УДК 631.3.004.67

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ МЕТОДОМ СЕЛЕКЦІЇ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

Іванов В.І. к.т.н., доц.; Калінін Е.І. к.т.н., доц.;
Дейнека Є.П., студент; Скитин А.С., студент
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

На прикладі об'єкту, який складається з послідовно сполучених рівнонадійних елементів, показано вплив селекції на підвищення його надійності

Оцінку ефективності селективних методів будемо проводити на прикладах систем з послідовною у розумінні надійності структурою. При цьому розглянемо систему, ресурс якої визначається наробітком до першої відмови будь якого з однотипних елементів. Прикладами тут можуть служити різьбові кріплення, якщо в них руйнування хоча б одного бовта призводить до руйнування решти; хрестовини карданних шарнірів у складі з підшипниками, ресурс котрих визначається наробітком до початку прогресуючого поверхневого викрашування хоча б на одному з шипів; газова турбіна, в якій руйнування хоча б однієї лопатки на дисках призводить до пошкодження і виходу з ладу всієї турбіни і т.д.

Якщо елементи, з яких складаються такі системи за результатами вимірювання деяких параметрів, роз’єднані на селективні групи, які відрізняються розподілом ресурсу, то раціональний спосіб їх об’єднання в систему полягає у складанні систем з елементів однієї селективної групи. В ідеалі, при ідеальній селекції, яка полягає у роз’єднанні елементів на групи з однаковим ресурсом, таким способом складання систем теоретично можливо досягнути збігання розподілу ресурсів системи і елементу. На практиці, очевидно, такий ефект не досягнутий, однак розглядання більш реальних ситуацій вказує на значну ефективність селективного способу. Покажемо це на простіших прикладах системи, складеної з двох послідовно з’єднаних однотипних елементів, які відмовляють незалежно.

Нехай вираження для вірогідності безвідмовної роботи вибірки елементів має вигляд:

$$R_e(t) = \Delta \cdot e^{-\left(\frac{t}{a_1}\right)^b} + (1-\Delta)\cdot e^{-\left(\frac{t}{a_2}\right)^b}, \qquad (1)$$

де: Δ - доля (відносна кількість) елементів першої селективної групи;

a_1 і a_2 - параметри масштабу розподілів ресурсу елементів першої і другої селективних груп відповідно;

b - параметр форми розподілів ресурсу елементів.

Таким чином, розглядається випадок, коли проведена селекція елементів на дві групи, причому, ресурс елементів в кожній групі розподілений за законом Вейбула з різними параметрами масштабу і одним і тим же параметром форми.

Вираження для середнього ресурсу таких елементів має вид:

$$T_e = [\Delta \cdot a_1 + (1-\Delta)a_2]\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right), \tag{2}$$

де: Γ - гама-функція.

Якщо позначити вірогідність безвідмовної роботи елементів першої селективної групи - $R_{1e}(t)$ і другої групи - $R_{2e}(t)$, то з (1) слідує:

$$R_e(t) = \Delta \cdot R_{1e}(t) + (1-\Delta)\, R_{2e}(t).$$

Аналогічно з (2) отримуємо:

$$T_e = \Delta \cdot T_{1e} + (1-\Delta)\, T_{2e},$$

де: T_{1e} і T_{2e} – середні ресурси елементів першої і другої селективних груп відповідно.

При випадковому об'єднанні елементів які відмовляють незалежно, вірогідність безвідмовної роботи послідовної системи з двох однотипних елементів у відповідності з (1) буде визначатися за формулою:

$$R_C(t) = R_e^2(t) = \Delta^2 \cdot e^{-2\left(\frac{t}{a_1}\right)^b} + 2\Delta(1-\Delta)e^{-\left(\frac{t}{a_1}\right)^b - \left(\frac{t}{a_2}\right)^b} + (1-\Delta)^2 \cdot e^{-2\left(\frac{t}{a_2}\right)^b}. \tag{3}$$

Інтегруючи вираження (3) в межах від 0 до ∞ отримаємо формулу для середнього ресурсу такої системи:

$$T_C = 2^{-\frac{1}{b}}\left[\Delta^2 \cdot a_1 + 2\Delta(1-\Delta)\left(\frac{2a_1^b \cdot a_2^b}{a_1^b + a_2^b}\right) + (1-\Delta)^2 \cdot a_2\right] \times \Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right). \tag{4}$$

При об єднанні у систему елементів, які належать однієї й тієї ж селективній групі, вираження для вірогідності безвідмовної роботи системи буде мати вигляд:

$$\widetilde{R}_C(t) = \Delta \cdot R_{1e}^2(t) + (1-\Delta)R_{2e}^2(t),$$

або, з врахуванням (1):

$$\widetilde{R}_C(t) = \Delta \cdot e^{-2\left(\frac{t}{a_1}\right)^b} + (1-\Delta)e^{-2\left(\frac{t}{a_2}\right)^b}, \tag{5}$$

Інтегруючи (5), отримуємо вираження для середнього ресурсу системи з селективним об'єднанням двох елементів:

$$\widetilde{T}_C = 2^{-\frac{1}{b}}[\Delta \cdot a_1 + (1-\Delta)a_2]\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right) = \frac{Te}{2^{1/в}}. \tag{6}$$

Із вираження (6), вчасності, виходить, що чим менше коефіцієнт варіації ресурсу елементів в селективних групах (чим якісній селекція) і, виходячи, більше параметр форми b, тим більше величина середнього ресурсу системи до середнього ресурсу елемента.

Критерієм ефективності селективного методу об'єднання елементів у систему може служити відношення $\psi = \tilde{T}_C / T_C$, яке показує в скільки разів зростає середній ресурс системи при селективному складанні. Із (4) і (6) після спрощень виходить, що при двох селективних групах:

$$\psi_2 = \frac{\Delta + (1-\Delta)\dfrac{a_2}{a_1}}{\left[\Delta^2 + 2\Delta(1-\Delta)\left[\dfrac{2}{\left(\dfrac{a_1}{a_2}\right)^b + 1}\right] + (1-\Delta)^2\dfrac{a_2}{a_1}\right]^{1/b}}. \qquad (7)$$

Вираження (7) дозволяє оцінити ефект від використання селективного методу при різних величинах відношення середніх ресурсів елементів селективних груп (відношення середніх ресурсів співпадає з $\frac{a_2}{a_1}$), а також різних долях селективних груп у загальній сукупності елементів і різних значеннях параметра форми *b*.

Розрахунки, проведені за допомогою (7) показують, наприклад, що при значеннях $\frac{a_2}{a_1}$ =0,3, Δ =0,8 і b =1 величина ψ_2= 1,18, а при b=2 отримуємо ψ_2 =1,25.

При більшій відмінності середніх ресурсів у групах, наприклад, якщо $\frac{a_2}{a_1}$ =0,2 і Δ =2 ефективність зростає:

при b=1 ψ_2 =1,31;

при b=2 ψ_2 =1,4;

при b=3 ψ_2 =1,45.

Ефективність для послідовної системи з двох елементів, при селекції їх на три групи, можна оцінити аналогічно. Для цього розглянемо випадок, коли вірогідність безвідмовної роботи елементу визначається за формулою:

$$R_e(t) = \Delta_1 \cdot e^{-\left(\frac{t}{a_1}\right)^b} + \Delta_2 \cdot e^{-\left(\frac{t}{a_2}\right)^b} + (1 - \Delta_1 - \Delta_2) e^{-\left(\frac{t}{a_3}\right)^b} \qquad (8)$$

Формула для середнього ресурсу елемента має вид:

$$T_e = \left[\Delta_1 \cdot a_1 + \Delta_2 a_2 + \left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right) \cdot a_3\right] \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right).$$

Вірогідність безвідмовної роботи системи, без використання при складанні селективних методів, визначається з урахуванням (8):

$$R_C(t) = \Delta_1^2 e^{-2\left(\frac{t}{a_1}\right)^b} + 2\Delta_1 \cdot \Delta_2 e^{-\left(\frac{t}{a_1}\right)^b - \left(\frac{t}{a_2}\right)^b} + \Delta_2^2 e^{-2\left(\frac{t}{a_2}\right)^b} + 2\Delta_1\left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right) \cdot e^{-\left(\frac{t}{a_1}\right)^b - \left(\frac{t}{a_3}\right)^b} + \tag{9}$$

$$+ 2\Delta_2\left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right) e^{-\left(\frac{t}{a_2}\right)^b - \left(\frac{t}{a_3}\right)^b} + \left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right)^2 \cdot e^{-2\left(\frac{t}{a_3}\right)^b}.$$

Середній ресурс системи при цьому:

$$T_C = 2^{-\frac{1}{b}}\left[\Delta_1^2 \cdot a_1 + 2\Delta_1 \cdot \Delta_2 \left(\frac{2a_1^b \cdot a_2^b}{a_1^b + a_2^b}\right)^{\frac{1}{b}} + \Delta_2^2 \cdot a_2 + 2\Delta_1\left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right)\left(\frac{2a_1^b \cdot a_3^b}{a_1^b + a_2^b}\right)^{\frac{1}{b}} + 2\Delta_2\left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right) \times \right. \tag{10}$$

$$\left. \times \left(\frac{2a_2^b \cdot a_3^b}{a_2^b + a_3^b}\right)^{\frac{1}{b}} + \left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right)^2 a_3 \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right).\right.$$

Якщо системи складати селективним методом, шляхом об'єднання елементів які належать одній селективній групі, то вірогідність безвідмовної роботи системи буде визначатись виразом:

$$\widetilde{R}_C(t) = \Delta_1 \cdot e^{-2\left(\frac{t}{a_1}\right)^b} + \Delta_2 e^{-2\left(\frac{t}{a_2}\right)^b} + \left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right) e^{-2\left(\frac{t}{a_3}\right)^b},$$

а середній ресурс такої системи:

$$\widetilde{T}_C = 2^{-\frac{1}{b}}\left[\Delta_1 \cdot a_1 + \Delta_2 \cdot a_2 + \left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right) a_3\right] \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \tag{11}$$

Вираз для критерію ефективності селекції в цьому випадку має вигляд:

$$\psi_3 = \left[\Delta_1 + \Delta \frac{a_2}{a_1} + \left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right)\frac{a_3}{a_1}\right] \left\{ \Delta_1^2 + 2\Delta_1 \Delta_2 \cdot \left[\frac{2}{\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^b + 1}\right]^{\frac{1}{b}} + \Delta_2^2 + \frac{a_2}{a_1} + 2\Delta_1\left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right) \times \right. \tag{12}$$

$$\left. \times \left[\frac{2}{\left(\frac{a_1}{a_3}\right)^b + 1}\right]^{\frac{1}{b}} + 2\Delta_2\left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right)\left[\frac{2}{\left(\frac{a_3}{a_2}\right)^b + 1}\right]^{\frac{1}{b}} \frac{a_3}{a_1} + \left(1 - \Delta_1 - \Delta_2\right)^2 \frac{a_3}{a_1} \right\}.$$

Розрахунки, проведені за формулою (12) показують, що підвищення числа селективних груп приводе до зростання критерію ефективності. Так, якщо $\frac{a_2}{a_1}$=0,5; $\frac{a_3}{a_1}$=0,1; Δ_1=0,2; Δ_2=0,2; (при цих умовах середній ресурс елементу такий же як і у другому прикладі з розбиванням на дві селективні групи), то при b=2 величина ψ_3=1,69, а при b=3 ψ_3=1,75.

Таким чином, за рахунок використання селективних методів складання систем з послідовною структурою і при невеликій кількості селективних груп можливо підвищити середній ресурс у 1,5 і більше рази. При цьому результат також залежить від співвідношення середніх ресурсів елементів в кожній групі.

Список використаних джерел

1. Анилович В.Я. Надежность машин в задачах и примерах./ В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко – Харьков: Око, 2001. – 320 с.
2. Анилович В.Я. Обеспечение надежности сельскохозяйственной техники./ В.Я. Анилович, В.Г. Карпов – К.: Техника, 1989. – 125 с.

Аннотация

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ СЕЛЕКЦИИ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Иванов В.И.; Калинин Е.И.; Дейнека Є.П.; Скитин А.С.

На примере объекта, состоящего из последовательно соединенных равно надёжных элементов, показано влияние селекции на повышение его надёжности

Abstract

INCREASE RELIABILITY OF SYSTEM BY THE METHOD OF SELECTION ITS ELEMENTS

Ivanov V.I.; Kalinin E.I.; Deineka E.P.; Skitin A.S.

On the example of object consisting of the consistently united equally reliable elements, influence of selection on the rise of his reliability is shown