

УДК 004.942: 624.046.5

Оборский Г. А., Становский А. Л., Савельева О. С., Котенко Н. А.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Построение эффективных систем автоматизированного проектирования надежных литых деталей невозможно без разработки адекватных моделей, позволяющих прогнозировать их «поведение» на всех этапах жизненного цикла и, в особенности, на этапе эксплуатации, когда в деталях накапливаются повреждения, приводящие в итоге к отказу системы в целом. В сетевых технических системах ответственного назначения зачастую применяется резервирование элементов, когда каждый последующий элемент имеет возможность исправить отказ предыдущего, изменяя свою нагрузку [1]. В литых деталях, имеющих сплошную конфигурацию, такое «резервирование» связано с изменением конфигурации в сторону добавления избыточных элементов жесткости.

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 (литая деталь) и информационных (НС) 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 [5–8]. Особенности 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.

Целью настоящей работы является разработка метода увязки структуры объекта, получающегося в результате дискретизации литой детали на условные 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.

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).

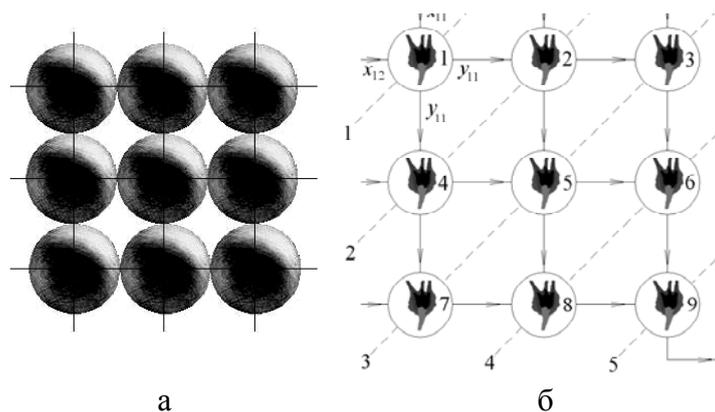


Рис. 1. Схема разбиения двухмерного объекта:

а – модель в виде отдельных шаров и связей между ними; б – модель в виде нейронной сети

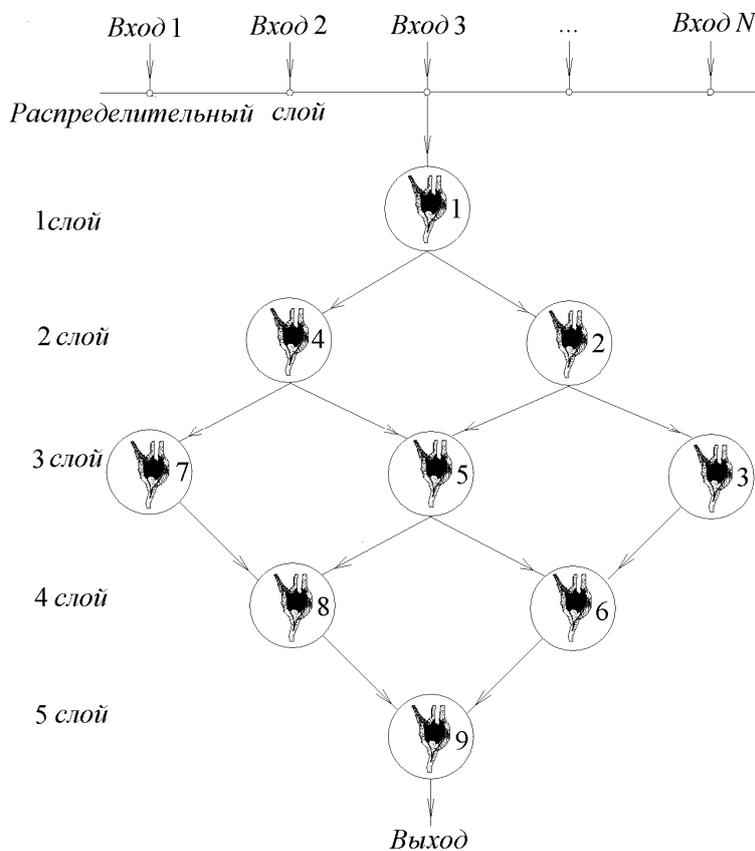


Рис. 2. Шестислойная полносвязная нейронная сеть прямого распространения

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

$$S = (\delta_1 + \dots + \delta_N) - (N - 1), \tag{1}$$

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

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

$$S = N(\delta - 1) + 1. \tag{2}$$

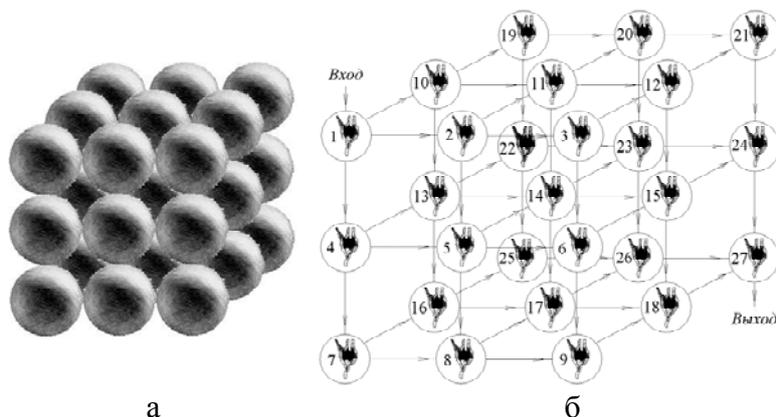


Рис. 3. Схема трехмерной модели (а) и ее дискретизация (б)

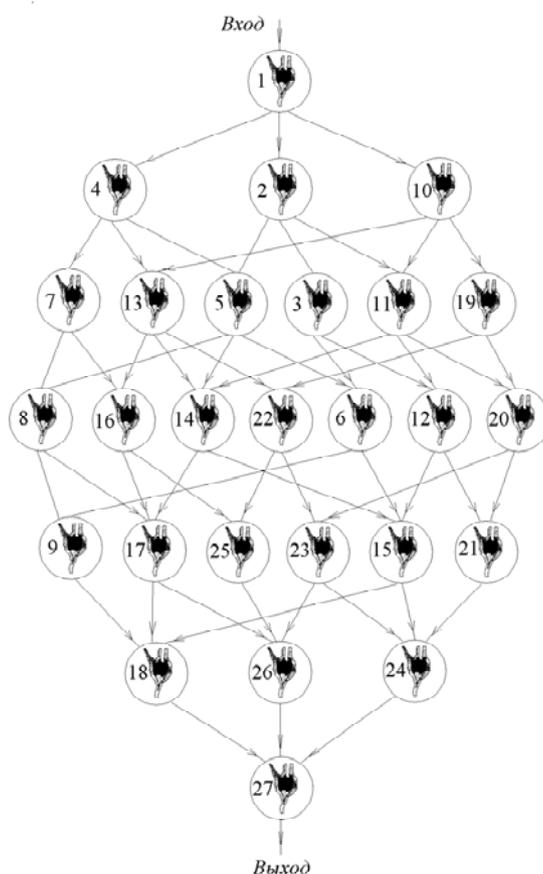


Рис. 4. Схема многослойной неполносвязной нейронной сети

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.

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:

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

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

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

Выбор конкретного типа отказоустойчивости осуществляется проектировщиком литых деталей в зависимости от требуемых показателей надежности, свойств материала деталей, а также условий их эксплуатации (механические, тепловые, химические и пр. нагрузки).

ВЫВОДЫ

Предложены логарифмические и энтропийные модели отказоустойчивости сложных технических и информационных систем. Благодаря применению таких моделей, удалось за счет правильно рассчитанного на этапе проектирования резервирования повысить показатели эксплуатационной надежности литых деталей, в частности, их работоспособность в условиях повреждений на протяжении жизненного цикла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оборский Г. А. Построение эффективных систем управления надежностью сложных технических систем / Г. А. Оборский // 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. – Вып. 28. – С. 140–146.
4. 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 / С. Хайкин. – М. : Вильямс, 2006. – 1104 с.
6. 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.
7. 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. – Вып. 28. – С. 140–146.
8. Становский А. Л. Моделирование надежности компьютерных сетей / А. Л. Становский, О. Е. Плачинда, И. Л. Стадник // Збірник наукових праць Одеського інституту сухопутних військ. – 2006. – № 12. – С. 115–117.