

УДК 614.8.084:517.8

Оценка экологического риска с помощью нечетких моделей

Серета С.Н.

Вероятностный анализ безопасности широко применяется в системном анализе для решения практических задач оценки и обеспечения безопасности различных технологических процессов и систем. При этом используется модель дерева происшествий, отображающая причинно-следственные связи между рассматриваемым головным событием (аварией, несчастным случаем, катастрофой) и исходными предпосылками его возникновения. Часто при прогнозировании безопасности вновь проектируемых объектов значения вероятностей предпосылок точно не известны из-за отсутствия теоретических моделей оценки априорных вероятностей или недостатка статистических данных. Кроме того, они могут быть представлены интервальными величинами, или лингвистическими (словесными) качественными характеристиками предпосылок-причин аварийности. В этом случае применяются нечеткие модели оценки безопасности и экологического риска. При нечетком описании предпосылок показатель интервала задания нечеткой величины является одновременно и критерием достоверности оценки безопасности. Поскольку увеличение коэффициентов размаха приводит к росту неопределенности значения вероятности и соответственно к снижению степени достоверности оценки. Целью работы является определение характера изменения критерия достоверности при изменении параметров нечетко заданных величин в модели дерева происшествий. Приводятся результаты анализа, подтверждающие возможность применения нечетких моделей для анализа безопасности процессов и систем на приемлемом уровне достоверности.

Ключевые слова: модель системы, дерево происшествий, вероятность события, нечеткое множество.

Estimation of the ecological risk with fuzzy models

Sereta S.N.

This work is devoted to the system analysis of the possibility of the application of the fuzzy set and models for the estimation of the ecological risk and the system safety. Probabilistic safety analysis is widely used in system analysis for solution of practical tasks of assessment and protection of various processes and systems. In this case it uses a model of a tree incident, showing the causal relationships between the leading event (accident, catastrophe) and their basic assumptions of its occurrence. Often when predicting the safety of the newly designed objects, the values of the probabilities of the prerequisites are not known precisely due to the lack of theoretical models to assess a priori probabilities or the lack of statistic data. In addition, they can be represented interval values, or linguistic (verbal) qualitative characteristics of the background-the causes of the accidents. Therefore, the fuzzy model for evaluation of safety and environmental risk are often used. The interval description indicator of fuzzy values is both a criterion of reliability of the safety assessment. Since an increase in the interval leads to increased uncertainty probabilities, and thus to reduce the degree of reliability of the assessment. Purpose of the work is definition of the character of changes of the criterion of reliability of the changing parameters of the fuzzy set values in the model tree incident. Also the results of the analysis confirm the possibility of application of fuzzy models for the analysis of safety processes and systems at an acceptable level of confidence are given.

Keywords: the model of the system, the evidence tree, the probability of the event, fuzzy set.

Введение

Концепция устойчивого развития, принятая в современном мире в качестве стандарта де-факто, определяет необходимость эколого-экономического обоснования любой проект-

ной деятельности, создания сложных человеко-машинных систем (ЧМС) и антропогенного воздействия на окружающую среду. Поэтому обеспечение безопасности сложных систем на всех этапах жизненного цикла яв-

ляется актуальной задачей с целью снижения риска возникновения происшествий, аварий и катастроф техногенного характера. Системный синтез требуемого уровня безопасности ЧМС основан на априорной оценке показателей аварийности и экологического риска, составляющей методiku вероятностного анализа безопасности (ВАБ) [8]. Методика ВАБ широко применяется в системном анализе для решения практических задач оценки и обеспечения безопасности различных технологических процессов и систем [1,2,5]. Ключевыми показателями систем, характеризующими уровень их безопасности и возможного риска возникновения чрезвычайных ситуаций, являются вероятности возникновения аварийных ситуаций, показатели надежности, прогнозируемый ущерб от происшествий и затраты на обеспечение должного уровня безопасности систем. С другой стороны наряду с усредненными интегральными показателями безопасности систем интерес представляют такие динамические характеристики как время наступления аварии с момента запуска системы и закон распределения случайной величины – времени между двумя последовательными авариями [9, 10], статистические зависимости между вероятностями предпосылок и ущербом [6,7], пространственно-временные параметры эколого-экономического риска [4]. Методологической основой моделирования происшествий в техносфере являются методы диаграмм влияния (деревья происшествий и исходов, графы аварийности и травматизма и стохастические сети) [3]. На практике в рамках ВАБ исследуемый процесс представляется моделью дерева происшествий, отображающей причинно-следственные связи между рассматриваемым головным событием (аварией, несчастным случаем, катастрофой) и исходными предпосылками его возникновения. Применение методов системного анализа при оценке уровня безопасности позволяет учесть особенности технологии,

надежность оборудования, условия среды и человеческие факторы, модели которых в основном имеют вероятностное описание. На практике при прогнозировании безопасности вновь проектируемых объектов значения вероятностей предпосылок часто точно не известны из-за отсутствия теоретических моделей оценки априорных вероятностей или недостатка статистических данных. Кроме того, они могут быть представлены интервальными величинами, или лингвистическими (словесными) качественными характеристиками предпосылок-причин аварийности. В этом случае применяются нечеткие модели оценки безопасности и экологического риска.

1. Математическая модель

Применяя математический аппарат нечетких множеств вероятности предпосылок – причин возникновения событий представляются нечеткими величинами вида $p=(m; \alpha; \beta)$, функция принадлежности $\mu(p)$ которых является непрерывной, выпуклой, унимодальной функцией, для описания которой применяется LR-аппроксимация. В качестве аппроксимирующей функции часто применяют треугольную функцию.

$$\mu(p) = \begin{cases} L\left(\frac{m-p}{\alpha}\right) = \frac{1}{1 + \left|\frac{m-p}{\alpha}\right|}, & p < m \\ R\left(\frac{p-m}{\beta}\right) = \frac{1}{1 + \left|\frac{p-m}{\beta}\right|}, & p \geq m \end{cases} \quad (1)$$

где m – модальное значение нечеткой величины;

α, β – коэффициенты размаха нечеткой величины относительно ее модального значения. Для симметричной функции принадлежности $\alpha=\beta$. Таким образом, значение вероятности предпосылки заключено в интервале $[m-\alpha, m+\beta]$.

Значения коэффициентов размаха α, β можно определить априорно из условия, что вероятность появления нечеткой величины,

отклоняющейся от модального значения более чем на 50%, не превысит некоторого заданного уровня значимости, например, 10%. Тогда, из формулы (1) получим

$$\frac{1}{1 + \left| \frac{m-p}{\alpha} \right|} = \frac{\alpha}{\alpha + 0,5m} \leq 0,1, p = 0,5m \quad (2)$$

Откуда $\alpha = \beta = 0,0556m$, что примерно равно 5% от модального значения.

При нечетком описании предпосылок показатель интервала задания нечеткой величины является одновременно и критерием достоверности оценки безопасности. Поскольку увеличение коэффициентов размаха приводит к росту неопределенности значения вероятности и соответственно к снижению степени достоверности оценки.

2. Постановка задачи исследования

Допустим, что исходные предпосылки в модели дерева происшествий заданы нечеткими величинами с интервалами определения согласно условию (2). Очевидно, что преобразование нечетких величин согласно операциям алгебры логики на основе вероятностного подхода приведет к изменению интервала определения нечетко заданной вероятности головного события $Q(X)$. Как следствие, изменение интервала должно вызывать изменение значения критерия достоверности прогноза. График зависимости $P(\alpha)$, определенный по (2), представлен на рис. 1.

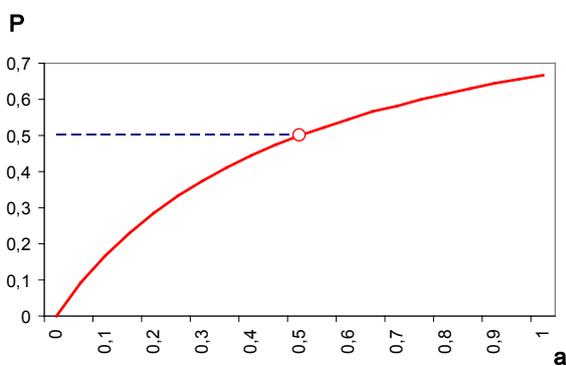


Рис. 1. График зависимости $P(\alpha)$.

При определенных условиях (некоторая структура модели дерева происшествия) может оказаться, что вероятность появления случайной нечеткой величины, отклоняющейся от модального значения более чем на 50%, характеризующей головное событие, превысит 50%, делая тем самым модельную оценку абсолютно недостоверной.

Таким образом, целью исследования является определение характера изменения критерия достоверности при изменении параметров нечетко заданных величин в модели дерева происшествий.

3. Результаты моделирования

Для оценки вероятности возникновения головного события на основе модели дерева происшествий при нечетких описаниях предпосылок будем использовать логические операции нечеткими величинами $p_1 = (m_1; \alpha_1; \beta_1)$, $p_2 = (m_2; \alpha_2; \beta_2)$.

А) произведение двух нечетких величин

$$Q(X) = (m_x; \alpha_x; \beta_x) = p_1 \cdot p_2 = \quad (3)$$

$$= (m_1; \alpha_1; \beta_1) \cdot (m_2; \alpha_2; \beta_2) =$$

$$(m_1 \cdot m_2; \alpha_1 \cdot m_2 + \alpha_2 \cdot m_1; \beta_1 \cdot m_2 + \beta_2 \cdot m_1),$$

Б) сумма двух нечетких величин

$$Q(X) = (m_x; \alpha_x; \beta_x) = p_1 + p_2 = \quad (4)$$

$$= (m_1; \alpha_1; \beta_1) + (m_2; \alpha_2; \beta_2) =$$

$$= (m_1 + m_2 - m_1 \cdot m_2; \alpha_1 \cdot (1 - m_2) +$$

$$+ \alpha_2 \cdot (1 - m_1); \beta_1 \cdot (1 - m_2) + \beta_2 \cdot (1 - m_1)).$$

Полагая $\alpha_1 = \beta_1 = \delta_1 \cdot m_1$ и $\alpha_2 = \beta_2 = \delta_2 \cdot m_2$, и подставив в (3) и (4), имеем для произведения двух нечетких величин $\alpha_x = \beta_x = (\delta_1 + \delta_2) \cdot m_1 \cdot m_2$, для суммы двух нечетких величин $\alpha_x = \beta_x = \delta_1 \cdot m_1 + \delta_2 \cdot m_2 - (\delta_1 + \delta_2) \cdot m_1 \cdot m_2$. Это приводит к изменению диапазона значений коэффициентов размаха $[\alpha_x, \beta_x]$.

Анализ результатов моделирования показывает, что увеличение интервала неопределенности α_x в сравнении с исходным α_1 наблюдается в области больших значений для операции конъюнкции (рис. 2а) и в области малых значений для операции дизъюнкции (рис. 2б). Относительно модальных величин

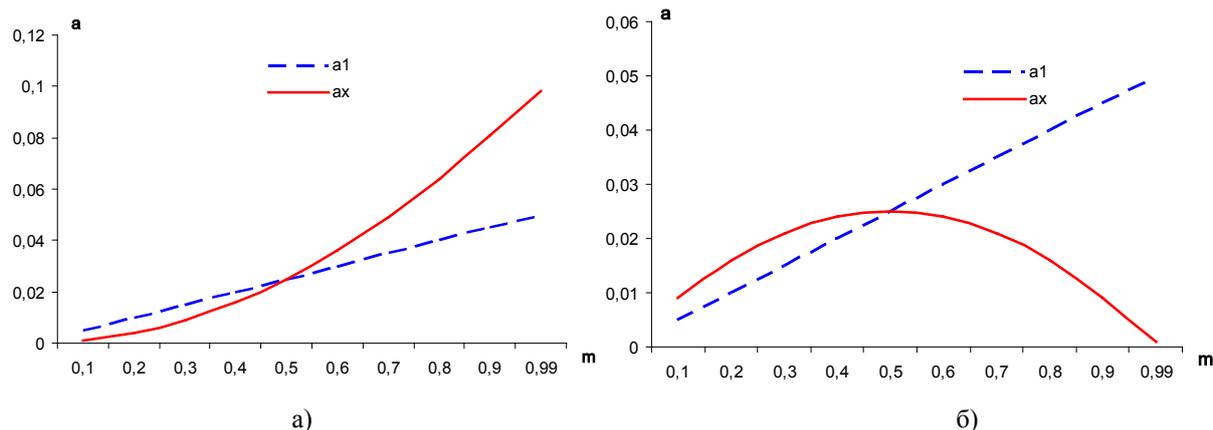


Рис. 2. График изменения коэффициента размаха $\alpha(m)$
а) для оператора AND; б) для оператора OR.

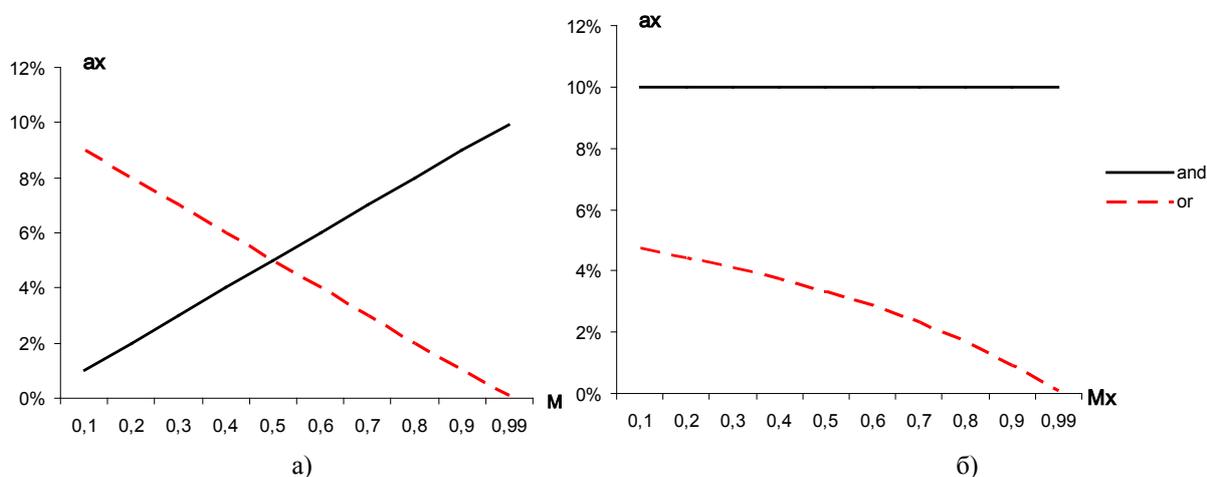


Рис. 3. Графики изменения коэффициента размаха а) $\alpha_x(m)$; б) $\alpha_x(m_x)$.

исходных предпосылок m изменение коэффициента размаха α_x линейно возрастает для операции AND и линейно убывает для операции OR (рис. 3а). Однако относительно моды результата операции эта зависимость носит постоянный характер для конъюнкции, определяя значение константы как сумму двух исходных коэффициентов ($\delta_1 + \delta_2$). А в случае операции дизъюнкции наблюдается наоборот квадратичное уменьшение интервала неопределенности.

Опасное увеличение коэффициента размаха нечеткого числа α_x до порогового значения 0,5, когда критерий достоверности оценки достигает 50% возможно при условии, что в структуре дерева происшествий имеются 10 предпосылок, характеризующих событие,

возникающее только при совместном появлении предпосылок. При этом, модальное значение такого события близко к нулю, что характеризует его как практически невозможное. Следовательно, применение нечетких моделей при анализе безопасности процессов и систем дает вполне достоверную оценку прогнозируемых параметров безопасности и экологического риска.

С целью повышения достоверности оценки для снижения ширины интервала неопределенности нечетких величин можно дать следующие рекомендации:

1) для исходных предпосылок использовать более точное задание интервала $[m - \alpha, m + \beta]$, например, по уровню значимости 1% и менее в формуле (2);

2) использовать для описания функций принадлежности вместо треугольной функции, аппроксимацию в виде экспоненциальной функции или функции Гаусса.

Заключение

Таким образом, с позиций системного подхода в работе были даны некоторые рекомендации по математическому моделированию и анализу безопасности процессов и систем с помощью нечетких моделей, которые дополняют широко применяемую на практике методику вероятностного анализа безопасности.

Литература

1. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Круглов В.И. и др. Безопасность и надежность технических систем: Учебное пособие. – М.: Логос, 2004. – 376 с.
2. Антонов А.В. Системный анализ. Математические модели и методы. – Обнинск: ИАТЭ, 2002. – 114 с.
3. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М.: Академия, 2003. – 512 с.
4. Мусихина Е.А. Пространственно-временная модель оценки эколого-экономического риска // Информационные системы и технологии, 2012, №4. – С. 46-52.
5. Острейковский В.А. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. – М.: Физматлит, 2008. – 349 с.
6. Острейковский В.А., Шевченко Е.Н. Модель техногенного риска с учетом зависимости между вероятностью исходных событий и ущербом // Современные проблемы науки и образования, 2012, № 4; URL: www.science-education.ru/104-6774.
7. Переждчиков И.В. Анализ опасностей промышленных систем человек-машина-среда и основы защиты: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2011. – 784 с.
8. РД 03-418-01. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Документы

межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности, охраны недр. – Госгортехнадзор России, 2001. – 20 с.

9. Сепеда С.Н. Оценка параметров моделей систем обеспечения безопасности // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2011, № 1. – С.10-13.

10. Сепеда С.Н. Оптимизация показателей безопасности технологических процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2011, № 2. – С. 26-30.

References

1. Aleksandrovskaya L.N., Aronov I.Z., Kruglov V.I. Safety and Reliability of technical systems. – Moscow: Logos, 2004. – 376 p.
2. Antonov A.V. System Analysis. Mathematical models and methods. – Obninsk: IATE, 2002. – 114 p.
3. Belov P.G. System analysis and modeling of the dangerous processes in techosphere. – M.: Academia, 2003. – 512 p.
4. Musichina E.A. Time-space model of the estimation of the ecology-economical risk // Information systems and technologies, 2012, № 4. – P. 46-52.
5. Ostreikovskiy V.A. The probability analysis of the AES safety. – Moscow: Phismatlit, 2008. – 349 p.
6. Ostreikovskiy V.A., Shevchenko E.N. The risk model considering the dependencies between the probability of initial events and ущербом // Modern problems of science and education, 2012, № 4; URL: www.science-education.ru/104-6774.
7. Perezdchikov I.V. The Analysis of the dangerous of industrial systems men-machine-environment and the defense base. – M.: CNO-RUS, 2011. – 784 p.
8. RD 03-418-01. Methodical recommendations to the risk analysis of the dangerous производственных objects. Documents of interfiled application on the application of the safety engineering. Gostechnadzor of Russia, 2001. – 20 p.

9. *Sereda S.N.* The model parameters estimation of the environmental safety systems // *Engineering industry and life safety*, 2011, № 1. – P. 10-13.

10. *Sereda S.N.* Optimization of the technological processes safety indicators // *Engineering industry and life safety*, 2011, № 2. – P. 26-30.

Статья поступила в редакцию 27 июня 2013 г.

Середа Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: sereda-2010@mail.ru

Sereda Sergey Nikolaevich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: sereda-2010@mail.ru