

Середа С.Н.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail:sns\_murom@mail.ru*

### **Некоторые аспекты качественной оценки безопасности систем**

Системный анализ безопасности технологических процессов и систем заключается в оценке показателей аварийности и производственного травматизма, а также экологического риска. В анализе безопасности широко используется модель дерева происшествий, отображающая причинно-следственные связи между рассматриваемым происшествием (аварией, несчастным случаем, катастрофой) и исходными предпосылками его возникновения. Количественный анализ модели дерева происшествий дает оценку априорной вероятности возникновения происшествий  $Q(X)$ , как интегральной характеристики безопасности. Качественный анализ модели позволяет, с одной стороны, выявить наиболее значимые и критичные предпосылки – причины аварийности и травматизма, а с другой стороны определить наборы минимальных пропускных (МПС) и отсечных (МОС) сочетаний предпосылок, характеризующих условия появления или предотвращения происшествия. Это позволяет определить экономические стратегии повышения безопасности процессов и систем, определяемые затратами на проведение мероприятий и мерой снижения вероятности возникновения происшествия за счет снижения вероятностей значимых и критичных предпосылок, образующих множество альтернатив для принятия решений [5].

При поведении качественного анализа безопасности по модели дерева происшествий возникают следующие проблемы:

1. Проблема определения значимых и критичных предпосылок. Основные подходы к выявлению значимых и критичных предпосылок были определены в работе [1], а их системный анализ был дан в работе [2], где приводится обоснование правильности применения показателя Бирнбаума в качестве критерия сравнения альтернатив, который характеризует динамический диапазон изменения и скорость роста функции вероятности  $Q(X)$ . Также следует отметить альтернативные подходы к оценке степени влияния предпосылок на возникновение происшествия, весом, значимостью и структурным риском, предложенные в работе [3]. Из представленных результатов исследований можно заключить, что именно критичные предпосылки определяют возможности максимального снижения вероятности возникновения происшествия, тогда как значимые предпосылки характеризуют лишь превентивные меры предотвращения негативных событий. Наибольшего эффекта можно достичь проведением мероприятий по совершенствованию безопасности в отношении предпосылок, являющихся одновременно и значимыми, и критичными [4].

2. Проблема определения минимальных пропускных и минимальных отсечных сочетаний. Пропускные сочетания (аварийные) определяют условия возникновения происшествий, а отсечные сочетания формируют условия предупреждения происшествий. Сочетания предпосылок формируются с учетом структуры модели дерева происшествий. Для формирования полного набора сочетаний МПС, МОС по заданному дереву происшествий предлагается использовать методику, которая заключается в записи математической модели дерева происшествий в терминах алгебры событий с последующим преобразованием формулы по правилам минимизации логических функций, представленных в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы, где каждая группа предпосылок, объединенных операцией конъюнкции, образует пропускное сочетание (или отсечное, в случае инверсии логической функции). На основе полученных наборов МПС и МОС строятся эквивалентные модели деревьев происшествий. Вероятность возникновения происшествия  $Q(X)$  определяется по дереву происшествий с учетом алгебры событий и теорем

умножения и сложения теории вероятностей, связывающих логическое описание с вероятностным. Например, оценку вероятности появления хотя бы одного из двух несовместных событий можно представить в виде

$$p(1 \vee 2) = p_1 \vee p_2 = p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2 = p_1 + (1 - p_1) \cdot p_2 = p_1 + q_1 \cdot p_2 = \quad (1)$$

$$= p_1 \cdot (1 - p_2) + p_2 = p_1 \cdot q_2 + p_2$$

Оценка вероятности возникновения происшествия  $Q(X)$  по эквивалентным деревьям проводится по формулам (2) (для МПС) и (3) (для МОС) [1]

$$Q(x) = 1 - \prod_{i=1}^a \left( 1 - \prod_{j=1}^{m_i} p_{ij} \right), \quad (2)$$

$$Q(x) = \prod_{k=1}^b \left( 1 - \prod_{l=1}^{n_k} (1 - p_{lk}) \right), \quad (3)$$

где  $a, b$  – количество МПС и МОС;  $m_i, n_k$  – число предпосылок в каждом  $i$ -м пропускном и  $k$ -м отсеком сочетаниях исходных событий-предпосылок.

Рассмотрим пример логической функции, определяющей простую модель дерева происшествий

$$X = (p_1 \vee p_2) \wedge (p_3 \vee p_4).$$

Расчет вероятности возникновения происшествий для МПС и МОС по формулам (2), (3) при следующих значениях вероятностей предпосылок:  $p_1=0,5$ ;  $p_2=0,4$ ;  $p_3=0,6$ ;  $p_4=0,7$  дает значение  $Q_{mps}(X)=0,751$  и  $Q_{mos}(X)=0,616$  при этом результаты расчета содержат погрешность 22%. Величина погрешности  $E$  зависит от значений предпосылок  $p_i$ , а также от структуры дерева происшествий и при определенных условиях она достигает 100%. При этом, в большинстве случаев расчет вероятности  $Q_{mos}(X)$  по формуле (2) не позволяет получить каких-либо адекватных результатов, как, например, для логической функции  $X = (p_1 \wedge p_2) \vee (p_3 \wedge p_4)$ . Расчетное значение вероятности  $Q(X)=0,4375$  при значениях вероятностей предпосылок  $p_i=0,5$ , при этом расчет  $Q_{mos}(X)=0,3164$  дает погрешность 38%; при значениях вероятностей предпосылок  $p_i=0,01$ ,  $Q(X)=2 \cdot 10^{-4}$ , и  $Q_{mos}(X)=1,568 \cdot 10^{-7}$ , что меньше искомого в 1275 раз. Соответственно, величина погрешности при вычислении  $Q_{mos}(X)$  растет в геометрической прогрессии относительно уменьшения значений  $p_i$ , что приводит к абсолютно некорректным результатам.

Для простых логических функций, не требующих раскрытия скобок при их преобразовании и упрощении, формулы (2), (3) работают корректно. В противном случае, в выражение вносится погрешность, обусловленная игнорированием дополнительных слагаемых, получаемых в процессе вычислений с учетом (1). Таким образом, чтобы вычислить точное значение вероятности  $Q(X)$  нужно взять простую сумму множителей, образующих сочетания, в преобразованном выражении модельной функции с учетом дополнительных множителей согласно (1).

Проведенный анализ процедуры качественного анализа моделей деревьев происшествий позволяет устранить методологические проблемы, связанные с выбором значимых и критичных предпосылок и формированием наборов сочетаний МПС и МОС. Установлены причины возникновения погрешности вычисления вероятности возникновения происшествий и предложен способ ее устранения. Результаты модельных экспериментов подтверждают корректность сделанных предложений.

### Литература

1. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование. Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. - М.: Юрайт, 2014. – 728с.
2. Середа С.Н. Оптимизация показателей безопасности технологических процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. - 2011. – №2(9). – с.26–30.
3. Переездчиков И.В. Анализ опасностей промышленных систем человек-машина-среда и основы защиты: учебное пособие / И.В. Переездчиков. – М.: КНОРУС, 2011. – 784с.
4. Середа С.Н. Анализ эффективности методов снижения экологического риска // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. - 2013. – №4(18). – с.20–25.