

УДК 621.396

В.Г. КУЧМИЕВ, Н.В. ДОЦЕНКО, Е.Е. МАЛАФЕЕВ, И.В. ЧУМАЧЕНКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

Статья посвящена развитию теории диагностических моделей. Исследованы свойства графовых диагностических моделей. Полученные результаты будут полезны при решении перечислительных задач, например, при построении типовых диагностических процедур и унификации типовых проектных решений.

**графовая модель, диагностика, контроль, надежность, проектное решение, перечислительные задачи**

Сокращение длительности простоев авиационной техники может быть достигнуто уменьшением времени определения работоспособности объектов авиационной оборудования и поиска места отказа в них. Эта проблема может быть решена путем разработки и внедрения в эксплуатацию прогрессивных методов и средств контроля технического состояния [1]. Техническая диагностика позволяет эффективно решать многие задачи в сфере производства и эксплуатации сложных систем. Получаемая информация с помощью средств технической диагностики об исправности устройств, месте и причинах отказов позволяет установить прямые и обратные связи управления качеством и надежностью эксплуатируемой системы. Одной из мер поддержания необходимого уровня надежности дискретных систем является проверка и диагностика технического состояния системы.

Задача выбора необходимого множества тестовых входных воздействий является одной из задач кибернетики [2]. Ее решение связано с построением модели исследуемой системы. Получение такой модели системы связано с построением специального математического описания, необходимого для диагностических рассуждений [3].

Математической моделью объекта диагностирования называется формальное описание объекта диагностирования и его поведения во всех технических состояниях. Явная модель объекта технически-

го диагностирования включает в себя совокупность формальных описаний всех необходимых технических состояний объекта [4].

Формальное описание может быть представлено в аналитической, табличной, векторной, графической или другой форме и задано в явном или неявном виде. Наиболее распространенной формой представления диагностических моделей является табличная форма диагностической модели, так называемая матрица неисправностей [5]. Табличная модель представляет собой прямоугольную таблицу (табл.1), в строках которой - соответствующие допустимые элементарные проверки, т.е. признаки  $p_i$  в контрольных точках объекта, а в столбцах - технические состояния  $a_j$  объекта в множестве  $A$ .

Таблица 1

Форма диагностической модели

P/A	$a_1$	$a_2$		$a_k$
$p_1$	$R_{11}$	$R_{12}$		$R_{1k}$
$p_2$	$R_{21}$	$R_{22}$		$R_{2k}$
...	...	...	...	...
$p_n$	$R_{n1}$	$R_{n2}$		$R_{nk}$

В клетке таблицы, расположенной на пересечении строки  $p_i$  и столбца  $a_j$ , проставляются результаты элементарной проверки  $p_i$  объекта, который находится в состоянии  $a_j$ . Если при проверке признака  $p_i$  последний - в допуске для объекта, который находится в состоянии  $a_j$ , то результату проверки

присваивается  $R_{ij} = 0$ . Если признак  $p_i$  находится не в допуске, то  $R_{ij} = 1$ .

Данная форма удобна для программирования и достаточно наглядна, однако при решении ряда задач, например, перечисления типовых диагностических моделей, возникают определенные проблемы, связанные с комбинаторной природой рассматриваемой проблемы. В этом случае целесообразно применять графовые модели, для которых разработаны более эффективные методы преобразований.

Целью настоящей работы является исследование графовых моделей объектов диагностирования и их свойств.

Пусть  $n$  – количество элементарных проверок,

$k$  – количество состояний объекта диагностирования,

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – множество проверок,

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$  – множество состояний объекта диагностирования,

$A^i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}\}$  – множество состояний объекта диагностирования, обнаруживаемых  $i$ -ой проверкой;  $A_i \notin A_j$ ;  $i = 1 \dots n, j = 1 \dots n, i \neq j$ .

$R = \{R_{11}, \dots, R_{nk}\}$  – множество реакций объекта диагностирования на соответствующие проверки, тогда математическая модель объекта диагностирования может быть представлена в виде двудольного графа (биграфа, 2-раскрашиваемого графа).

В общем случае двудольный граф – это граф  $G$ , множество вершин которого  $V$  можно разбить на два подмножества  $V_1$  и  $V_2$  таким образом, что каждое ребро графа  $G$  соединяет вершины из разных множеств. Применительно к диагностическим моделям будем полагать, что первое подмножество вершин соответствует множеству проверок  $P$  (на рисунках обозначены белым цветом), а второе подмножество соответствует множеству состояний объекта диагностирования  $A$  (на рисунках обозначены черным цветом). Ребро графа  $(i, j)$ , соединяющее вершину  $i$  из первого подмножества и вершину  $j$  из

второго подмножества существует, если  $R_{ij} = 1$ . Граф, который является графовой моделью объекта диагностирования будем обозначать “ $M$ ” или “ $M(n, k)$ ” и, для краткости дальнейшего изложения, называть  $M$ -графом. На рис. 1 приведен пример табличной модели и соответствующего ей  $M$ -графа.

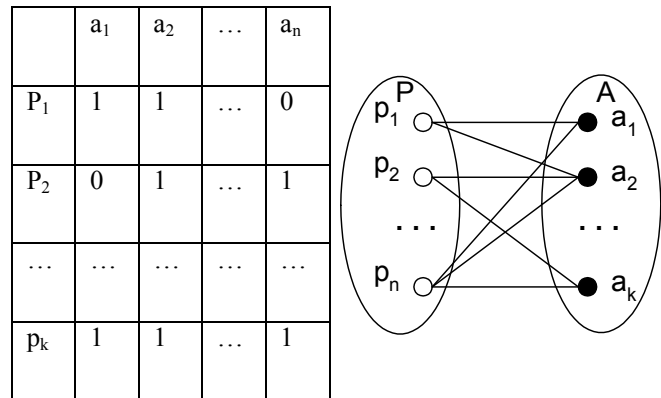


Рис. 1. Табличная и графовая модели

$M$ -граф, соответствующий  $i$ -ой элементарной проверке будем обозначать  $M^o_i$ .

Рассмотрим свойства  $M$ -графов.

1.  $M$ -граф может быть представлен в виде объединения  $M$ -графов элементарных проверок, т.е.  $M = M^o_1 \cup M^o_2 \cup \dots \cup M^o_n$ . На рис. 2 приведен пример объединения  $M^o$ -графов.

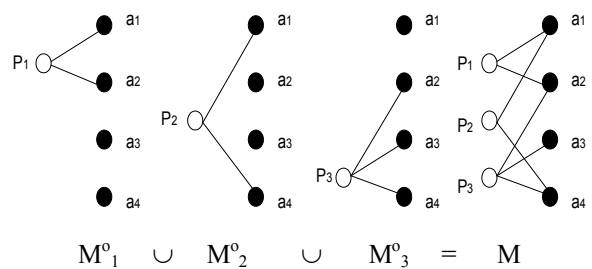
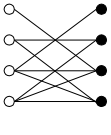
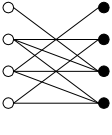
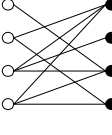
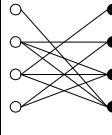


Рис. 2. Объединение  $M^o$ -графов

2.  $k > \deg(p_i) > 0$ , где  $\deg(p_i)$  – степень вершины  $p_i$ . Вершины подмножества проверок, имеющие степень 0 или  $k$  и соответствующие им проверки не информативны при построении диагностических тестов.

Таблица 2

Примеры изоморфных М-графов

Вид диагн. модели	Исходная модель	Преобразования		
		проверок	состояний	проверок и состояний
Табличная	0010	0010	0010	0001
	0101	0111	1001	0111
	1011	1011	1110	1011
	0111	0101	1011	0110
Графовая				

3.  $\text{deg}(a_j) > 0$ , где  $\text{deg}(a_j)$  – степень вершины  $a_j$ . Вершины из множества  $A$ , имеющие степень 0 соответствуют не обнаруживаемым состояниям объекта диагностирования.

4.  $\text{deg}(p_1) + \dots + \text{deg}(p_n) = \text{deg}(a_1) + \dots + \text{deg}(a_k)$ . Это свойство вытекает из свойств ребер двудольного графа, которые связывают вершины из двух подмножеств.

5. Минимальное количество ребер  $M(n,k)$ -графа  $g_{\min}$  определяется следующим образом:

$$g_{\min} = \max(n, k).$$

Поскольку  $\text{deg}(p_i) > 0$ ,  $\text{deg}(a_j) > 0$ , то возможны два граничных случая: при  $n < k$ ,  $g_{\min} = k$ , а при  $n > k$ ,  $g_{\min} = n$ .

6. Верхняя граница максимального количества ребер  $M(n,k)$ -графа  $g_{\max}$  определяется следующим образом:  $Lt > g_{\max}$ , где  $Lt$  – оценка Турана [6]. Применительно к  $M$ -графам  $Lt = \lfloor (n+k)^2/4 \rfloor$ .

7. Диагностические модели, полученные в результате изменения номеров проверок и (или) номеров состояний эквивалентны относительно указанной группы преобразований [6], а соответствующие им  $M$ -графы изоморфны. В таблице 2 приведены примеры изоморфных  $M$ -графов.

## Выводы

В данной работе рассмотрены графовые модели объектов диагностирования, показана их связь с табличными формами и исследованы свойства  $M$ -графов. Полученные результаты будут полезны при решении перечислительных задач, например построения типовых диагностических процедур и унификации типовых проектных решений.

## Литература

1. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования/В.Г.Воробьев, Ю.В.Глухов, Ю.В.Козлов и др. Под ред. И.М.Синдеева. М.Транспорт,1984.-191 с.
2. Техническая эксплуатация авиационного оборудования/ В.Г. Воробьев, В.Д. Константинов, В.Г.Денисов и др.; Под ред. В.Г. Воробьева. М.Транспорт, 1990 - 296с.
3. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем.-Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение, 1988.-
4. Аржененко А.Ю., Чугаев Б.Н.. Оптимальные бинарные вопросники.-М.: Энергоатомиздат, 1989.-128с.
5. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств.-М.:Радио и связь, 1989. - 248 с.
6. Жихарев В.Я., Шилова Т.В., Доценко Н.В. Эквивалентность диагностических моделей // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: «ХАИ» «Торнадо», 2002. - № 11. – С. 92-96.

Поступила в редакцию 15.09.03

**Рецензент:** д.т.н., проф. Кононенко И.В, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»