

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОТКАЗОВ В ПРОЦЕССАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Abstract: The method for assessment of failure propability during elementary undesirable events prediction is proposed. It is the further development of the method of expert estimating scales which together with logician-probabilistic methods represents effective means for the calculation of hazard propability. The results may be used for the creation of prediction-analytical subsystems for accident situation centers.

Key words: the method of the expert estimation scales, probability of failure, prediction of the undesirable events.

Аноація: Пропонується підхід, який дає можливість використовувати методи оцінок імовірності відмов при прогнозуванні елементарних небажаних подій, що спричиняють техногенну небезпеку. Робота є продовженням методу експертних оціночних шкал (МЭОШ), який у сукупності з логіко-імовірнісними методами є ефективним засобом розрахунку оцінок імовірностей аварій і надзвичайних подій. Результати роботи можуть використовуватись при розробці алгоритмічного забезпечення прогнозно-аналітичних підсистем ситуаційних центрів з надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: метод експертних оціночних шкал, імовірність відмови, прогнозування небажаних подій.

Аннотация: Предложен подход, который дает возможность использовать методы оценивания вероятности отказов при прогнозировании элементарных нежелательных событий, порождающих техногенную опасность. Работа является развитием метода экспертных оценочных шкал (МЭОШ), который в сочетании с логико-вероятностными методами представляет собой эффективное средство расчета оценок вероятностей аварий и ЧП. Результаты работы могут быть использованы при разработке алгоритмического обеспечения прогнозно-аналитических подсистем ситуационных центров по чрезвычайным ситуациям.

Ключевые слова: метод экспертных оценочных шкал, вероятность отказа, прогнозирование нежелательных событий.

1. Введение

Логико-вероятностные модели, используемые для анализа техногенной опасности, дают возможность прогнозировать возникновение аварий и чрезвычайных происшествий (ЧП). Исходными данными в этом процессе являются значения оценок вероятностей возникновения нежелательных (базисных) событий, развитие которых приводит к авариям и ЧП [1]. Базисные события (БС) по своему происхождению можно разделить на классы:

- отказы технических систем потенциально опасных объектов (ПОО);
- ошибки персонала (ПОО);
- негативные воздействия окружающей среды.

Одним из методов, позволяющих оценивать вероятности БС, является разработанный автором метод экспертных оценочных шкал (МЭОШ) [2, 3, 4]. Метод включает в себя формализацию описания возможных ситуаций и их влияние на оценку вероятности возникновения БС. Ситуация, в данном случае, интерпретируется как набор значений факторов, обуславливающих состояние объекта и состояние окружающей среды. Влияние “набора факторов” на возникновение БС формализуется с помощью их функций влияния. Функция влияния фактора есть соответствие, устанавливающее каждому возможному значению фактора оценку условной вероятности, характеризующую его влияние на возникновение опасного события при условии, когда остальные факторы не оказывают на него влияния в течение заданного интервала времени. Формализованные описания причинных факторов и функций их влияний на БС представляют собой информационную основу (ИО) системы оценки, анализа и прогноза техногенной опасности. По мере накопления новых сведений о влиянии факторов на возникновение БС, ИО периодически

актуализируется путем пересчитывания функций влияния и их обновления. Таким образом, наблюдая за факторами, влияющими на возникновение нежелательных событий, МЭОШ дает возможность, рассчитывать оценки вероятностей этих событий и затем использовать эти оценки в логико-вероятностных моделях для прогноза аварий или ЧП.

В данной работе рассмотрены проблемы использования моделей отказов для формирования функций влияния факторов БС в тех случаях, когда они представляют собой отказы технических систем. Случаи, когда причинами БС являются человеческий фактор и влияние окружающей среды, будут рассмотрены в последующих работах.

2. Представление функции влияния в виде величины, зависящей от распределения отказов

В случаях, когда БС представляют собой отказы различных подсистем или элементов объекта, функция влияния фактора W на событие Q может быть интерпретирована как величина, противоположная вероятности безотказной работы $R(t, \Delta t)$ в заданный прогнозный период $[t, t + \Delta t]$, т.е.

$$f_{t, \Delta t}^{W, Q} = 1 - R(t, \Delta t), \quad (1)$$

где $f_{t, \Delta t}^{W, Q}$ – функция влияния фактора W на событие Q .

Показано [5], что

$$R(t, \Delta t) = \frac{R(t + \Delta t)}{R(t)}, \quad (2)$$

где $R(t)$, $R(t + \Delta t)$ – вероятности безотказной работы за время, определенное моментами t и $t + \Delta t$. Выразим вероятности безотказной работы через вероятности отказа.

$$R(t) = 1 - F(t); \quad (3)$$

$$R(t + \Delta t) = 1 - F(t + \Delta t), \quad (4)$$

где $F(t)$, $F(t + \Delta t)$ – значения интегральной функции распределения отказов в моменты времени t и $t + \Delta t$ соответственно.

Подставив выражения (2), (3), (4) в (1), получим

$$f_{t, \Delta t}^{W, Q} = 1 - [1 - F(t + \Delta t)] / [1 - F(t)]; \quad (5)$$

$$f_{t, \Delta t}^{W, Q} = [F(t + \Delta t) - F(t)] / [1 - F(t)]. \quad (6)$$

Таким образом, для получения значений функции влияния фактора W на возникновение БС достаточно знать для каждого возможного значения фактора соответствующее распределение отказов, (возникновение БС), т.е. установить тип функции распределения и оценки ее параметров.

Для получения распределения БС используем методику оценки вероятностей отказов [5–8].

3. Построение функций влияния причинных факторов

Предварительно установлен набор причинных факторов, обуславливающих вероятность возникновения нежелательного события. Обозначим эти факторы: $Y_i (i = 1, \dots, k)$. Для каждого из

них установлена область возможных значений $\{y_i^j\}$ ($j = 1, \dots, n_i$), ($i = 1, \dots, k$), одно из которых ($y_i^{N_i}$) принято считать нормальным («нормой»). Задан прогнозный интервал $[t, t + \Delta t]$, в пределах которого формируются функции влияния.

Правило построения функции влияния произвольного фактора Y_m на вероятность возникновения нежелательного события "А" (отказа) сводится к следующей циклической процедуре:

3.1. Выбор очередного возможного значения фактора Y_m из $\{y_m^j\}$ ($j = 1, \dots, n_m$)

Обозначим это значение y_m^l . (После выбора всех возможных значений переход к п.3.5).

3.2. Формирование функции распределения вероятности нежелательного события "А" в условиях, когда значение фактора Y_m фиксировано и равно y_m^l , а остальные факторы Y_i ($i \neq m$) равны своим нормам ($y_i^{N_i}$)

Данная процедура, описанная в работах [5, 8], состоит из следующих этапов.

3.2.1. Выбор типа теоретического распределения отказов (возникновение базисного события "А" интерпретируется как отказ)

3.2.2. Постановка группы однотипных изделий на испытания и фиксация результатов испытаний

Под изделиями подразумеваются те элементы ПОО, отказы которых являются базисными событиями развития опасности. При испытаниях фиксируются отказы изделий, наработки до отказов, значения "определяющих" параметров (параметров характеризующих состояния изделий). Испытания проводятся в условиях

$$Y_m = y_m^l ; \quad (7)$$

$$Y_i = y_i^{N_i} (i \neq m). \quad (8)$$

Испытания проводятся по плану [NUT], согласно которому изделия, отказавшие во время эксплуатации, не восстанавливают и не заменяют. Эксплуатацию прекращают по истечении времени испытаний T .

3.2.3. Определение параметров выбранного распределения на основе результатов испытаний

Оценку параметра масштаба и параметра формы распределения можно выполнить на основе данных:

- о наработках до отказа;
- об изменениях определяющего параметра.

В первом случае можно использовать методы максимального правдоподобия, моментных оценок и квантилей [8]. Во втором случае используется вероятностно-физический подход, позволяющий оценить скорость деградации определяющего параметра и ее коэффициент вариации [5.7].

В результате получено формализованное представление функции распределения нежелательных базисных событий, которую обозначим $Z(t, \mu, \nu)$,

- где Z – вид функции распределения наработки до отказа;
- μ, ν – оценки параметров масштаба и формы;
- t – наработка до отказа.

Тогда выражение

$$F(t) = Z(t, \mu, \nu) \tag{9}$$

позволяет вычислить вероятность отказа изделия (возникновение базисного события) до момента, обусловленного наработкой t .

3.3. Расчет оценок вероятности возникновения базисного события для моментов $t, t + \Delta t$, определяющих границы заданного прогнозного интервала

Расчет выполняется подстановкой заданных моментов $t, t + \Delta t$ в выражение (9). Результаты расчетов обозначим, соответственно, $F(t), F(t + \Delta t)$.

3.4. Вычисление значения функции влияния фактора Y_m на вероятность возникновения нежелательного события "А", когда фактор Y_m принимает конкретное значение y_m^l

При расчете используется формула (6). Результат расчета обозначен $f_{t, \Delta t}^{m,A}(y_m^l)$.

Переход к п.3.1.

3.5. Формирование функции влияния

Таблица 1. Функция влияния фактора Y_m на вероятность возникновения события "А" для прогнозного интервала $t, t + \Delta t$

Значение фактора Y_m	y_m^1	y_m^2	...	$y_m^{n_m}$
Значение функции влияния	$f_{t, \Delta t}^{m,A}(y_m^1)$	$f_{t, \Delta t}^{m,A}(y_m^2)$...	$f_{t, \Delta t}^{m,A}(y_m^{n_m})$

Выход из процедуры формирования функции влияния фактора Y_m на возникновение события "А".

Аналогично выполняется формирование функций влияния для остальных причинных факторов $Y_i (i = 1, \dots, k)$.

4. Оценка вероятности нежелательного события, возникающего под влиянием нескольких причинных факторов

Рассмотрим случай, когда нежелательное событие "А" обуславливается двумя причинными факторами Y_1 и Y_2 . Допустим, что Y_1 может принимать значения $(y_1^1, y_1^2, y_1^3, y_1^4)$, а Y_2 – (y_2^1, y_2^2, y_2^3) .

Требуется получить оценку вероятности события "А", возникающего в заданный период $[t, t + \Delta t]$, вследствие одновременного независимого воздействия факторов Y_1 и Y_2 , в ситуации, когда фактор Y_1 принимает значение y_1^3 , а фактор Y_2 – значение y_2^1 . Построим функции влияния факторов Y_1 и Y_2 , используя методику приведенную в п. 3. Результат представлен в виде табл. 2 и 3.

Таблица 2. Функция влияния фактора Y_1 на событие "А"

y_1^j	y_1^1	y_1^2	y_1^3	y_1^4
$f^{1,A}(y_1^j)$	$f^{1,A}(y_1^1)$	$f^{1,A}(y_1^2)$	$f^{1,A}(y_1^3)$	$f^{1,A}(y_1^4)$

Таблица 3. Функция влияния фактора Y_2 на событие "А"

y_2^j	y_2^1	y_2^2	y_2^3
$f^{2,A}(y_2^j)$	$f^{2,A}(y_2^1)$	$f^{2,A}(y_2^2)$	$f^{2,A}(y_2^3)$

По табл. 2 определяется значение функции влияния $f^{1,A}(y_1^3)$, соответствующее значению фактора Y_1 , равному y_1^3 . По табл. 3 определяется значение функции влияния $f^{2,A}(y_2^1)$. Тогда [2] вероятность события "А", возникающего под влиянием факторов y_1 и y_2 , может быть оценена выражением

$$P(A) = I - [I - f^{1,A}(y_1^3)] \cdot [I - f^{2,A}(y_2^1)]. \quad (10)$$

Для случая влияния нескольких факторов Y_1, \dots, Y_k , принимающих в анализируемой ситуации значения y_1^0, \dots, y_k^0 , оценка вероятности нежелательного события "А" вычисляется согласно выражению [2]

$$P(A) = I - \prod_{i=1}^k [I - f_i(y_i^0)]. \quad (11)$$

5. Заключение

В данной статье предложен подход, который дает возможность использовать методы оценивания вероятности отказов при прогнозировании элементарных нежелательных событий, порождающих техногенную опасность.

Новизна работы состоит в применении методов теории надежности к построению функций влияния причинных факторов, обуславливающих возникновение опасных событий.

Работа является развитием метода экспертных оценочных шкал (МЭОШ), который, в сочетании с логико-вероятностными методами, представляет собой эффективное средство расчета оценок вероятностей аварий и ЧП. Таким образом, работа является определенным вкладом в методологию вероятностного анализа безопасности (ВАБ) потенциально опасных объектов (ПОО).

Практическая значимость работы состоит в том, что для случаев, когда нежелательные события являются отказами отдельных технических элементов и систем потенциально опасных объектов, применение данного подхода повышает адекватность формируемых функций влияния и тем самым повышает достоверность результатов прогнозных расчетов, сделанных на их основе. Кроме этого, предлагаемый подход позволяет снизить трудозатраты на построение информационной основы автоматизированных систем оценки, анализа и прогноза техногенной опасности на ПОО.

Результаты работы могут быть использованы при разработке алгоритмов процедур прогнозно-аналитических подсистем ситуационных центров по чрезвычайным ситуациям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бегун В.В., Горбунов О.В., Каденко И.Н., Письменный Е.Н., Зенюк А.Ю., Литванский Л.Л. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ). – К.: НТУУ "КПИ", 2000. – 568 с.
2. Серебровский А.Н. О контроле и анализе ситуаций на потенциально опасных объектах // Математичні машини і системи. – 1999. – № 1. – С. 98–117.
3. Серебровский А.Н. Об одном методе вероятностного анализа безопасности потенциально опасных объектов // Математичні машини і системи. – 2002. – № 1. – С. 41–48.
4. Серебровский А.Н., Рогач В.Д. О формировании информационной основы систем оценки и анализа ситуаций на потенциально опасных объектах // Математичні машини і системи. – 2002. – № 3. – С. 62 – 70.
5. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
6. Азарсков В.А., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики. – Киев, 2004. – 164 с.
7. Погребинский С.П., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М: Радио и связь, 1988. – 168 с.
8. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Основные положения. Модели отказов. – 45 с.