

## ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ

---

**Abstract:** The approach to the creation of the expert systems, which permit to estimate probabilities of the origin of elementary undesirable (basis) events on the potentially dangerous objects is offered. The Means of creating such expert systems is the method of expert estimation scales (MEES). Created expert system is included in contour of monitoring and operative analysis of safety. Practical significance consists in possibility of automatic calculation of the estimations of current technogenic danger on the basis of data receiving in the result of monitoring causal factors of danger.

**Key words:** accidents, potentially danger objects, causal factors, technogenic danger, expert system of estimation.

**Анотація:** Запропоновано підхід до створення експертних систем, що дозволяють оцінювати імовірності виникнення елементарних небажаних (базисних) подій на потенційно небезпечних об'єктах. Засобом створення таких експертних систем є Метод експертних оцінних шкал (МЭОШ). Створена експертна система включається в контур моніторингу й оперативного аналізу безпеки. Практична значимість полягає в можливості автоматичних розрахунків оцінок поточної техногенної небезпеки на підставі даних, отриманих у результаті моніторингу причинних факторів небезпеки.

**Ключові слова:** надзвичайний стан, потенційно небезпечні об'єкти, причинні фактори, експертні системи оцінки.

**Аннотация:** Предложен подход к созданию экспертных систем, позволяющих оценивать вероятности возникновения элементарных нежелательных (базисных) событий на потенциально опасных объектах. Средством создания таких экспертных систем является Метод экспертных оценочных шкал (МЭОШ). Созданная экспертная система включается в контур мониторинга и оперативного анализа безопасности. Практическая значимость заключается в возможности автоматических расчетов оценок текущей техногенной опасности на основании данных, полученных в результате мониторинга причинных факторов опасности.

**Ключевые слова:** чрезвычайное положение, потенциально опасные объекты, причинные факторы, экспертные системы оценки.

### 1. Введение

Предотвращение чрезвычайных происшествий (аварий) на потенциально опасных объектах является одной из самых актуальных проблем современного производства. Эффективным средством решения проблемы снижения техногенной опасности являются специализированные системы прогноза и минимизации риска. Теоретической основой оценки опасности является Вероятностный анализ безопасности (ВАБ), который получил doskonaльное развитие применительно к объектам атомной энергетики. Передовые технологии ВАБ распространяются Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЭ) во все заинтересованные страны бесплатно. Наиболее известным является пакет программ «Интегрированная система анализа надежности и риска» «Integrated Reliability and Risk Analysis» (IRRAS) [1].

Основными моделями, используемыми в ВАБ, являются логико-вероятностные модели «Дерево отказов» (ДО) и «Дерево событий» (ДС) [2]. Выходной информацией, полученной в результате применения этих моделей, является оценка вероятности возникновения аварии, которая сравнивается с ее допустимым значением, и по результатам сравнения делается заключение о степени возникшей опасности. Входной информацией для ДО и ДС являются вероятности элементарных нежелательных событий (базисных событий), т.е. базисные события (БС) являются основным источником данных для вероятностных оценок техногенной опасности на потенциально опасных объектах (ПОО).

Базисные события (БС) представляют собой:

- отказы отдельных функционально-структурных элементов опасных объектов;
- ошибки персонала;
- события, источниками которых являются различные влияния окружающей среды.

В традиционном ВАБ вероятности БС определяются на основе усредненных данных. Они являются удовлетворительными для оценок опасности проектируемых, новых и модернизируемых объектов, но бесполезны для определения оценок текущих ситуаций, т.к. для того, чтобы оценивать вероятности БС в различных конкретных ситуациях, необходимо установить формализованную связь между ситуациями, возможными на объекте, и вероятностями БС [3]. Одним из путей установления подобных связей могут быть специализированные экспертные системы.

Данная работа посвящена конкретному методу построения и использования экспертных систем для определения вероятностей БС. Метод, получивший название «Метод экспертных оценочных шкал» (МЭОШ) [4–6], включает в себя две составляющие:

- методику формирования информационной основы экспертной системы, состоящей из формализованных знаний экспертов о возможных ситуациях и степени их влияния на вероятность БС;
- правила оценки вероятностей БС в различных текущих ситуациях, возникающих на ПОО.

## 2. Описание информационной основы

Информационная основа включает в себя описание ситуаций, которые могут возникнуть на ПОО, и описание влияний ситуаций на вероятности БС.

### *Описание ситуаций*

Каждая ситуация описывается набором значений причинных факторов, которые влияют на опасность. Факторы могут быть качественными и количественными. Качественный фактор описывается перечнем всех его возможных значений. Количественный – указанием его минимального и максимального значений. Кроме того, область возможных значений факторов разделяется на диапазоны. Диапазоны устанавливаются так, что (с точки зрения эксперта) в пределах каждого диапазона влияние фактора на опасность постоянно. В результате область возможных значений фактора принимает вид экспертной шкалы. Для каждой шкалы устанавливается значение нормы и критическое значение.

Таким образом, каждая ситуация может быть описана вектором

$$(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

где  $x_j$  – одно из возможных значений фактора  $X_j (j = \overline{1, k})$ ;

$k$  – количество факторов, которые влияют на опасность.

В дальнейших рассуждениях будем исходить из следующих ограничений:

- все факторы, которые используются для описания ситуаций, независимы;
- область значения каждого фактора упорядочивается так, что влияние фактора на опасность носит монотонный характер.

### Описание влияния ситуаций на вероятность БС

Функцией влияния фактора на вероятность БС называется соответствие между возможными значениями фактора и вероятностями БС при условии, когда остальные факторы не влияют на возникновение БС. Возможными значениями функции влияния фактора являются вероятности БС. Формирование функций влияния может выполняться на основании экспертных оценок; применением моделей отказов [7]; комплексным использованием данных статистики и Метода анализа иерархий [8]. Функции влияния монотонны. Они могут иметь табличную или аналитическую форму.

Основными структурными элементами информационной основы являются:

- справочник базисных событий  $a_r (r \in R)$ , где  $R$  – множество индексов возможных БС;
- справочник причинных факторов опасности  $X_j (j = \overline{1, k})$ , каждый из которых задается множеством своих возможных значений  $(x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^{n_j})$ , где  $n_j$  – количество возможных значений фактора  $X_j$ ;
- справочник соответствий базисных событий и факторов опасности, с помощью которого каждому базисному событию с индексом  $r$  ставится в соответствие кортеж типа  $(r, J_r)$ , где  $J_r$  – множество индексов факторов, влияющих на возникновение  $a_r$ ;
- база знаний о функциях влияния причинных факторов на вероятности возникновения БС  $f_j^r(X_j)$ .

Описание влияния факторов на возникновение базисных событий может быть представлено продукциями следующего типа.

«Если [ситуация представлена условием:  $(X_{j_0} = x_{j_0}^t)$  и для всех  $j \neq j_0 (X_j = x_j^N)$ ], то вероятность возникновения базисного события  $a_r$  определяется значением функции влияния фактора  $X_{j_0}$  на  $a_r$ , когда фактор равен  $x_{j_0}^t$ ». Здесь  $x_j^N$  – нормальные значения факторов  $X_j (j \neq j_0)$ .

Таким образом, для каждого причинного фактора  $X_j$  в БЗ формируется  $n_j$  кортежей следующего типа  $(r, j, x^t, f_j^r(x^t))$ , где  $x^t$  – одно из  $n_j$  возможных значений фактора  $X_j, j \in J_r, f_j^r(x^t)$  – значение функции влияния фактора  $X_j$  на БС  $a_r$ , когда  $X_j = x^t$ .

### 3. Оценка агрегированного влияния совокупности факторов

Рассмотрим некоторое базисное событие "а" и допустим, что на его возникновение влияют факторы  $X_j (j = \overline{1, k})$ . При этом для каждого фактора  $X_j$  описаны область возможных значений  $(x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^{n_j})$  и его функция влияния  $f_j^a(X_j)$ . Пусть значения факторов для текущей ситуации

равны  $x_j^t$ , т.е. текущая ситуация описана вектором  $(x_1^t, \dots, x_j^t)$ . Задача оценки агрегированного влияния совокупности факторов на вероятность БС может быть поставлена в следующей формулировке.

Определить вероятность БС "а", которое возникает под одновременным влиянием факторов  $X_j$ , когда эти факторы принимают значения  $x_j^t$ .

Вероятность БС можно оценить [5] с помощью выражения

$$P(a) = 1 - \prod_{j=1}^K [1 - f_j(x_j^t)] \quad (1)$$

Таким образом, наблюдая за ситуациями ПОО, можно оценивать текущие значения вероятностей БС.

Результаты, полученные с помощью МЭОШ, могут быть использованы как входные данные для традиционных методов ВАБ. Комплекс методов ДО, ДС и МЭОШ может быть модельно-алгоритмическим базисом для систем прогноза и анализа техногенных аварий. При этом опасность (по критерию вероятности нежелательных событий) моделируется, начиная с этапа ее «зарождения» до реализации аварии.

#### 4. Методика расчета показателей опасности

Исходными данными для расчета показателей опасности ситуаций являются конкретные значения причинных факторов, которые они принимают в оцениваемой ситуации. Авария является результатом случайного процесса развития опасности. При этом имеют место случаи:

- авария является «верхним» событием ДО;
- авария является «конечным» событием одной цепочки опасных событий;
- авария возникает в результате нескольких цепочек опасных событий.

Рассмотрим процесс расчета оценки вероятности аварии, когда она является «верхним» событием ДО.

ДО устанавливает связь между результирующим («верхним») событием и БС, которые на него влияют. Эти БС соединены логическими элементами в определенные параллельные или последовательные сочетания. Существенным понятием является понятие минимального сечения (или просто сечения). Сечение есть комбинация наименьшего числа БС, которая может привести к «верхнему» событию. «Верхнее» событие может быть представлено дизъюнкцией минимальных сечений, то есть

$$A = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_Q, \quad (2)$$

где

$$S_q = a_{q1} \cap a_{q2} \dots \cap a_{qL_q}; \quad (3)$$

$$q = 1, \dots, Q;$$

$a_{ql}$  ( $l = 1, \dots, L_q$ ) – базисные события, составляющие сечение  $S_q$ ;

$L_q$  – количество БС в сечении  $S_q$ .

Вероятность верхнего события определяется выражением

$$P(A) = \sum_{q=1}^Q P(S_q). \quad (4)$$

Вероятность сечения определяется выражением

$$P(S_q) = \prod_{l=1}^{L_q} P(a_{ql}). \quad (5)$$

Подставим (5) в (4) и получим

$$P(A) = \sum_{q=1}^Q \prod_{l=1}^{L_q} P(a_{ql}). \quad (6)$$

Оценку вероятности БС  $a_{ql}$  можно получить из выражения (1). Для этого внесем в него необходимые индексы:

$$P(a_{ql}) = 1 - \prod_{j \in J_{ql}} [1 - f_j^{ql}(x_j)], \quad (7)$$

где  $J_{ql}$  – множество индексов тех факторов, которые влияют на вероятность  $a_{ql}$ ;

$f_j^{ql}(x_j)$  – значение функции влияния фактора с индексом  $j$  на БС  $a_{ql}$ , когда значение фактора равно  $x_j$ .

Подставив (7) в (6), получим выражение для оценки вероятности «верхнего» события ДО:

$$P(A) = \sum_{q=1}^Q \prod_{l=1}^{L_q} \left\{ 1 - \prod_{j \in J_{ql}} [1 - f_j^{ql}(x_j)] \right\}. \quad (8)$$

Правило вывода состоит из следующих шагов.

- Определение текущих значений причинных факторов  $x_1^t, x_2^t, \dots, x_k^t$ . (Выполняется на основании мониторинга текущих ситуаций).
- Определение значений функций влияния  $f_1^r(x_1^t), f_2^r(x_2^t), \dots, f_k^r(x_k^t)$ , соответствующих текущим значениям факторов. Выполняется на основе базы знаний для всех базисных событий  $a_r (r \in R)$ , включенных в дерево отказов анализируемой аварии.
- Вычисление оценки вероятностей базисных событий  $a_r (r \in R)$  с помощью выражения (7)

$$P(a_r) = 1 - \prod_{j=1}^K [1 - f_j^r(x_j^t)].$$

- Расчет оценки вероятности аварии с помощью выражения (8).
- Сравнение полученного значения вероятности аварии с допустимым значением для формирования вывода о степени опасности оцениваемой ситуации.

## 5. Заключение

Предложен подход к созданию экспертных систем, позволяющих оценивать вероятности возникновения элементарных нежелательных (базисных) событий на потенциально опасных объектах.

База знаний подобных экспертных систем хранит и использует формализованные экспертные знания о возможных ситуациях на объектах и о степени влияния ситуаций на вероятности возникновения базисных событий.

Правило вывода является исключительно простым вследствие специфических особенностей элементов базы знаний. Эти особенности заключаются в независимости причинных факторов опасности и монотонности их влияния на вероятности возникновения базисных событий.

Средством создания подобных экспертных систем является Метод экспертных оценочных шкал (МЭОШ).

Созданная экспертная система включается в контур мониторинга и оперативного анализа безопасности.

Особенность данной технологии – наблюдение не за отдельными параметрами, а за ситуацией (совокупностью причинных факторов, влияющих на опасность). Данная технология не является альтернативой традиционному вероятностному анализу безопасности, а дополняет и расширяет его возможности.

Практическая значимость заключается в возможности автоматических расчетов оценок текущей техногенной опасности на основании данных, полученных в результате мониторинга причинных факторов опасности.

Теоретическая значимость – в возможности формирования количественной меры (по критерию вероятности аварии) на пространстве ситуаций, возможных на потенциально опасных объектах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Integrated Reliability and Risk Analysis System (IRRAS). Basic Training Course. NRC. – Washington, 1995. – 720 p.
2. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ) / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко и др. – К.: НТУУ "КПИ", 2000. – 568 с.
3. Серебровский А.Н. О создании интеллектуализированных систем оценки и анализа техногенной опасности // VII-я международная конференция "Интеллектуальный анализ информации". – Киев, 2007. – 15–18 мая.
4. Серебровский А.Н., Рогач В.Д. О формировании информационной основы систем оценки и анализа ситуаций на потенциально опасных объектах // Математичні машини і системи. – 2002. – № 3. – С. 62 – 70.
5. Серебровский А.Н. Об одном методе вероятностного анализа безопасности потенциально опасных объектов // Математичні машини і системи. – 2002. – № 1. – С. 41 – 48.
6. Serebrovsky A.N. Models and algorithms of probabilistic safety assessment of potentially hazardous objects // Вестник национального технического университета "ХПИ". – 2007. – № 6. – С. 127 – 134.
7. Серебровский А.Н. Методы оценки вероятностей отказов в процессах прогнозирования техногенных чрезвычайных происшествий // Математичні машини і системи. – 2007. – № 2. – С. 111 – 116.
8. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 305 с.

*Стаття надійшла до редакції 09.08.2007*