ВЫБОР МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПАКЕТЕ MATHCAD НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ

У Даньни

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е. А. Кочегурова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: danni_0815@163.com

THE CHOICE OF THE RELIABILITY MODEL OF TECHNICAL SYSTEMS IN THE MATHCAD PACKAGE BASED ON OPERATIONAL DATA

Danny Wu

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Dr. E.A. Kochegurova

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: danni_0815@163.com

Abstract. *The subject of the research includes selection procedures, which allows determining the most adequate reliability model. Various goodness-of-fit tests and information criteria are objects of the research. Work objective is to select from predefined set the reliability model which represents given failure data sample best, by application of various statistical and information criteria.*

Введение. На протяжении многих лет теория надежности является важной составляющей промышленного производства. Определяющим фактором для использования методов теории надежности и приемов повышения безотказности систем является выбор наиболее адекватной модели надежности (МН).

Отличительным признаком «хорошей» МН является ее гибкость, т.е. возможность получить большое разнообразие форм функции интенсивности отказов [1]. В настоящее время ведется большая работа по поиску и анализу свойств различных сложных распределений случайных величин, способных служить в качестве МН. Одним из таких законов распределения является комплементарное Вейбулл-геометрическое распределение Кумарасвами (Kumaraswamy complementary Weibull geometric distribution, Kw-CWG), впервые введенное в работе [2].

Функция вероятности отказа распределения Kw-CWG определяется следующим выражением:

$$F_{KwCWG}(x) = 1 - \left\{1 - \left[\frac{\alpha \cdot \left(1 - e^{-(\gamma x)^{\beta}}\right)}{\alpha + (1-\alpha) \cdot e^{-(\gamma x)^{\beta}}}\right]^{a}\right\}^{b}, \quad (1)$$

где $0 < \alpha < 1$ и $\beta, a, b > 0$ – параметры формы, а γ – параметр масштаба.

Распределение Kw-CWG является очень гибкой пятипараметрической моделью. Приравнивая к единице параметры формы, мы можем получать разнообразные подмодели. Для данного исследования были выбраны 5 подмоделей этого распределения, в том числе экспоненциально-Вейбулловское распределение (EW) и распределение Вейбулла. В целях исследования в список исследуемых МН были включены распределения с разным числом параметров, которые при этом не являются подмоделями МН Kw-CWG, например, би-Вейбулловское распределение (BW).

Для анализа и проверки была сгенерирована выборка, представляющая собой времена отказов системы с дублированием и холодным резервом; при этом времена отказов компонентов системы являлись случайными числами, распределенными по закону Вейбулла. После этого с помощью метода максимального правдоподобия получены оценки параметров МН из заданного списка моделей. Выбор наилучшей МН проводился на основе расчета численных значений критериев, таких как информационный критерий Акаике (AIC), и критериев согласия, например, критерий Ватсона [3].

В общем случае значение AIC рассчитывается как:

$$\mathrm{AIC} = -2\Lambda\left(\widehat{\boldsymbol{\Theta}}\right) + 2\mathrm{k} \quad (2)$$

где k – количество параметров модели, $\Lambda\left(\widehat{\boldsymbol{\Theta}}\right)$ – максимизированное значение функции правдоподобия модели. Слагаемое $-2\Lambda\left(\widehat{\boldsymbol{\Theta}}\right)$ определяет меру точности (адекватности) модели.

После получения численных значений, используем методы ранжирования чтобы определить лучшую модель. Ниже приведена суть методов ранжирования.

Методы ранжирования моделей. Общий подход к ранжированию моделей предполагает присвоение наилучшей модели согласно одному из критериев максимального количества баллов (10). Максимальная сумма баллов, полученных по всем критериям, определит наилучшую модель.

Введем множество $\mathbf{M} = \left\{m_1, m_2, \dots, m_p\right\}$ моделей надежности, а также множество $\mathbf{K} = \left\{k_1, k_2, \dots, k_q\right\}$ критериев качества моделей. Таким образом, можно определить $E_{i,j}$ $(i = 1..p; j = 1..q)$ как значение *j*-го критерия для *i*-й модели, а $R_{i,j}$ $(i = 1..p; j = 1..q)$ как балл, полученный *i*-й моделью в соответствии с *j*-м критерием. Тривиальный метод балльных оценок заключается в получении баллов:

$$R_{i,j} = \frac{\max\left(E_{i,j}\right) - E_{i,j}}{\max\left(E_{i,j}\right) - \min\left(E_{i,j}\right)} \cdot 10 \quad (3)$$

Во втором методе вместо значений $E_{i,j}$ критериев предлагается брать их натуральные логарифмы. Тогда балл, полученный моделями, можно будет рассчитать по следующей формуле:

$$R_{i,j} = \frac{\ln(\max(E_{i,j})) - \ln E_{i,j}}{\ln(\max(E_{i,j})) - \ln(\min(E_{i,j}))} \cdot 10 \quad (4)$$

В третьем методе баллы выставляются в зависимости от логарифма разницы между максимальным и минимальным значениями критериев. Формула выглядит следующим образом:

$$R_{i,j} = \frac{\ln(\max(E_{i,j}) - \ln E_{i,j})}{\pm\ln(\max(E_{i,j}) - \min(E_{i,j}))} \cdot 10 \quad (5)$$

После того как получены баллы по разным критериям с помощью разных методов, суммируются все баллы и получаются итоговые оценки критериев (таблица 1). Модель, которая получает самый высокий балл, считается наилучшей моделей. В таблице 1 были представлены три распределения, которые получили самые высокие баллы. Если все три метода указывают на одну и ту же модель, то она является наилучшей. Если же каждый метод показывает разный результат, то найти необходимо модель, которая чаще занимает высшее место или повторить эксперимент с другими выборками.

Таблица 1

Итоговые оценки критериев исследуемой выборки данных, n=150

Модель	**Метод ранжирования**		
	1	**2**	**3**
Кумарасвами-экспонециальное распределение (Kw-E)	66,4092	65,4722	43,8385
Экспоненциально-Вейбулловское распределение (EW)	65,8665	67,4016	49,3085
Распределение Вейбулла	69,9434	69,9413	49,8941

Заключение. В результате выполнения работы был предложен метод выбора модели надежности по имеющимся данным об отказах оборудования и создан шаблон в Mathcad, позволяющий выбирать лучшую модель надежности, основываясь на различных процедурах ранжирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнеденко, Борис Владимирович. Математические методы в теории надежности. / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М: Либроком, 2013. — 582 с.
2. Afify A Z, Cordeiro G M, Butt N S, Ortega E M M and Suzuki A K. A new lifetime model with variable shapes for the hazard rate // Brazilian Journal of Probability and Statistics, 2016, Vol. 30, Iss. 3, pp. 366-384.
3. Akaike, H. A new look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control, 1974, Vol. 19, Iss. 6, pp. 716-723.