

## МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ СОЗДАНИИ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ

---

**Abstract:** It is proposed approach for creating knowledge base of specialized expert system (ES). ES data are intended for estimation of hazard basic events probabilities. The functions of influence (IF) of causal hazard factors are the main elements of knowledge base. At creating IF the complex of methods is used. They are: the Analytic hierarchy process, failure models, expert estimations.

**Key words:** knowledge base, causal factors, expert system of hazard estimation, Analytic hierarchy process.

**Аннотация:** Пропонується підхід до створення бази знань спеціалізованої експертної системи (ЕС). Дана ЕС призначена для оцінки імовірності базисних подій техногенної небезпеки. Основними елементами бази знань є функції впливу (ФВ) причинних факторів небезпеки. При формуванні ФВ використовується комплекс методів: метод аналізу ієрархій; моделі відказів; експертні оцінки.

**Ключові слова:** база знань, причинні фактори, експертні системи оцінки небезпеки, метод аналізу ієрархій.

**Аннотация:** Предлагается подход к созданию базы знаний специализированной экспертной системы (ЭС). Данная ЭС предназначена для оценок вероятностей базисных событий техногенной опасности. Основными элементами базы знаний являются функции влияния (ФВ) причинных факторов опасности. При формировании ФВ используется комплекс методов: метод анализа иерархий; модели отказов; экспертные оценки.

**Ключевые слова:** база знаний, причинные факторы, экспертная система оценки опасности, метод анализа иерархий.

### 1. Введение

В вероятностном анализе безопасности (ВАБ) [1 – 3] особое место принадлежит элементарным нежелательным событиям (базисным событиям), вероятности возникновения которых являются исходными данными для моделей ВАБ. Проблема оценки вероятностей возникновения базисных событий (БС) является актуальной для реализации мониторинга техногенной опасности на этапе ее зарождения. Вероятности БС зависят от конкретных ситуаций, возникающих на потенциально опасных объектах. Одним из подходов оценки этих вероятностей является создание экспертных систем (ЭС) [4, 5], специализированных по типам аварий и классам ПОО.

Данная работа является продолжением исследования по созданию системных средств приобретения и хранения экспертных знаний о ситуациях, возможных на ПОО, и их влияниях на техногенную опасность для дальнейшего использования этих знаний при оперативном оценивании вероятностей БС.

### 2. Место ЭС в ВАБ

ЭС оценки вероятностей БС, специализированная по типам аварий и классам ПОО, встраивается в контур автоматизированного комплекса, реализующего ВАБ, на “правах” подсистемы.

В режиме “Приобретения” знаний происходит накопление знаний о возможных ситуациях и об их влияниях на возникновение БС.

В режиме “Консультации” выполняется идентификация возникшей конкретной ситуации и затем оценки вероятностей БС в данной ситуации. При этом используются данные, полученные в результате мониторинга ПОО. Полученные оценки вероятности БС экспортируются в традиционные процедуры ВАБ (в качестве исходных данных) для оценок вероятностей возможных аварий и ЧП.

Создание ЭС (в частности, ее базы знаний) – трудоемкий процесс, что осложняет внедрение ЭС в технологию ВАБ. Однако при определенных ограничениях (допустимых и логичных) можно добиться существенного сокращения объема базы знаний (БЗ), упрощения правил вывода и соответственного снижения трудозатрат при создании ЭС ВАБ. Одним из подходов создания подобных ЭС является Метод экспертных оценочных шкал (МЭОШ).

МЭОШ детально описан в работах [6, 7]. Здесь приведем его в кратком виде.

### 3. Метод экспертных оценочных шкал

Сущность МЭОШ в том, что с его помощью можно оценить совокупное влияние независимых причинных факторов опасности на вероятность возникновения БС. БЗ, создаваемая с помощью МЭОШ, включает в себя описание факторов опасности и влияния факторов на вероятности БС. Фактор описан множеством его возможных значений, а влияние фактора на вероятность БС описывается с помощью функций влияния (ФВ). ФВ фактора на БС есть соответствие между возможными значениями фактора и условными вероятностями возникновения БС при условии, что все остальные факторы принимают значения своих норм. Подобная БЗ дает возможность вычислять оценки вероятностей БС, возникающих под одновременным влиянием совокупности независимых факторов.

Главная проблема создания подобной БЗ заключается в формировании функций влияния.

### 4. Формирование функций влияния (ФВ)

Сформировать ФВ фактора  $X_j$  на БС "а" означает установить для каждого возможного значения  $x(t)$  фактора  $X_j$  определенную оценку вероятности возникновения БС "а" в ситуации, когда  $X_j = x_t$ , а все остальные факторы принимают значения своих норм. Источниками формирования ФВ являются:

- данные статистики;
- результаты испытаний, обработанные с помощью моделей отказов [8, 9, 10];
- экспертные оценки.

Формирование ФВ имеет свои проблемы:

– во многих случаях данных статистики о вероятностях БС недостаточно для формирования ФВ по всему спектру значений факторов;

– модели отказов используются только в случаях, когда БС являются отказами технических элементов и узлов. Кроме того, не всегда реально можно проводить испытания при всех интересующих значениях факторов;

– эксперты, даже квалифицированные в предметной области и хорошо знающие проблему, часто затрудняются в установлении конкретных оценок вероятностей БС, хотя достаточно уверенно делают сравнительные оценки возможностей возникновения БС при различных отдельных значениях фактора.

В данной работе предлагается подход приобретения знаний о ФВ, основанный на комбинированном использовании указанных выше источников и Метода анализа иерархий (МАИ).

### Постановка задачи

Рассмотрим фактор  $X$ , возможные значения которого  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Допустим, что априори известно значение ФВ фактора  $X$  при  $X = x_1$ . Обозначим его  $f(x_1)$ . Стоит задача: определить все остальные значения ФВ фактора  $X$ , используя мнение эксперта о сравнительной эффективности влияния фактора  $X$  при его различных значениях.

### 5. Применение МАИ в процессе приобретения знаний о функциях влияния причинных факторов техногенной опасности

Эксперт выполняет попарные сравнения значений фактора  $X$  по критерию степени его влияния на вероятность БС «а» [11]. При этом он заполняет табл. 1. Сравнение выполняется с помощью шкалы относительной важности (табл. 2). Сравнивается относительная важность левых элементов табл. 1 с элементами верхней строки. Если элемент слева важнее, чем верхний элемент, то в клетку (на пересечении строки и столбца) заносится число от 1 до 9, в зависимости от суждения эксперта о степени важности одного левого элемента относительно верхнего элемента.

Таблица 1. Субъективные суждения об относительной важности влияния на БС «а» значений фактора  $X$

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	$x_n$
$x_1$	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$		$\frac{1}{8}$
$x_2$	3	1	$\frac{1}{2}$		
$x_3$	5	2	1		
⋮					
$x_4$	8				1

В противном случае (если верхний элемент важнее левого) в клетку заносится обратное число (дробь). Относительная важность элемента, сравниваемая с самим собою, равна 1. Поэтому диагональ таблицы содержит только единицы. Обратными величинами заполняются симметричные клетки.

Таблица 2. Шкала относительной важности

Оценка относительной важности в баллах	Вербальная оценка эксперта
1	Равная важность
3	Умеренное превосходство одного над другим
5	Существенное или сильное превосходство
7	Значительное превосходство
9	Очень сильное превосходство
2,4,6,8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями
Обратные величины приведенных выше оценок	Если при сравнении двух значений $x_i$ и $x_{i+1}$ получено одно из указанных выше чисел (например, 5), то при сравнении $x_{i+1}$ и $x_i$ получим обратную величину (т.е. 1/5)

Результатом всех парных сравнений является заполненная табл. 1, которая называется матрицей парных сравнений (МПС). В МПС могут содержаться противоречивые экспертные оценки, т.е. внутренняя несогласованность. После того, как МПС составлена, она проверяется на согласованность. Проверка выполняется программными средствами за конечное число шагов. Если элементы матрицы не согласованы, эксперту предлагается выполнить корректировку своих оценок. Если проверка на согласованность дала положительный результат, то на этом участие эксперта заканчивается.

Полученная МПС обладает тем свойством, что ее собственный вектор характеризует приоритетность (по своему влиянию на БС «а») возможных значений фактора  $X$ . Вычисление собственного вектора МПС выполняется по стандартным алгоритмам линейной алгебры.

Обозначим компоненты вычисленного вектора:  $\eta_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ). Каждая компонента характеризует приоритетность соответствующего значения фактора  $X$  по критерию влияния на возникновение БС «а».

Логично сделать предположение: вероятность возникновения БС «а» под влиянием фактора  $X$  (при прочих равных условиях) пропорциональна приоритету влияния фактического значения фактора  $X$ . Покажем это на примере. Допустим, что вычислены приоритеты возможных значений фактора  $X$ :  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ . Выберем два различных значения фактора  $X$ :  $x_\alpha$  и  $x_\beta$  ( $1 \leq \alpha, \beta \leq n$ ). Тогда вероятность БС «а» при  $X = x_\beta$  будет больше вероятности БС «а» при  $X = x_\alpha$  во столько раз, во сколько приоритет  $\eta_\beta$  больше  $\eta_\alpha$ , т.е.

$$P_{X=x_\beta}(a) = P_{X=x_\alpha}(a) * \frac{\eta_\beta}{\eta_\alpha}. \quad (1)$$

В частности, при  $\alpha = 1, \beta = i$

$$P_{X=x_i}(a) = P_{X=x_1}(a) * \frac{\eta_i}{\eta_1}. \quad (2)$$

В терминах функций влияния выражение (2) имеет вид

$$f(x_i) = f(x_1) * \frac{\eta_i}{\eta_1}. \quad (3)$$

Последнее выражение позволяет сформировать ФВ для всех значений фактора  $X$ , основываясь при этом на одном априорно известном значении  $f(x_1)$ , которое назовем «опорным» значением (ОЗ). Таким образом, мы решили поставленную задачу.

Существенной особенностью ОЗ является то, что оно не обязательно должно соответствовать нормальному значению фактора. При установлении ОЗ следует исходить из требования: «Опорное значение функции влияния должно быть максимально достоверным среди всех ее значений». Например, если из данных статистики вероятность возникновения некоторого БС более достоверна при критическом значении фактора  $X$ , чем при нормальном, то в качестве ОЗ следует принимать вероятность БС при критическом значении фактора  $X$ .

Описанный процесс приобретения знаний о влиянии причинных факторов на вероятности возникновения БС представляет собой сочетание следующих типов процедур:

а) формирование совокупности причинных факторов техногенной опасности, установление их возможных значений и выявление БС, на которые влияют факторы;

б) оценка относительной важности отдельных значений факторов по критерию влияния на вероятность возникновения различных БС, результатом которых являются матрицы парных сравнений;

в) проверка согласованности матриц парных сравнений и расчет собственных векторов матриц;

г) установление опорных значений функций влияния (ОЗФВ);

д) вычисление значений функций влияния согласно выражению (3).

Процедура "а" реализуется экспертом и инженером по знаниям.

Процедура "б" реализуется экспертом, использующим метод парных сравнений.

Процедуры "в" выполняются по четким вычислительным алгоритмам.

Процедуры "г" (установление ОЗФВ) включают в себя те же средства, которые используются для определения оценок вероятностей БС, а именно: использование данных статистики, модели отказов и экспертные оценки. Для каждого сочетания (БС, фактор) достаточно установить только одно ОЗ с тем, чтобы затем по описанной технологии определить все остальные значения ФВ.

## 6. Заключение

Предложен подход создания базы знаний специализированной экспертной системы, оценивающей вероятности возникновения элементарных нежелательных событий (базисных событий).

Подобная ЭС, встроенная в автоматизированный контур традиционного анализа безопасности, заменяет экспертов в оперативном мониторинге ситуаций на потенциально опасных объектах.

БЗ содержит знания о причинных факторах опасности и об их влиянии на вероятности возникновения базисных событий.

Теоретическое значение предлагаемого подхода:

– объектами парных сравнений являются не материальные объекты или их качественные характеристики, а эффекты влияния одного и того же фактора опасности при его различных значениях;

– приобретение знаний носит гибридный характер и состоит из различного типа процедур: экспертных оценок относительной важности отдельных значений причинных факторов; вычислительных процедур расчета собственных векторов матриц парных сравнений, установления опорных значений функций влияния с использованием моделей отказов и статистических данных.

Практическое значение подхода заключается в изменении характера экспертных оценок, необходимых при формировании базы знаний о функциях влияния. Вместо прямого установления значений функций влияния (абсолютных значений вероятностей возникновения базисных событий)

эксперту следует выполнять процедуры парных сравнений, в которых он более компетентен. В результате снижается напряженность нагрузки на эксперта и повышается достоверность приобретенных знаний в виде функций влияния, а, следовательно, и достоверность оценок опасности, которые сделаны на основе сформированной базы знаний.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ) / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко и др. – К.: НТУ «КПИ», 2000. – 568 с.
2. Швыряев Ю.В. и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций // Методика выполнения. – М.: ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1992. – 264 с.
3. Хенли Э.Дж., Куамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
4. Серебровский А.Н. Экспертные системы оперативной оценки техногенной опасности // Математичні машини і системи. – 2007. – № 3, 4. – С. 139 – 144.
5. Серебровский А.Н. Проблемы прогнозирования техногенной опасности // Науково-математичний семінар «Декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки як засіб регулювання безпеки». – К.: Держава, 2007. – С. 45 – 49.
6. Serebrovsky A.N. Models and Algorithms of Probabilistic safety assessment of potentially hazardous objects // Вестник национального технического университета «ХПИ». Материалы «6-th International Conference on Information System Technology and Application». – Kharkiv, 2007. – May 23–25. – P. 127 – 134.
7. Серебровский А.Н. Об одном методе вероятностного анализа безопасности потенциально-опасных объектов // Математичні машини і системи. – 2002. – № 1. – С. 41 – 48.
8. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – Логос, 2002. – 486 с.
9. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Основные положения. Модели отказов; Введ. 01.01.99. – К.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 45 с.
10. Серебровский А.Н. Методы оценки вероятностей отказов в процессах прогнозирования техногенных чрезвычайных происшествий // Математичні машини і системи. – 2007. – № 2. – С. 111 – 116.
11. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 305 с.

*Стаття надійшла до редакції 21.03.2008*