

*Г.А. ОБОРСКИЙ*, д-р техн. наук,  
*О.С. САВЕЛЬЕВА*, канд. техн. наук, *Н.А. КОТЕНКО*, Одесса, Украина

## **ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Запропоновано метод побудови інформаційних морфологічних моделей деталей машин, який полягає у розбитті об'єма деталі на скінченні елементи та заміні таких елементів формальними нейронами. Зв'язки між нейронами моделюють механічні зв'язки між скінченними елементами розбиття, а спеціальні перетворення приводять структуру скінченних елементів до структури однієї з відомих нейронних мереж, наприклад, прямого поширення.

Предложен метод построения информационных морфологических моделей деталей машин, состоящий в разбиении объема детали на конечные элементы и замене таких элементов формальными нейронами. Связи между нейронами моделируют механические связи между конечными элементами разбиения, а специальные преобразования приводят структуру конечных элементов к структуре одной из известных нейронных сетей, например, прямого распространения.

The method of information morphological models construction of the cars details, consisting in splitting of a detail volume into final elements and replacement of such elements formal neurons is offered. Communications between neurons model mechanical communications between final elements of splitting, and special transformations lead structure of final elements to structure of one of known neural networks, for example, direct distribution.

Построение эффективных систем управления надежностью технических систем невозможно без разработки адекватных моделей их «поведения» на всех этапах жизненного цикла и, в особенности, на этапе эксплуатации, когда накапливаются повреждения, приводящие в итоге к отказу системы в целом. В технических системах ответственного назначения зачастую применяется резервирование элементов, когда каждый последующий элемент имеет возможность исправить отказ предыдущего, изменяя свою «нагрузку» [1].

Как правило, такой же избыточностью обладают искусственные нейронные сети (НС), продолжающие исправно функционировать при потере некоторой части нейронов и связей между ними. Возможное структурное подобие технических и информационных моделей позволило предложить метод оценки отказоустойчивости сложных систем с помощью топологически подобных им (изоморфных) НС [2 – 4].

К сожалению, у этого метода есть один существенный недостаток: если структура моделируемого объекта не соответствует структуре ни одной из известных НС, то использование этого метода невозможно. Это

обстоятельство накладывает серьезные ограничения на применение метода, т.к. множество вариантов разбиения технических объектов (даже одной детали!) теоретически бесконечно, а количество вариантов структур существующих НС невелико [5].

Особенные трудности возникают при искусственной дискретизации объекта моделирования, например, на конечные элементы, т.к. в этом случае получающаяся структура чаще всего 3-х мерная, а известных 3-х мерных нейронных сетей не существует.

В работе предлагается метод увязки структуры объекта, получающегося в результате дискретизации на элементы, располагающиеся вдоль ортогональных осей со структурой многослойных неполносвязных НС прямого распространения.

На рис. 1, *а* для двухмерного случая показан пример условного разбиения некоторого объекта на  $3 \times 3 = 9$  элементов, связанных между собой по линиям, совпадающим с ортогональной двухмерной сеткой, проходящей через их центр.

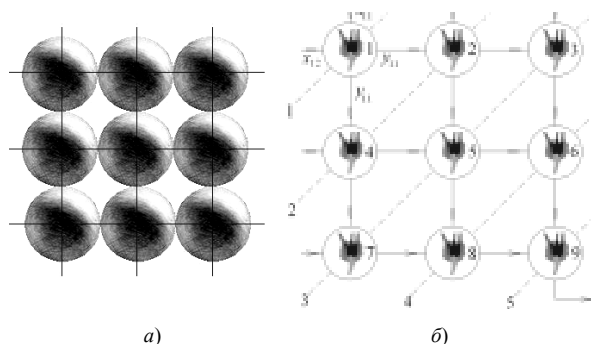


Рисунок 1 – Схема разбиения двухмерного объекта

Расположим нейроны в узлах такой же сетки (рис. 1, *б*) и обозначим связи между ними, причем направленность связей выберем слева направо и сверху вниз. Далее через центры узлов решетки проведем наклонные линии (пунктирные линии на рис. 1, *б*).

Если нейрон 1 считать входным, а нейрон 9 – выходным, то каждая такая линия представляет отдельный слой НС, что наглядно видно на рис. 2. Здесь для наглядности добавлен распределительный слой, который собирает информацию, поступающую на вход НС и перенаправляет ее к первому нейрону. Таким образом «неудобная» для исследования НС (рис. 1, *а*) превращается в обычную шестислойную неполносвязную НС прямого распространения, которая, как известно, может быть использована для решения задач классификации или прогнозирования временных трендов.

Переходя по аналогии с рассмотренным примером к трехмерной дискретизации (рис. 3, *а*), получим трехмерную сетку нейронов (рис. 3, *б*), направление связей между которыми в этом случае выбраны слева направо, сверху вниз и спереди назад.

«Повернем» сетку так, чтобы вертикальная ось проходила через центры узлов 1 и 27, и получим опять многослойную неполносвязную НС прямого распространения (рис. 4).

Количество слоев топологически подобной НС, включая распределительный слой, может быть определено по формуле

$$S = (\delta_1 + \dots + \delta_N) - (N - 1), \quad (1)$$

где  $N$  – размерность пространства;  $\delta_i$  – количество слоев вдоль соответствующей оси ( $i = 1 \dots N$ ).

При  $\delta_1 = \delta = \dots = \delta_N$  имеем

$$S = N(\delta - 1) + 1. \quad (2)$$

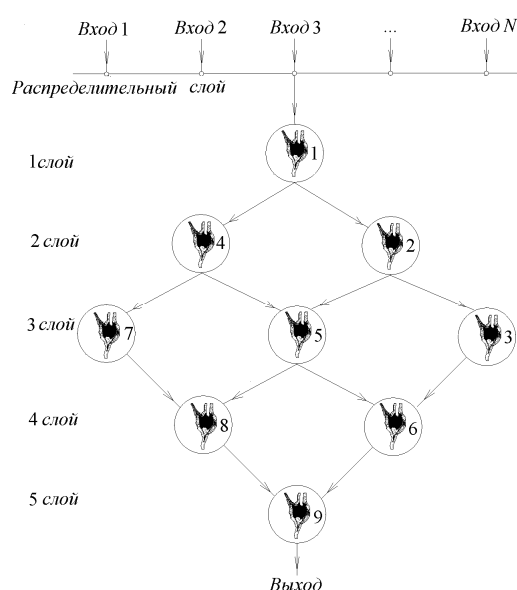


Рисунок 2 – Шестислойная неполносвязная НС прямого распространения

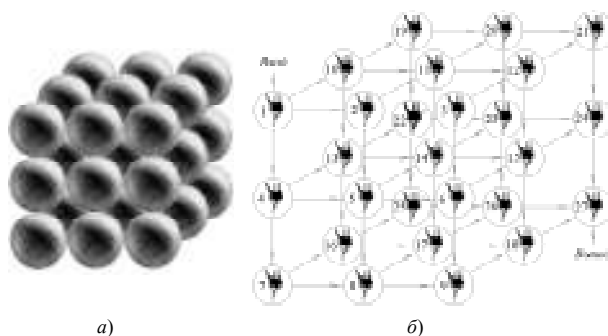


Рисунок 3 – Схема трехмерной модели (а) и ее дискретизация (б)

Такой подход позволяет построить информационные морфологические модели деталей машин практически любой конфигурации. Морфологическая модель позволяет различать четыре типа отказоустойчивости объектов. Первый тип по своим показателям соответствует абсолютно неотказоустойчивой системе, первое же любое повреждение любого элемента (или связи) которой обязательно приводит к отказу.

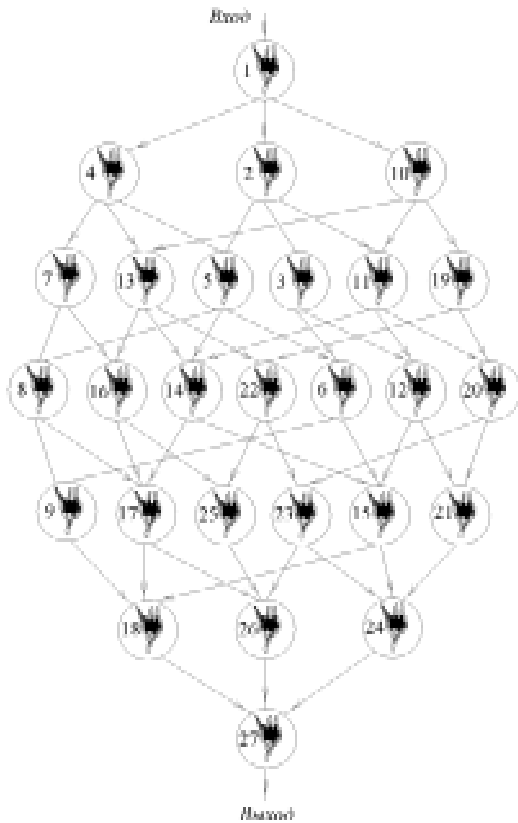


Рис. 4 – Схема многослойной неполносвязной НС

Наконец, для четвертого типа отказоустойчивости в качестве критерия последней рекомендуется произведение выражений (3) и (4):

$$K_4 = K_2 \cdot K_3 = -\log_2 n_1 \cdot \sum_{i=n_1+1}^{n_2-1} \log_2 p_i . \quad (5)$$

Таким образом, предложены логарифмические и энтропийные модели отказоустойчивости сложных технических и информационных систем.

**Список литературы:** 1. Оборский Г.А. Построение эффективных систем управления надежностью сложных технических систем // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 1. – С. 17 – 19. 2. Становский А.Л. Исследование корреляционной связи между отказами топологически подобных технических и интеллектуальных систем / А.Л. Становский, С.Н. Красножон, О.Е. Плачинда // Труды Одесского национального политехнического университета. – 2005. – Спецвыпуск. – С. 88 – 91. 3. Красножон С.М. Прогнозування надійності механічних конструкцій з регулярною структурою / С.М. Красножон, О.Є. Плачинда, О.Л. Становський // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. – 2005. – Вип. 28. – С. 140 – 146. 4. Становский А.Л. Моделирование отказоустойчивости в САПР сложных технических систем / А.Л. Становский В.М. Тонконогий, О.С. Савельева, О.Е. Плачинда // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2007. – Вып. 73. – С. 133 – 138. 5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. // М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

Второй тип соответствует системе с сомнительной отказоустойчивостью, так как первое же любое повреждение может привести к отказу. Используем для критерия отказоустойчивости в системах второго типа логарифмический показатель вида:

$$K_2 = - \sum_{i=n_1+1}^{n_2-1} \log_2 p_i . \quad (3)$$

Третий тип отказоустойчивости также является сомнительным с точки зрения эксплуатационной надежности системы, поскольку после некоторого количества повреждений вероятность отказа скачком превращается из 0 в 1. Он позволяет ввести в практику оценки отказоустойчивости следующий логарифмический критерий:

$$K_3 = \log_2 n_1 . \quad (4)$$