УДК 629.7.017.1

***МІЦІТІС А. К.**, старший науковий співробітник*
***ХАТУНЦЕВА З.В.**, науковий співробітник*

ВИБІР КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДАМИ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

Розглядається спосіб зменшення кількості критеріїв ефективності методами кореляційного аналізу, наведений приклад його застосування

Ключові слова: критерій ефективності, оптимізація, кореляційний аналіз

Метою критеріальних досліджень при формуванні і обґрунтуванні обліку складних технічних систем є формалізація процесу шляхом виявлення важливих реально існуючих або штучно сформованих кількісних показників, які в найбільший мірі відбивають ступінь відповідності конкретного варіанта системи його призначенню.

При вирішенні задач з пошуку оптимального варіанта зразка авіаційної техніки рідко застосовується один критерій ефективності. Критеріїв, як правило, є декілька. В цій ситуації, перш за все, необхідно спробувати зменшити кількість критеріїв.

Є декілька способів зменшення кількості критеріїв. Значну допомогу в цьому може надати кореляційний аналіз.

В ситуації з багатьма критеріями ефективності доцільно встановлювати статистичні зв’язки між ними за допомогою кореляційного аналізу. Суть цього прийому складається у визначенні коефіцієнтів парної кореляції між кожними двома критеріями. За наявності високої кореляції між критеріями будь-який з них можна вилучити з розгляду, так як він не містить додаткової інформації про об’єкт дослідження, крім тієї, що отримана за допомогою другого. Виключаються, як правило, ті критерії, які методично важче визначити або фізичний зміст яких менш зрозумілий.

Окремий інтерес представляють задачі про зменшення кількості критеріїв, фізичний зміст яких зрозумілий і які достатньо легко розраховуються. Розглянемо приклад застосування кореляційного аналізу для пошуку статистичних зв’язків між критеріями ефективності і виділенні найбільш значущих з них саме для такої задачі.

Оцінку ефективності 10 гіпотетичних багатофункціональних літаків у варіанті винищувачів планувалось здійснювати за кількома критеріями ефективності, які були розраховані за математичними моделями або знайдені у джерелах відкритої інформації.

В якості першого критерію ефективності було обрано математичне сподівання коефіцієнта тактичної переваги EFF альтернативного винищувача над еталонним.

При виборі решти критеріїв розглядались наступні:

кількість годин призначеного ресурсу літака NR;

вартість однієї льотної «сухої» (без врахування пального) години літака C1;

вартість експлуатації літака CE ;

вартість (ринкова, договірна) літака CS;

вартість життєвого циклу літака CC.

Абсолютні значення коефіцієнтів парної кореляції $r_{розр}$ представлені в матриці Q (рис. 1). Для довірчої імовірності $P = 0{,}999$ (імовірність практично неможливих подій $\alpha = 0{,}001$) і кількості ступенів свободи $f = N\text{-}2$, де N – кількість літаків, критичне значення коефіцієнта кореляції складе $r_{кр} = 0{,}872$. Лінійний зв’язок є статистично значимим при $|r_{розр}| \geq r_{кр}$. Виявлені за допомогою кореляційного аналізу лінійні зв’язки між критеріями оптимальності можна представити у вигляді зв’язного графа, де вершини – критерії, а наявність ребра вказує на наявність статистично значимого лінійного зв’язку між критеріями (рис. 2).

$$Q := \begin{pmatrix} \text{"*"} & \text{"NR"} & \text{"C1"} & \text{"CS"} & \text{"CE"} & \text{"CC"} & \text{"EFF"} \\ \text{"NR"} & 1 & 0.66 & 0.60 & 0.78 & 0.75 & 0.24 \\ \text{"C1"} & 0.66 & 1 & 0.88 & 0.98 & 0.97 & 0.59 \\ \text{"CS"} & 0.60 & 0.88 & 1 & 0.89 & 0.94 & 0.39 \\ \text{"CE"} & 0.78 & 0.98 & 0.89 & 1 & 0.99 & 0.53 \\ \text{"CC"} & 0.75 & 0.97 & 0.94 & 0.99 & 1 & 0.5 \\ \text{"EFF"} & 0.24 & 0.59 & 0.39 & 0.53 & 0.5 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 1

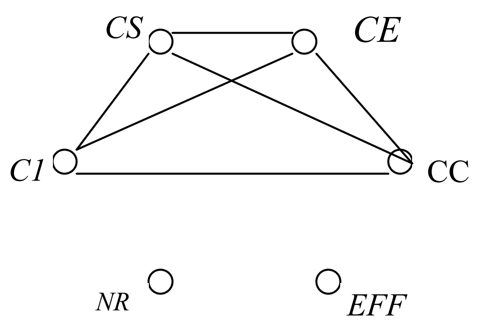

Рис. 2

Як можна бачити з рис. 2, критерії, які ні з чим не корелюють – це математичне сподівання коефіцієнта тактичної переваги альтернативного винищувача над еталонним *EFF* і кількість годин призначеного ресурсу літака NR. Їх можна прийняти в якості двох перших критеріїв ефективності. Далі розглянемо граф з вершинами *C1, CS, CE, CC*. Всі чотири критерії *C1, CS, CE, CC* тісно закорельовані один з одним, тому три з них можна вилучити з розгляду. Для

виділення з них найбільш впливового критерію будемо застосовувати прийом, відомий в теорії графів як рішення так званої «задачі про лідера». За термінологією теорії графів «впливовість» вершини графа визначається кількістю ребер, що виходять з неї. «Впливовість» критеріїв *C1, CS, CE, CC* однакова.
Вершина характеризується і «могутністю», що визначається тим, наскільки впливові вершини, що зв'язані ребрами з даною вершиною. Розглянемо для графа «*C1- CS-CE-CC»* в якості матриці суміжності матрицю коефіцієнтів кореляції *Q1* (рис.3). Всі коефіцієнти кореляції матриці *Q1* є статистично значимими.

$$Q1 := \begin{pmatrix} \text{"*"} & \text{"C1"} & \text{"CS"} & \text{"CE"} & \text{"CC"} \\ \text{"C1"} & 1 & 0.88 & 0.98 & 0.97 \\ \text{"CS"} & 0.88 & 1 & 0.89 & 0.94 \\ \text{"CE"} & 0.98 & 0.89 & 1 & 0.99 \\ \text{"CC"} & 0.97 & 0.94 & 0.99 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 3

Позначимо через $p_j^i(k)$ загальний елемент матриці суміжності, тобто кількість шляхів довжини *k*, що з'єднують *i-ту* вершину із *j-ою* і запишемо

$$p^i(k) = p_1^i(k) + p_2^i(k) + \ldots + p_l^i(k)\,, \tag{1}$$

де *l* – кількість вершин графа.

Число $p^i(k)$ є ітерованою силою порядку *k* *i-тої* вершини.

Ітерована сила порядку 1 $p^i(1)$ дорівнює сумі елементів матриці суміжності за строками (2):

$$\begin{cases} p^1(1) = r_{11} + r_{12} + r_{13} + \ldots + r_{1l} \\ p^2(1) = r_{21} + r_{22} + r_{23} + \ldots + r_{2l} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ p^l(1) = r_{l1} + r_{l2} + r_{l3} + \ldots + r_{l4} \end{cases} . \tag{2}$$

Так, для матриці *Q1* $p^{C1}(1) = 1 + 0.88 + 0.98 + 0.97 = 3.83$.

Сили порядку 2 $p^i(2)$ можна знайти за формулами (3).

$$\begin{cases} p^1(2) = r_{11}p^1(1) + r_{12}p^2(1) + r_{13}p^3(1) + \ldots + r_{1l}p^l(1) \\ p^2(2) = r_{21}p^1(1) + r_{22}p^2(1) + r_{23}p^3(1) + \ldots + r_{2l}p^l(1) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ p^l(2) = r_{l1}p^1(1) + r_{l2}p^2(1) + r_{l3}p^3(1) + \ldots + r_{ll}p^l(1) \end{cases} \tag{3}$$

Так, для $p^{C1}(2) = 3.83 + 0.88 \cdot 3.71 + 0.98 \cdot 3.86 + 0.97 \cdot 3.9 = 14.661$

Ітерацію можна продовжувати аналогічно попереднім і для сили порядку 3 $p^i(3)$ (формула 4).

$$\begin{cases} p^1(3) = r_{11}p^1(2) + r_{12}p^2(2) + r_{13}p^3(2) + \ldots + r_{1l}p^l(2) \\ p^2(3) = r_{21}p^1(2) + r_{22}p^2(2) + r_{23}p^3(2) + \ldots + r_{2l}p^l(2) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ p^l(3) = r_{l1}p^1(2) + r_{l2}p^2(2) + r_{l3}p^3(2) + \ldots + r_{ll}p^l(2) \end{cases} \tag{4}$$

Результати всіх трьох ітерацій *1 iter, 2 iter, 3 iter* зведені в матрицю *Q2* (рис.4).

$$Q2 := \begin{pmatrix} \text{"*"} & \text{"C1"} & \text{"CS"} & \text{"CE"} & \text{"CC"} & \text{"1 iter"} & \text{"2 iter"} & \text{"3 iter"} \\ \text{"C1"} & 1 & 0.88 & 0.98 & 0.97 & 3.83 & 14.661 & 56.098 \\ \text{"CS"} & 0.88 & 1 & 0.89 & 0.94 & 3.71 & 14.182 & 54.263 \\ \text{"CE"} & 0.98 & 0.89 & 1 & 0.99 & 3.86 & 14.776 & 56.541 \\ \text{"CC"} & 0.97 & 0.94 & 0.99 & 1 & 3.9 & 14.924 & 57.104 \end{pmatrix}$$

Рис. 4

Проведений аналіз показав, що за «могутністю» по всіх трьох ітераціях (стійке рішення) критерії розташовані в такий ряд: CC, CE, C1, CS.

Таким чином, при визначенні компромісного варіанта багатофункціонального винищувача будуть застосовані три критерії оптимальності: математичне сподівання коефіцієнта тактичної переваги альтернативного винищувача над еталонним EFF, вартість життєвого циклу літака CC, призначений ресурс багатофункціонального літака NR. Це підтверджується практикою досліджень з обґрунтування перспектив розвитку авіаційної техніки, де отримала широке поширення тріада критеріїв ефективність – вартість – час [2] .

ЛІТЕРАТУРА

1. Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования эксперимента. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.
2. А.Н. Воронин, Ю.К. Зиатдинов, А.В. Харченко. Сложные технические и эргатические системы. – Харьков, 1997. – 240 с.

Надійшла до редакції 31.10.2011