

УДК 502.5:510.56

А.Н. Серебровский, канд. техн. наук, ст. науч.
сотр., Ин-т проблем математ. машин и систем
НАН Украины

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ

О.М. Серебровський. Обчислення значимостей впливу факторів техногенної небезпеки. Запропоновано показники значимості причинних факторів техногенної небезпеки: показник, що характеризує вплив фактора на виникнення небажаних подій, які можуть виникати на окремих елементах потенційно-небезпечних об'єктів, і показник, який характеризує вплив фактора на виникнення небезпечних подій (аварій, НП). Запропоновано алгоритми обчислення цих показників значущості.

Ключові слова: фактор алгоритми обчислення цих показників значущості; метод експертних оціночних шкал, база знань, диз'юнктивно-нормальна форма, значимість по Бірнбауму.

А.Н. Серебровский. Вычисление значимостей влияния факторов техногенной опасности. Предложены показатели значимости причинных факторов техногенной опасности: показатель, характеризующий влияние фактора на возникновение нежелательных событий, которые могут возникать на отдельных элементах потенциально-опасных объектов, и показатель, который характеризует влияние фактора на возникновение опасных событий (аварий, ЧП). Предложены алгоритмы вычисления этих показателей значимости.

Ключевые слова: фактор небезпеки, значимість фактора, базисні події, метод експертних оціночних шкал, база знань, диз'юнктивно-нормальна форма, значимість по Бірнбауму.

A.N. Serebrovsky. Calculation of the influence significance of man-made hazard factors. The following influence parameters of man-made hazard factor are proposed: the parameter characterizing the influence of the factor on the occurrence of adverse events at some elements of potentially dangerous objects; and the parameter characterizing the influence of the factor on the occurrence of hazardous events (accidents, emergencies). The algorithms for calculating these parameters are proposed.

Keywords: hazard factor, the significance of the factor, basic events, Method of Expert Evaluative Scales, knowledge base, disjunctive normal form, significance by Birnbaum.

Введение. Для предотвращения опасных событий необходимо выявлять наиболее значимые причинные факторы, влияющие на вероятность возникновения аварий на потенциально-опасных объектах (ПОО). Показатели значимости являются необходимым средством оценки и анализа техногенной опасности.

Цель работы — предложить показатели значимости причинных факторов техногенной опасности и разработать алгоритмы их вычисления для случаев: когда объектом влияния факторов являются нежелательные события, возникающие на отдельных элементах ПОО (базисные события); когда объектами влияния являются опасные события (аварии), возникающие вследствие определенных сочетаний базисных событий (БС).

Определение значимости фактора (ЗФ) в возникновении БС. Выделяются следующие случаи определения ЗФ на основании экспертных оценок, статистики БС, номинальных и ситуационных вероятностей БС.

Экспертные ЗФ устанавливаются на основе экспертных оценок об относительной роли фактора в вероятности возникновения конкретного БС. При этом возможно как прямое установление оценок значимости, так и применение метода анализа иерархий (составление матрицы парных сравнений, вычисление собственных значений полученной матрицы) [1].

Как известно, статистическая значимость фактора X в возникновении события a определяется при наличии статистики возникновения БС для различных значений фактора с помощью выражения [2]

$$Z_u^a(X) = F^a(x^{KP}) - F^a(X^N), \quad (1)$$

где $F^a(x^{KP})$, $F^a(X^N)$ — частота возникновения события a для условий, когда фактор X принимает критическое и нормальное значения, соответственно.

Рассмотрим логическую основу вычисления номинальной и ситуационной значимости фактора в возникновении базисного события.

Известен метод экспертных оценочных шкал (МЭОШ) [3, 4]. Приведем его краткое описание. МЭОШ реализует две функции: формирование базы знаний (БЗ), позволяющей формализовать описание возможных ситуаций на объекте, и вычисление оценок вероятностей БС. БЗ включает в себя описания факторов и их влияний. Каждый фактор представлен множеством его упорядоченных возможных значений. Влияние фактора определяется функцией влияния (ФВ). ФВ фактора X_j на базисное событие a_i есть соответствие между возможными значениями фактора и условными вероятностями возникновения базисного события при условии, что все остальные факторы принимают значения своих норм. Таким образом, для каждой пары: [“фактор X_j ”, БС “ a_i ”] в базе знаний формируется L_j кортежей

$$(i, j, x_j^{l_j}, f_j^i(x_j^{l_j})) \quad (2)$$

где j — индекс фактора X_j ($j=1, 2, \dots, M$);

L_j — количество возможных значений фактора X_j ;

i — индекс БС a_i ($1, 2, \dots, n$);

$x_j^{l_j}$ — одно из возможных значений фактора X_j ($j=1, 2, \dots, L$);

$f_j^i(x_j^{l_j})$ — значение ФВ фактора X_j на вероятность события a_i при условии

$$(X_j = x_j^{l_j}) \cap (\forall_{q \neq j} X_q = x_q^N), \quad (3)$$

x_q^N — значение нормы фактора X_q .

Подобная БЗ позволяет вычислять оценки вероятности БС a_i , возникшего при совокупном влиянии независимых факторов $\{X_j\}$ ($j = \overline{1, M}$) в ситуации, когда

$$X_1 = x_1^C; X_2 = x_2^C; \dots; X_M = x_M^C, \quad (4)$$

где $X_j^C, j = \overline{1, M}$ — значения факторов в оцениваемой ситуации.

Оценка вероятности БС a_i определяется с помощью выражения [3,4]:

$$P(a_i) = 1 - \prod_{j=1}^M [1 - f_j^i(x_j^C)]. \quad (5)$$

Определим номинальную значимость фактора X в возникновении БС a_i . Необходимым условием вычисления номинальной значимости является создание базы знаний, содержащей описание факторов X_j ($j = \overline{1, M}$) и их ФВ $f_j^i(x_j^l)$ ($l = \overline{1, L_j}$) на БС $\{a_i\}$ ($i = \overline{1, n}$) (условие А).

Номинальная значимость $Z_N^{a_i}(X)$

$$Z_N^{a_i}(X) = f_X^{a_i}(x^{KP}) - f_X^{a_i}(x^N), \quad (6)$$

где $f_X^{a_i}(x^{KP})$, $f_X^{a_i}(x^N)$ — значения ФВ фактора X на возникновение БС a_i , при условии, когда фактор X принимает критическое и нормальное значения соответственно.

Вычисление ситуационной значимости фактора X_K в возникновение БС a_i .

Необходимыми условиями вычисления ситуационной значимости являются:

— условие А;

— описание ситуации (по результатам мониторинга), в которой находится ПОО, т.е. установление ситуационных значений факторов (x_1^C, \dots, x_M^C) (условие В).

Ситуационная значимость фактора X_K в возникновении БС a_i

$$Z_C^{a_i}(X_K) = P^{KP}(a_i) - P^N(a_i), \quad (7)$$

где $P^{KP}(a_i) = 1 - \prod_{j \in \{(1, M) \setminus K\}} [1 - f_j^i(x_j^C)] \times [1 - f_K^i(x_K^{KP})];$ (8)

$$P^N(a_i) = 1 - \prod_{j \in \{(1, M) \setminus K\}} [1 - f_j^i(x_j^C)] \times [1 - f_K^i(x_K^N)]; \quad (9)$$

$f_K^i(x_K^{KP})$, $f_K^i(x_K^N)$, $f_j^i(x_j^C)$, x_j^C — значения функции влияния фактора X_K на возникновение

БС $a_i (i = \overline{1, n})$ при критическом, нормальном и ситуационном значениях, соответственно.

Примечание. В случае допущения, что x_K^{KP} и x_K^N соответствуют правой и левой границам интервала возможных значений фактора X , т.е. когда $f_X^{a_i}(x_K^{KP}) = 1$, $f_X^{a_i}(x_K^N) = 0$, выражение (7) представляет собой ЗФ X в возникновении БС a_i по Бирнбауму [2]. Таким образом, ЗФ по Бирнбауму является частным случаем ЗФ, выраженной через ФВ.

Выполним определение ЗФ X_K в возникновении аварии. Предварительными действиями необходимыми для этого являются:

— выполнение условий А,

— создание модели аварии в дизъюнктивно-нормальной форме (ДНФ), переменными которой являются БС $a_i (i = \overline{1, n})$ [5]

$$C = G(\{a_i\} (i = \overline{1, n})), \quad (10)$$

где C — авария (опасное событие);

G — логическая функция в виде ДНФ опасного события;

$\{a_i\} (i = \overline{1, n})$ — БС на элементах ПОО;

— построение аналитической функции вероятности аварии (на основании (10))

$$P_C = Q[P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_n)]. \quad (11)$$

Процедура определения значимости фактора в возникновении аварии состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Вычисление значений вероятностей каждого БС $a_i (i = \overline{1, n})$ при двух условиях, когда фактор X_K принимает критическое и нормальное значения [6]. Вычисления выполняются с помощью выражений (8), (9).

Шаг 2. Вычисление значений вероятности аварии при критическом и нормальном значениях фактора X_K . Для этого используется функция $Q(\{P(a_i)\} (i = \overline{1, n}))$ (11), в которую в качестве аргументов подставляются $P^{KP}(a_i)$ и $P^N(a_i)$, определенные на шаге 1.

$$P_C^{KP} = Q[\{P^{KP}(a_i) \mid a_i = \overline{1, n}\}], \quad (12)$$

$$P_C^N = Q[\{P^N(a_i) \mid a_i = \overline{1, n}\}]. \quad (13)$$

Шаг 3. Вычисление ситуационной значимости фактора X_K в возникновении аварии

$$Z_C^S(X_K) = P_C^{KP} - P_C^N. \quad (14)$$

Выводы. Предложены показатели значимости влияния причинных факторов техногенной опасности на возникновение отказов отдельных элементов системы и системы в целом а также приведены алгоритмы вычисления этих значимостей.

Показано, что значимость фактора по Бирнбауму является частным случаем функций влияния, используемых в методе экспертных оценочных шкал.

Практическое значение данной работы состоит в том, что предлагаемые показатели значимости могут быть использованы в процессе анализа причинных факторов техногенной опасности при поддержке принятия решений по предотвращению аварий и ЧП на потенциально-опасных объектах.

Предлагаемые алгоритмы вычисления показателей значимости могут быть использованы разработчиками: ситуационных центров по чрезвычайным ситуациям; автоматизированных систем оценки и анализа техногенного риска потенциально опасных объектов; гибридных экспертных систем анализа и предотвращения техногенного риска.

Литература

1. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
2. Birnbaum, Z.W. On the importance of different components in a multi-component system. *Multivariate Analyses* — 2 / Z.W. Birnbaum. — N.Y.: Academic Press, 1969. — p. 581 — 592.
3. Серебровский А.Н. Об одном методе вероятностного анализа безопасности потенциально-опасных объектов [A method of probabilistic safety analysis of potentially dangerous objects] / А.Н. Серебровский // Математические машины и системы. — 2002. — № 1. — С. 41 — 48.
4. Serebrovsky, A.N. Models and Algorithms of Probabilistic safety assessment of potentially hazardous objects/ A.N. Serebrovsky // Вестник нац. техн. ун-та “ХПИ”. — Матер. “6-th Int. Conf. on Inform. System Technology and Application”. Kharkiv, may 23-25, 2007. — P. 127 — 134.
5. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ) / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, И.Н. Каденко и др. — К.: НТУУ “КПИ”, 2000. — 568 с.
6. Серебровский, А.Н. Об использовании вероятностно-физических моделей для оценки вероятностей элементарных событий порождающих техногенную опасность / А. Серебровский, В. Стрельников // Математические машины и системы. — 2007. — № 1. — С. 137 — 143.

References

1. Saati T.L. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy [Decision-making. The method of analysis of hierarchies] / T.L. Saati. — Moscow, 1989. — 316 p.
2. Birnbaum, Z.W. On the importance of different components in a multi-component system. *Multivariate Analyses* — 2 / Z.W. Birnbaum. — N.Y.: Academic Press, 1969. — pp. 581 — 592.
3. Serebrovskiy, A.N. Ob odnom metode veroyatnostnogo analiza bezopasnosti potentsial'no-opasnykh objektov [On a method of probabilistic analysis of safety of potentially hazardous objects] / A.N. Serebrovskiy // Matematicheskie mashiny i sistemy [Mathematical machines and systems]. — 2002. — # 1. — pp. 41 — 48.
4. Serebrovskiy, A.N. Models and Algorithms of Probabilistic safety assessment of potentially hazardous objects / A.N. Serebrovskiy // Vestnik natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta “KhPY”. — Mater. “6-th Int. Conf. on Inform. System Technology and Application”. Kharkiv, May 23-25, 2007. — pp. 127 — 134.
5. Veroyatnostnyy analiz bezopasnosti atomnykh stantsiy (VAB) [Probabilistic safety analysis of nuclear power plants] / V.V. Begun, O.V. Gorbunov, Y.N. Kadenko et al. — Kyiv, 2000. — 568 p.
6. Serebrovskiy, A.N. Ob ispol'zovanii veroyatnostno-fizicheskikh modeley dlya otsenki veroyatnostey elementarnykh sobytiy porozhdayushchikh tekhnogennuyu opasnost' [On the use of probabilistic and physical models to assess the probability of elementary events generating technological hazards] / A. Serebrovskiy, V. Strel'nikov // Matematicheskie mashiny i sistemy [Mathematical machines and systems]. — 2007. — # 1. — pp. 137 — 143.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Гогунский В.Д.

Поступила в редакцию 22 апреля 2013 г.