000. – 568 с.
3. Швыряев Ю.В. и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций // Методика выполнения. – М.: ИАЭ им. И.В.Курчатова. –1992. –264 с.
4. Векслер Л.М. Методологические проблемы вероятностного анализа безопасности АЭС. //Атомная техника за рубежом. –1995. – №1.
5. Integrated Reliability and Risk Analysis System (IRRAS). Basic Training Course /NRC/-Washington, 1995. – 720 p.
6. Бегун В.В., Науменко І.М. Безпека життєдіяльності. Міністерство освіти і науки України. Київ. – 2004.
7. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно сложных систем.: С.Петербург: Политехника – 2000.
8. Михалевич В.С., Кнопов П.С., Голодников А.Н. Математические модели и методы оценки риска на экологически опасных производствах // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – №2. С. –121-139.
9. Серебровский А.Н. Подход к созданию базы знаний экспертной системы оценки, прогноза и анализа ситуаций на объектах повышенной опасности. // Математические машины и системы. – 2009. – №4, – С.58–66.

А.Н. Серебровський, В.Г. Пилипенко, Л.П. Ситниченко

ПРО ДОПОВНЕННЯ ГОСТ 12.1.004-91 "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА" МОДЕЛЛЮ ДЕРЕВА ВІДМОВ

Пропонується методика застосування моделі «Дерево відмов» для розрахунків вірогідності пожеж. Дана методика не суперечить ГОСТ 12.1.004-91 “Пожежна безпека”. Вона є певним доповненням до стандарту, забезпечує максимальну наочність і формалізацію причинних зв'язків між елементарними небажаними подіями на об'єкті і подальшою можливою пожежею, створює основу для подальших аналітичних процедур. Користувачами даної методики можуть бути: експерти-аналітики пожежної безпеки; конкретні практичні функціонери з особового складу об'єктів, які відповідають за пожежну безпеку; інспектори пожежної безпеки, що контролюють стан об'єктів.

A.N. Serebrovskiy, V.G. Pilipenko, L.P. Sitnichenko

ABOUT ADDITION TO THE GOST 12.1.004-91 "FIRE SAFETY" WITH MODEL OF FAULT TREE

The technique of the "fault tree" model applying for the calculation of probability of fires is proposed. This method does not contradict with GOST 12.1.004-91 "Fire Safety". It is a particular addition to the standard. Method ensures maximum visibility and the formalization of the causal links between elementary undesirable events at the facility and the possible fire. It provides a basis for further analytical procedures. The users of this technique may be: experts and analysts on fire safety; concrete practical functionaries from staff of objects who are responsible for fire safety; fire safety inspectors, who control objects state.