Научный центр «LJournal»

Рецензируемый научный журнал

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

№94, Февраль 2023
(Часть 5)

Самара, 2023

Морозов В.И.

Алгоритм расчета к-кратной совместной значимости в технологии логико-вероятностного моделирования

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (Россия, Санкт-Петербург)

Аннотация

В технологии логико-вероятностного моделирования для оценки важности отказов элементов сложных технических систем (СТС) применяются показатели одно, двукратной и к-кратной значимости. В данной статье приведен алгоритм расчета к-кратной совместной значимости в общем виде, который позволяет существенно сокращать объемы расчета при проведении исследований влияния некой совокупности отказов элементов на СТС.

Ключевые слова: надежность, логико-вероятностный метод, технология логико-вероятностного моделирования, сложная техническая система, к-кратная совместная значимость, показатель важности по Бирнбауму.

Abstract

In the technology of logic-probabilistic modeling, to assess the importance of element failures of complex technical systems, indicators of one, two-fold and k-fold significance are used. This article provides algorithm for calculating the k-fold joint significance, which allow you to significantly reduce the amount of calculation when conducting research of the influence of a certain set of element failures on the complex technical systems.

Keywords: reliability, logical-probabilistic method, logical-probabilistic modeling technology, complex technical system, k-fold joint significance, Birnbaum importance index.

В настоящее время в системном анализе широко применяется технология логико-вероятностного моделирования (ТЛВМ) для изучения свойств структурно-сложных систем, к которым относятся и сложные технические системы. Они нормативно применяются для вероятностной оценки безопасности, живучести и надежности атомных электростанций, атомных подводных лодок, авиационных и космических комплексов, везде, где высока цена риска и существует сложная структура и организация объекта (системы).

Среди показателей важности оценки выше приведённых свойств необходимо отметить однократную и двукратную значимости. Однократная значимость также называется

показателем важности по Бирнбауму, который предложил данный показатель. И.А. Рябинин и Ю.М. Парфенов [1] в 1991 году вывели и обосновали показатель важности – двукратную совместную значимость.

В 1993 году в ВМА им. Н.Г. Кузнецова в интересах разработки передвижного диагностического комплекса корабельного оборудования и решения частной задачи формирования приоритетных направлений диагностического обеспечения и, прежде всего, для корабельных атомных энергетических установок потребовалось изучать влияние большего количества элементов СТС на вероятность безотказной работы системы (ВБРС). В связи с чем мною было выведено математическое выражение показателя – к-кратной совместной значимости в общем виде.

В 2000-2001 годах были опубликованы научно-технические сообщения [2,3], в которых представлены основные положения разработанной мною методологии формирования приоритетных направлений внедрения диагностического обеспечения на АЭС. В этих работах также применялись показатели к-кратной совместной значимости, поэтому возникла необходимость более подробно остановиться на этих вопросах.

В работе [4] был изложен вывод формулы смешанной частной производная k-го порядка функции вероятности безотказной работы системы (к-кратной совместной значимости), выполненный мною в 1993 году:

$$\zeta_{ij\ldots s}=\frac{\partial^k R_c}{\partial R_i \partial R_j \ldots . \partial R_s}=\sum_{i,j\ldots s}(-1)^z R_{c\ l,\,p\ldots f}\ , (1)$$

где i,j…s - номера переменных функции ВБРС;

Pk = 2k – количество наборов суммы;

l,p…..f = [0,1];

- z – количество нулей в наборах индексов l,p.f;

Как правило, в технологии логико-вероятностного моделирования участвует значительное количество элементов сложной технической системы, поэтому функции вероятности безотказной работы системы имеют достаточно громоздкий вид. При этом к-кратная совместную значимость, если вычислять её на основании формулы (1), будет иметь значительно большую размерность. Поэтому напрямую ее использовать проблематично, но ее вывод позволил разработать мне в 1993 году алгоритм, существенно сокращающие объемы вычислений.

На основании работы [4] функцию вероятности безотказной работы системы можно представить в следующем виде:

$$R_c= a_0+\sum_{i\in C_n^1} a_i R_i^{\alpha_{i1}} +\ldots \sum_{i,j\ldots s\in C_n^k} a_{i,j\ldots s} R_i^{\alpha_{ik}} R_j^{\alpha_{jk}} \ldots . R_s^{\alpha_{sk}} \ldots + a_n R_1^{\alpha_{1n}} R_2^{\alpha_{2n}} \ldots R_n^{\alpha_{nn}}\ , (2)$$

где Ri – вероятность безотказной работы i-го элемента системы;

n – количество элементов системы;

C_n^k – число сочетаний из n элементов по k;

α_{ik}- двоичный показатель степени, α_{ik}=1, если Ri входит в одночлен и α_{ik}=0, если не входит.

Функция ВБРС является линейной функцией по любому элементу Ri и представляет собой сумму членов выражения (2). На основании свойств функции n переменных ВБРС и свойств смешанных частных производных (они очевидны и не требуют их перечисления) можно сделать следующие выводы для смешанной частной производной порядка k по набору переменных Ri , Rj Rs (далее – производная):

Смешанная частная производная порядка k по набору переменных Ri , Rj ……Rs равна сумме производных от членов выражения (2).

Производная от члена суммы выражения (2), который не имеет в своем составе полный набор элементов Ri , Rj Rs , равна нулю, т.е. если набор переменных Ri , Rj Rs не является подмножеством набора переменных выражения.

Выражение производной от члена суммы выражения (2), который имеет в своем составе полный набор элементов Ri , Rj ……Rs , представляет собой остаток члена выражения с заменой данного набора переменных Ri , Rj ……Rs на значение 1 (один).

Если в члене суммы выражения (2) вместо Ri имеется (1- Ri), то данная переменная при нахождении производной меняется на (-1) (минус единица).

В свою очередь на основании данных выводов алгоритм определения и вычисления смешанной частной производной по набору переменных Ri , Rj ……Rs функции вероятности безотказной работы системы следующий:

Ввести функцию ВБРС.

Ввести значения Ri , Rj ……Rs .

Частная производная равна сумме частных производных от членов выражения ВБРС.

Если член суммы ВБРС не имеет в своем составе полный набор элементов Ri , Rj Rs , то частная производная равна нулю.

Если член суммы ВБРС имеет в своем составе полный набор элементов Ri , Rj Rs , то частная производная равна преобразованному члену выражения, полученному заменой переменных Ri , Rj Rs на значение 1.

Если член суммы ВБРС имеет в своем составе (1- Ri), то данная переменная при нахождении вида выражения частной производной заменяется на (-1).

По определению вида смешанной частной производной функции ВБРС подставляются значения вероятности безотказной работы элементов системы и выполняется расчет.

В качестве демонстрационного примера рассмотрим простейшую мостиковую структуру, приведенную на рис.1 и состоящую из пяти элементов: 1, 2 – источники электроэнергии, 3, 4 – щиты распределения электроэнергии, 5 – кабельная перемычка для обеспечения электроэнергией, подключенных к одному из щитов 3, 4. Система считается работоспособной, если, хотя бы на одном из кратчайших путей успешного функционирования элементы системы имеют работоспособное состояние. Тогда функция вероятности безотказной работы системы имеет ниже приведенный вид:

$$pc=p1\ p3+ p2\ (1-p3)\ p4+ (1-p1)p2\ p3\ p4+ p1\ (1-p2)\ (1-p3)p4\ p5+ (1-p1)p2\ p3(1-p4)p5. \quad (5)$$

Примем вероятность безотказной работы элементов системы на временном интервале τ :

$$p1=0{,}9,\ p2=0{,}8\ ,\ p3=0{,}85\ ,\ p4=0{,}95\ ,\ p5=0{,}9.$$

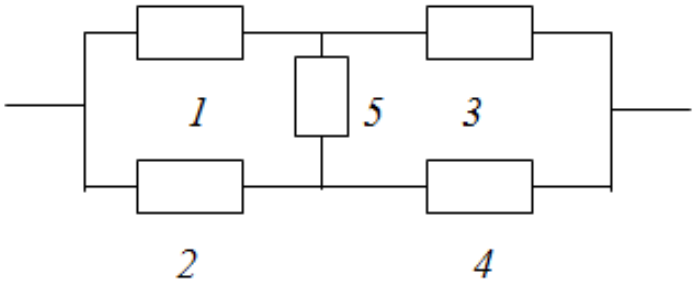

Рисунок 1. Структура мостиковой схемы электроснабжения.

При расчете к-кратных совместных значимостей предварительно определяем вид выражений, а затем подставляем соответствующие значения, например:

$$\varsigma_1=\frac{\partial p_c}{\partial p_1}=p_3-p_2p_3p_4+(1-p_2)(1-p_3)p_4p_5-p_2p_3(1-p_4)p_5=0{,}19905$$

$$\varsigma_{345}=\frac{\partial^3 p_c}{\partial p_3\partial p_4\partial p_5}=0+0+0-p_1(1-p_2)-(1-p_1)p_2=-0{,}26$$

Показатель к-кратной совместной значимости важен при выполнении анализа надежности, безопасности и живучести сложных технических систем. Частично об этом будет изложено в следующем материале.

***

1. Рябинин И.А., Парфенов Ю.М. Определение характеристик важности совокупности элементов энергетической системы при исследовании ее безотказности. Энергетика и транспорт, т. 37, 1991 г.
2. Морозов В.И. Приоритетные направления внедрения диагностического обеспечения на АЭС. Атомная энергия, т.88, выпуск 4, апрель 2000, с. 311-313.
3. Морозов В.И. Отдельные аспекты технической диагностики АЭС. Атомная энергия, т.91, выпуск 1, июль 2001, с. 71-75.
4. Морозов В.И. Определение к-кратной совместной значимости в технологии логико-вероятностного моделирования. Тенденции развития науки и образования №93, январь 2023 г.