

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ БАЗИСНЫХ СОБЫТИЙ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Abstract: Three approaches to the assessment of basic events of man-caused hazard probabilities are discussed: living probabilistic safety assessment; failure models; expert systems. The brief description of approaches, the merits and demerits are given. The results may be used during the elaboration of algorithm software for automated systems of potentially hazardous objects of monitoring and analysis.

Key words: potentially hazardous object, probabilistic safety assessment, failure model, expert systems.

Анотація: Обговорюються три підходи до оцінки імовірностей базисних подій техногенної небезпеки: «живий» імовірнісний аналіз безпеки; моделі відмовлень; експертні системи. Зроблено короткий опис підходів. Показано достоїнства і недоліки. Результати роботи можуть бути використані при розробці алгоритмічного забезпечення автоматизованих систем контролю й аналізу потенційно небезпечних об'єктів.

Ключові слова: потенційно небезпечний об'єкт, вірогідний аналіз безпеки, моделі відмов, експертні системи.

Аннотация: Обсуждаются три подхода к оценке вероятностей базисных событий техногенной опасности: «живой» вероятностный анализ безопасности; модели отказов; экспертные системы. Сделано краткое описание подходов. Показаны достоинства и недостатки. Результаты работы могут быть использованы при разработке алгоритмического обеспечения автоматизированных систем контроля и анализа потенциально опасных объектов.

Ключевые слова: потенциально опасный объект, вероятностный анализ безопасности, модели отказов, экспертные системы.

1. Введение

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) является модельно-алгоритмическим базисом автоматизированных систем оценки, анализа и прогнозирования техногенной опасности на потенциально опасных объектах (ПОО) [1 – 3]. Результирующими показателями безопасности являются вероятности возникновения аварий и чрезвычайных происшествий (ЧП). Исходной информацией для моделей ВАБ являются данные о вероятностях возникновения элементарных нежелательных (базисных) событий. Базисные события (БС) нарушения безопасности представляют собой отказы отдельных элементов или узлов ПОО, ошибки персонала и различные воздействия окружающей среды.

При оценках безопасности проектируемых или недавно действующих ПОО вероятности БС определяются по среднестатистическим данным. Для анализа текущих ситуаций среднестатистические оценки БС аналогичны средней температуре пациентов в больничной палате. Проблема оперативного оценивания вероятностей БС для различных текущих ситуаций, возникающих на ПОО, остается одной из наиболее актуальных при решении задач отслеживания и прогнозирования техногенной опасности на ПОО.

Данная статья посвящена методическим подходам, используемым для оценивания вероятностей БС, а также проблемам, связанным с их реализацией. В работе рассмотрены следующие подходы:

- «живой ВАБ» (Living probabilistic Safety Assessment) (LPSA);
- модели отказов;
- экспертные системы.

2. Использование “живого ВАБ “ (LPSA)

LPSA [4] был разработан как дополнение к традиционному ВАБ для оперативного учитывания изменений на ПОО, вызванных заменой оборудования или его отказом. В случае замены некоторого элемента вероятность БС, соответствующая отказу этого элемента, устанавливается равной номинальной. В случае отказа элемента вероятность соответствующего БС устанавливается равной 1.

Кроме того, в технологии LPSA предусмотрен мониторинг параметров, характеризующих состояние оборудования (мониторинг определяющих параметров). Выход определяющего параметра за допустимые пределы рассматривается как реализация БС. Его вероятность устанавливается равной 1. Во всех случаях, после регистрации изменений на ПОО и соответствующих корректировок вероятностей БС, выполняется новый расчет оценок вероятностей аварии согласно моделям традиционного ВАБ [1 – 3]. Недостатком LPSA является то, что LPSA оперирует с БС, у которых вероятности равны либо номинальным значениям, либо единицам. Промежуточные (наиболее реальные) значения БС остаются неизвестными. Поэтому оценки вероятности аварии, сделанные на основе результатов LPSA, будут завышены (методика перестраховки), если выполняется мониторинг определяющих параметров, и занижены (рисковая методика), если мониторинг параметров не применяется.

3. Использование моделей отказов

Для БС, представляющих собой отказы отдельных элементов и систем ПОО, вероятности возникновения могут быть оценены методами теории надежности. Выделяются строго вероятностные (статистические) и вероятностно-физические модели надежности. Вероятностно-физические модели имеют большее преимущество перед строго вероятностными моделями в том, что их параметры могут быть оценены на основании как статистики отказов, так и анализа физических процессов деградации. По данной проблематике имеются достаточно обстоятельные публикации, в частности [5, 6].

Первым необходимым шагом в данном подходе является формирование самой модели, включающее в себя:

- выбор теоретической функции распределения отказов;
- постановку исследуемых элементов ПОО на испытания;
- расчет оценок параметров распределения по результатам испытаний.

Данный шаг выполняется на этапе подготовки информационной основы автоматизированных систем оценки и прогноза техногенной опасности.

В режиме мониторинга степени опасности текущих ситуаций выполняется оценка вероятностей БС. Для этого наблюдаемое значение определяющего параметра, характеризующего текущую ситуацию, подставляется в предварительно сформированную модель отказов для вычисления вероятности БС.

Пример:

Условия задачи:

- ситуация характеризуется значением определяющего параметра «наработка» узла « α »;

– для каждого конкретного наступившего момента времени (τ) можно однозначно установить наработку узла « α », которую обозначим t (данная возможность обеспечивается наблюдением и фиксацией предыстории эксплуатации элементов и узлов ПОО, в том числе узла « a »);

– известен коэффициент загрузки узла « α », позволяющий рассчитывать ожидаемую наработку узла « α » в течение заданного интервала времени.

$$\Delta t = \Delta \tau * k \dots, \quad (1)$$

где k – коэффициент загрузки;

$\Delta \tau$ – заданный интервал времени (в часах);

Δt – наработка узла « α » в интервале $\Delta \tau$ (в часах).

Требуется.

Рассчитать оценку вероятности базисного события, заключающегося в отказе узла « a », в течение установленного интервала времени:

$$[\tau_0, \tau_0 + \Delta \tau],$$

где τ_0 – момент времени мониторингового контроля техногенной опасности на ПОО, $\Delta \tau$ – прогнозный интервал.

Решение.

Шаг 1. Построение модели отказов узла « α ».

(Выполняется на этапе формирования информационной основы системы оценки и прогнозирования техногенной опасности).

Модель отказов формируется в виде функции распределения наработки до отказа [7, 8]. Обозначим ее

$$Z(t, \mu, \nu),$$

где Z – вид функции наработки до отказа;

μ, ν – оценки параметров распределения масштаба и формы;

t – наработка до отказа.

Выражение

$$F(t) = Z(t, \mu, \nu) \quad (2)$$

позволяет вычислить вероятность отказа узла « α » до момента, обусловленного наработкой t .

Шаг 2. Определение наработки узла « a », ожидаемой к концу прогнозного интервала. (Выполняется в момент мониторингового контроля).

Обозначим наработку узла « a » в момент мониторингового контроля τ_0 через t_0 . Тогда, с учетом выражения (1), ожидаемая наработка к концу прогнозного интервала $\tau_0 + \Delta \tau_0$ определяется выражением

$$t_0 + \Delta t = t_0 + \Delta \tau * k, \quad (3)$$

где $t_0 + \Delta t$ – ожидаемая наработка к концу прогнозного интервала.

Шаг 3.

Вычисление вероятности отказа узла « α » в период от начала его эксплуатации до момента τ_0 , а также вероятность отказа от начала эксплуатации до момента окончания прогнозного интервала. Данный расчет выполняется подстановкой значений t_0 и $t_0 + \Delta t$ в выражение (2). Полученные результаты обозначим $F(t_0)$ и $F(t_0 + \Delta t)$ соответственно.

Шаг 4.

Вычисление вероятности отказа узла « α » в прогнозном интервале $[\tau_0, \tau_0 + \Delta \tau]$ при условии, что до момента τ_0 отказов не было. Вероятность такого события вычисляется [8] с помощью выражения

$$[F(t + \Delta t) - F(t)] / [1 - F(t)]. \quad (4)$$

Здесь t и $t + \Delta t$ значения наработки, соответствующие границам прогнозного интервала.

Подставим значения наработки $t_0, t_0 + \Delta t$ в выражение (4) и получим искомую вероятность БС:

$$P(БС) = [F(t_0 + \Delta t) - F(t_0)] / [1 - F(t_0)]. \quad (5)$$

Несмотря на достоинство моделей отказов (высокий уровень формализации и достоверность оценок), их применение ограничено. Они применяются только для БС, являющихся отказами технических элементов и узлов ПОО. Кроме того, эти модели учитывают влияние только одного параметра, между тем как ситуации на ПОО во многих случаях обуславливаются комплексом причинных факторов.

4. Использование экспертных систем

В указанных выше подходах истинные причины зарождения техногенной опасности оставались в тени.

Для установления вероятностей элементарных нежелательных событий, с учетом причинных факторов, можно использовать специализированные экспертные системы (ЭС). Подобные ЭС проектируются как составная часть информационно-аналитических комплексов техногенной опасности на ПОО. Базы знаний (БЗ) подобных систем хранят сведения о причинных факторах опасности, о возможных на ПОО ситуациях и влияниях факторов на возникновение элементарных нежелательных событий. ЭС позволяют выполнять многократные оценивания вероятностей БС в конкретных текущих ситуациях без привлечения экспертов. При этом учитывается совокупное влияние комплекса причинных факторов техногенной опасности.

При проектировании таких ЭС предусматривается возможность их развития (уточнения и расширения БЗ по результатам их функционирования).

Главная трудность подхода – проблема большой размерности. Однако при некоторых вполне логичных и допустимых ограничениях данный подход становится реалистическим. Одним из методов создания таких ЭС является метод экспертных оценочных шкал (МЭОШ) [9, 10]. Сущность МЭОШ заключается в том, что вероятности БС оцениваются на основании причинных

факторов, влияющих на опасности. МЭОШ позволяет создавать БЗ и экспертной системы и рассчитывать оценки вероятностей БС.

БЗ включает в себя описания:

- факторов опасности;
- ситуаций, возможных на ПОО;
- влияний факторов на вероятности БС.

Фактор описан множеством его возможных значений, которые упорядочены по степени своего влияния на вероятность возникновения БС. Одно из значений принимается в качестве нормы. При формировании БЗ с помощью МЭОШ в нее включаются только независимые причинные факторы опасности.

Ситуация описывается вектором, у которого каждая компонента соответствует одному из причинных факторов. Содержанием этой компоненты есть одно из возможных значений соответствующего фактора. Таким образом, множество ситуаций представляют собой K -мерное пространство, где K – число факторов, влияющих на опасность.

Влияние факторов описывается функциями влияния (ФВ). ФВ устанавливают соответствие между факторами опасности и БС. ФВ фактора X на вероятность возникновения БС « α » есть соответствие между возможными значениями фактора X и вероятностями БС. ФВ фактора X формируется при условии, что все остальные факторы принимают значения своих норм. Таким образом, для каждой пары (фактор X_j , БС « α^r ») в БЗ формируются n_j кортежей следующего вида:

$$(r, j, x_t, f_j^r(x_t)),$$

где n_j – количество возможных значений фактора X_j ;

x_t – одно из возможных значений X_j ;

$f_j^r(x_t)$ – значение функции влияния фактора X_j на БС « α^r », когда $X_j = x_t$.

Функции влияния факторов описывают «автономное» влияние каждого фактора на вероятность БС, т.е. в условиях, когда остальные факторы не влияют на опасность. Подобная БЗ создает предпосылки для выполнения оценки вероятностей БС, возникающих под одновременным влиянием совокупности факторов. Простое правило вывода может быть представлено следующим выражением:

$$P(a) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - f_j^a(x_j^t)], \quad (6)$$

где $P(a)$ – вероятность БС « a » в ситуации, когда $X_j = x_j^t$ ($j = \overline{1, k}$);

$f_j^a(x_j^t)$ – значение функции влияния фактора X_j на БС « a », когда $X_j = x_j^t$.

Выражение (6) является своеобразной «сверткой» автономных функций влияния отдельных независимых причинных факторов техногенной опасности.

Таким образом, наблюдая за ситуациями на ПОО, можно оценивать текущие значения вероятностей БС, а затем использовать эти оценки для расчета показателей опасности по традиционным методам ВАБ.

Простота описанного правила вывода обуславливается специфическими особенностями элементов БЗ. Эти особенности заключаются в независимости причинных факторов опасности и монотонности их влияния на вероятности возникновения БС.

5. Заключение

Все три описанных подхода к оценкам вероятностей элементарных нежелательных событий, порождающих техногенную опасность, имеют «право на жизнь», не противоречат друг другу и могут быть использованы в рамках одного информационно-аналитического комплекса. При этом целесообразно дифференцированное применение этих подходов:

- LPSA желателен использовать для учитывания изменения степени опасности при явных отказах оборудования, а также при его замене или модернизации;

- модели отказов достоверно оценивают и прогнозируют базисные события, когда они являются отказами технических элементов или узлов, успешная работа которых определяется одним доминирующим (определяющим) параметром;

- экспертные системы могут стать незаменимым средством, когда при оценивании вероятностей базисных событий необходимо учитывать влияние комплекса причинных факторов опасности. Особенно эффективны ЭС, когда при формировании их баз знаний используется метод экспертных оценочных шкал.

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., Куамамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
4. Living Probabilistic Safety Assessment (LPSA) IAEA Vienna 1999 IAEA TECDOC – 1006 ISSN. – 48 p.
5. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
6. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Основные положения. Модели отказов. – 45 с.
7. Серебровский А.Н., Стрельников В.П. О модельно-алгоритмическом базисе прогнозирования элементарных нежелательных техногенных событий // Міжнародний науково-технічний збірник “Надійність і довговічність машин і споруд”. – Київ, 2007. – Вып. 28, № 1. – С. 121–130.
8. Серебровский А.Н. Методы оценки вероятностей отказов в процессах прогнозирования техногенных чрезвычайных происшествий // Математичні машини і системи. – 2007. – № 2. – С. 111–116.
9. Серебровский А.Н. Об одном методе вероятностного анализа безопасности потенциально опасных объектов // Математичні машини і системи. – 2002. – № 1. – С. 41–48.
10. Serebrovsky A.N. Models and Algorithms of Probabilistic safety assessment of potentially hazardous objects// Вестник национального технического университета «ХПИ».6.2007 // Материалы «6-th International Conference on Information System Technology and Application». – Kharkiv, 2007. – May 23–25. – P. 127–134.

Стаття надійшла до редакції 20.02.2008