

УДК 681.004.6

И.Е. Волкова, Ю.В. Соколова

**ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛУБИНЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ВХОДЯЩИХ В ЕЕ СОСТАВ ПОДСИСТЕМ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Решается задача обеспечения требуемого коэффициента надежности сложной системы, состоящей из подсистем. Рассматривается алгоритм обеспечения оптимального распределения точек контроля по подсистемам, используя весовые коэффициенты, полученные на основе метода экспертных оценок.

Ключевые слова: объект диагностирования, глубина диагностирования, дефект, коэффициенты весомости.

Эффективность систем диагностики сложных технических объектов, состоящих из большого количества подсистем, зависит от обеспечения контролепригодности входящих в состав подсистем. С учетом существующих ограничений (затраты, функциональные возможности) не удастся обеспечить значение оптимальной контролепригодности каждой подсистемы, вследствие чего встает задача распределения контролепригодности по подсистемам. В зависимости от приоритета каждой подсистемы при выполнении поставленных задач можно назначить весовой коэффициент, используя, например, метод экспертных оценок.

Пусть под моделью объекта диагностирования понимается сложная система S , состоящая из n подсистем $S_1, S_2 \dots S_n$, связанных друг с другом определенным образом.

Задача максимизации коэффициента глубины диагностирования всей системы на заданном числе точек контроля с учетом весовых коэффициентов подсистем имеет вид

$$K_{ГД}^S = \sum_{i=1}^n (K_{ГД}^i * \beta_i) \rightarrow \max ,$$

где $K_{ГД}^i$ - коэффициент глубины диагностирования i -й подсистемы, n - количество подсистем, β_i - весовой коэффициент i -й подсистемы.

Коэффициент глубины диагностирования кратности не более i определяется выражением

$$K_{z0}^i(z) = \frac{K_{z0}^i}{S^i},$$

где S^i – общее число возможных дефектов кратности не более i на множестве Z точек контроля.

Число однозначно выявляемых дефектов удобно определять по матрице проверок B_z , построенной на множестве Z точек контроля.

Очевидно, что в объекте число возможных дефектов кратности не более i определяется из выражения

$$S^i = \sum_{k=1}^i C_n^k,$$

где n – число одиночных дефектов, определяемое числом столбцов матрицы проверок B_z ; C_n^k – число сочетаний из n элементов по k .

Пусть в результате рассмотрения матрицы проверок определены соотношения вида

$$b^{\nu 1} \cup b^{\nu 2} \cup \dots \cup b^{\nu k} = b^{\mu 1} \cup b^{\mu 2} \cup b^{\mu l} \cup \dots b^{\mu t}, \quad (1)$$

где b^j – вектор-столбец матрицы B_z с номером j , и каждое из чисел $k, l, \dots r, t$ не превосходит i .

Каждое соотношение вида (1) определяет два эквивалентных дефекта кратности не более i . Построив все возможные соотношения этого вида, сможем объединить эквивалентные между собой дефекты в классы эквивалентности. Пусть получено S классов эквивалентности с числом элементов $n_j^{(i)} (j=1, \dots, S)$ в каждом классе. Тогда коэффициент глубины диагностирования кратности не более i определяется из выражения

$$F(z)^{(i)} = \frac{\sum_{k=1}^i C_n^k - \sum_{j=1}^S n_j^{(i)}}{\sum_{k=1}^i C_n^k}.$$

При этом если необходимо определить $K_{2\partial}^{(i)}$ при существовании однократных дефектов ($i=1$), то из (1) необходимо взять только те выражения, которые содержат в левой и правой частях равенства не более одного элемента, если $i=2$, то - не более двух элементов.

Таким образом, коэффициент глубины диагностирования кратности не более i определяется из выражения

$$F(z)^{(i)} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^S n_j^{(i)}}{\sum_{k=1}^i C_n^k}.$$

Для случая одиночных дефектов выражение (2) примет вид

$$F(z)^{(1)} = n - \sum_{j=1}^S n_j^{(1)},$$

где n – общее число одиночных дефектов в объекте диагностирования, определяемое числом столбцов матрицы проверок B_z ; $n_j^{(1)}$ – число неразличимых одиночных дефектов, определяемое числом совпадающих между собой столбцов матрицы проверок B_z .

Тогда коэффициент глубины диагностирования одиночного дефекта имеет вид

$$K_{2\partial}^{(1)}(Z) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^S n_j^{(1)}}{n}.$$

Следовательно,

$$F^{(1)}(Z) = F(Z), K_{2\partial}^{(1)} = K_{2\partial}(Z)$$

$$K_{2\partial}(Z) = \frac{F(Z)}{n}.$$

Очевидно, что $F(Z) = n - T(Z)$, где $T(Z) = \sum_{j=1}^S n_j^1$ - суммарное число совпадающих столбцов матрицы проверок B_z .

Тогда

$$K_{2\partial}(Z) = 1 - \frac{T(Z)}{n}. \quad (2)$$

Если полагать, что в объекте диагностирования возможны только одиночные дефекты, следовательно, коэффициент глубины диагностирования подсистем будет вычисляться в соответствии с выражением (2).

Значения коэффициентов весомости технических параметров показывают, во сколько раз меньше оценивается прирост уровня качества всего технического изделия по сравнению с приростом одного из технических параметров при неизменных остальных.

Коэффициенты весомости, как правило, на практике определяют экспертным методом

одним из следующих способов: предпочтения, ранга, попарного сопоставления, последовательных сопоставлений и др. При этом надо отметить, что с возрастанием числа экспертов, проводящих оценку, повышается достоверность результатов.

На практике используются приведенные коэффициенты весомости, для которых справедливо условие

$$\sum_l W_j = 1,$$

где l – число экспертов, и

$$W_j = \frac{K_j}{\sum_i K_j}.$$

Для более общих случаев целесообразно пользоваться формулой $W_j = 1 - (R_j - 1) / l$, где R_j - ранг j показателя или его порядковый номер в ранжированной таблице показателей. Значения приведенных коэффициентов весомости в данном случае объединяются по формуле

$$W_j = \frac{1 - (R_j - 1) / l}{\sum_l [1 - (R_j - 1) / l]}.$$

Полученные коэффициенты весомости будут отличаться от стоящих рядом на одну фиксированную величину, т. е. полученная зависимость между коэффициентами весомости будет носить линейный характер.

Если же получаемые коэффициенты весомости должны нелинейно отличаться друг от друга, необходимо использовать формулу

$$W_j = 1 - (R_j - 1) / R_j.$$

А для приведенных коэффициентов весомости

$$W_j = \frac{1 - (R_j - 1) / R_j}{\sum_l [1 - (R_j - 1) / R_j]}.$$

Значения, полученных по этой формуле коэффициентов весомости, будут подчиняться гиперболической зависимости.

Рассмотрим пример назначения дополнительных точек контроля для сложной системы в следующей постановке.

Пусть задано множество Y_0 ($|Y_0|=t$) точек контроля всей системы, обусловленных назначением и конструктивным исполнением объекта диагностирования. Для системы задано число l дополнительно организуемых точек контроля. Требуется дополнить множество Y_0 точек контроля множеством Z^* ($|Z^*|=t$) так, чтобы на множестве $Y_0 \cup Z^*$ достигалось максимальное значение коэффициента глубины диагностирования всей системы.

Формальная постановка задачи выглядит следующим образом:

$$K_{gd}(Y_0 \cup Z^*) = \max_Z K_{gd}(Y_0 \cup Z^*), |Z| = l.$$

Алгоритм назначения точек контроля

1. Выбирается место первой точки контроля из l возможных. Для этого вычисляется показатель γ_i для каждой i подсистемы:

$$\gamma_i = (K_{gd}(k+1))_i - (K_{gd}(k))_i * \beta_i,$$

где k – количество точек контроля, i – номер подсистемы, β_i – весовой коэффициент для i подсистемы.

2. Точка контроля l^i будет назначена в ту подсистему i , где значение γ_i будет максимально.

$$\gamma_i = \max(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n).$$

3. Далее повторяется п.1, но учитывается, что в i подсистему точка контроля уже назначена (т.е. $K_{гд}$ этой подсистемы увеличился).

Процедуру необходимо продолжать до того момента, пока в системе, не будет назначено l точек контроля.

Допустим, задано 5 дополнительно организуемых точек контроля (табл. 1).

Таблица 1

Распределение $K_{гд}$ при 5 точках контроля

Подсистемы	Вес. ко-эф.	Количество точек контроля					Кол-во т.контр.	$K_{гд}$
		0	1	2	3	4		
Подсистема S1	0,2	0,5	0,75	1	1	1	2	1
Подсистема S2	0,3	0,28	0,57	0,71	1	1	1	0,57
Подсистема S3	0,5	0,4	0,6	0,7	0,8	1	2	0,7

Тогда $K_{гд}$ всей системы на 5 назначенных точках контроля будет иметь значение

$$K_{гд} = K_{гд1} \cdot \beta_1 + K_{гд2} \cdot \beta_2 + K_{гд3} \cdot \beta_3$$

$$K_{гд} = 1 \cdot 0,2 + 0,57 \cdot 0,3 + 0,7 \cdot 0,5 = 0,721.$$

Получено распределение заданного числа точек контроля по подсистемам, обеспечивающих максимальное значение $K_{гд}$ всей системы.

Дата поступления
в редакцию 11.12.2014

I.E. Volkova, J.V. Sokolova

OPTIMIZATION OF DEPTH DIAGNOSIS OF THE COMPLEX SYSTEM, BASED ON WEIGHT COEFFICIENTS IN ITS SUBSYSTEMS

The problem of ensuring the required safety factor of a complex system consisting of subsystems. An algorithm for optimal distribution of control points in subsystems using weights derived from the method of expert estimations.

Key words: object diagnosing, depth diagnostics, defect, weighting factor.