

УДК 621.91:658.512+621.91:004.8

## АНАЛИЗ И РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**В.В. Фролов, доцент, к.т.н., НТУ «ХПИ»**

*Аннотация.* Предлагаются методики расчета и анализа плоских размерных цепей на основе искусственных нейронных сетей прямого распределения без обратных связей. Рассматриваются особенности расчетов по вероятностному методу и по методу предельных значений. Описывается гибридная схема генетического алгоритма для проектного расчета размерных цепей.

*Ключевые слова:* размер, хромосома, генетический алгоритм, формальный нейрон, синапс.

## АНАЛІЗ І РОЗРАХУНОК РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

**В.В. Фролов, доцент, к.т.н., НТУ «ХПИ»**

*Анотація.* Пропонуються методики розрахунку й аналізу плоских розмірних ланцюгів на основі штучних нейронних мереж прямого розподілу без зворотних зв'язків. Розглядаються особливості розрахунків за імовірносним методом й і за методом граничних значень. Описується гібридна схема генетичного алгоритму для проектного розрахунку розмірних ланцюгів.

*Ключові слова:* розмір, хромосома, генетичний алгоритм, формальний нейрон, синапс.

## ANALYSIS AND CALCULATION OF DIMENSIONAL CIRCUITS OF AUTOMOTIVE ENGINEERING DETAILS ON BASIS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

**V. Frolov, Associate Professor, Candidate of Technical Science, NTU «KhPI»**

*Abstract.* The design procedures and the analysis of flat dimensional circuits are offered on the basis of artificial neural networks of direct distribution without closed loops. Peculiarities of calculations according to the probability method and the method of limiting values are considered. The hybrid circuit of genetic algorithm for designing calculation of dimensional circuits is described.

*Key words:* dimension, chromosome, genetic algorithm, formal neuron, synapse.

### Введение

Системы функциональных размеров на деталях являются основой для формирования технологических процессов их изготовления. Поэтому качество расчетов в этой области непосредственно отражается на качестве изготовления и функционирования деталей в узлах и сборочных единицах автотракторной техники.

При расчете размерных цепей обычно решается две задачи – проектная и проверочная.

Основные проблемы возникают при решении проектной задачи. При ее решении необходимо подобрать точность размеров, составляющих размерную цепь, таким образом, чтобы обеспечить, с одной стороны, необходимую точность замыкающего звена, а с другой, обеспечить требования технологичности изготовления поверхностей, характеризуемых этими размерами. С точки зрения математики, здесь решается уравнение со многими неизвестными в условиях неопределенности.

Анализ публикаций

Существуют различные методы разрешения этой проблемы [1–5], суть которых заключается в определении элемента, который возможно изменять, решая, таким образом, уравнение размерной цепи. Формализация этих подходов во многом затруднена, поскольку они, в определенной степени, зависят от производственного опыта проектировщика.

В работе [6] мы предлагали использовать для решения этих задач модель формального нейрона. В этом случае проектный расчет размерной цепи сводится к процедуре обучения нейронной сети. В процессе обучения решаются задачи рационального выбора точности размеров на основе данных об экономической точности того или иного метода обработки.

Цель и постановка задачи

Цель данной работы заключается в выборе возможных направлений использования искусственных нейронных сетей (ИНС) для размерного анализа деталей автотракторной техники с учетом результатов, полученных в работе [6]. Рассмотрим последовательно возможные направления.

ИНС для анализа правильности простановки размеров

На плоских контурах, состоящих из отрезков прямых, количество размеров для отрезков всегда на два меньше, что объясняется кинематическим характером связи последних двух отрезков (рис. 1). В связи с этим, на плоском контуре, состоящем из  $n$  отрезков прямых, должно быть следующее количество параметров: система параметров, определяющая форму конструктивных элементов –  $(n-2)$  параметров (голономные связи); система параметров, определяющая размещение конструктивных элементов –  $s = 2n - (n - 2)$ . Тогда общая система размеров должна иметь  $2n$  параметров.

Рассмотрим структуру взаимосвязей между элементами контура на рис. 1 с помощью графа на рис. 2: геометрический элемент отображается в вершины графа; отношения между элементами – в ребра графа (сплошные стрелки отношения совпадения точек, а точечные – фиксация углового положения геометрических элементов относительно полюса).

Интересно, что такой граф представляет внутреннюю устойчивую структуру взаимосвязей, которая характерна для всех вариантов задания размеров контура, изображенного на рис. 1.

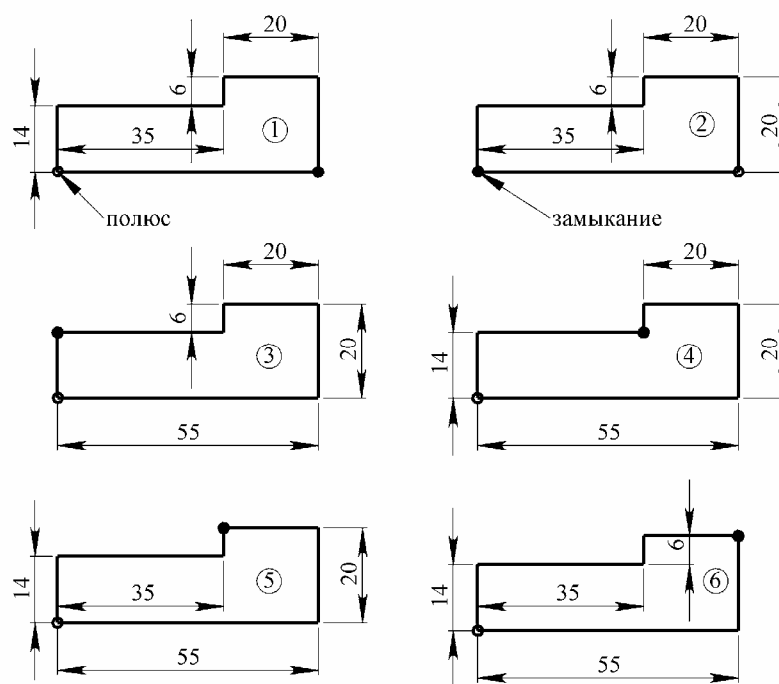


Рис. 1. Варианты простановки размеров для шестиугольника

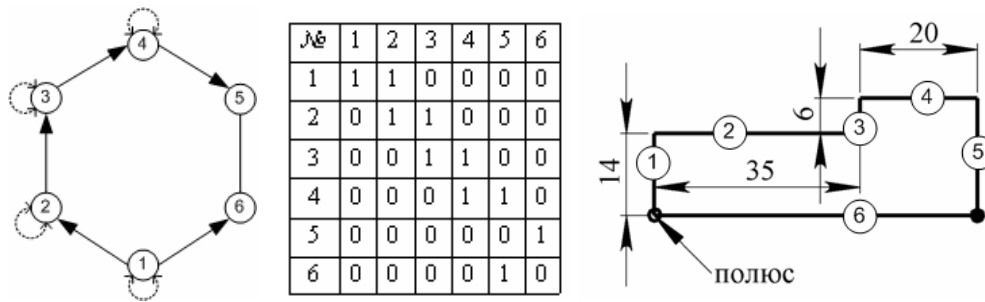


Рис. 2. Граф структуры взаимосвязей контура

Интересно, что такой граф представляет внутреннюю устойчивую структуру взаимосвязей, которая характерна для всех вариантов задания размеров контура, изображенного на рис. 1. По своей сути данный граф может быть прототипом фрейма системы размеров для плоских контуров. Если рассматривать свойства графа, то можно с уверенностью сказать, что для него характерны свойства группы вращений. Все это позволяет использовать его для идентификации правильности простановки размеров на плоских контурах на основе матрицы инцидентности графа. Задача распознавания матрицы как единого объекта наиболее эффективно решается с помощью искусственных нейронных сетей. Для этой цели могут быть использованы несколько типов сетей: перцептрон; сеть Хопфилда; сети прямого распространения; радиально базисные сети.

**Расчет размерных цепей вероятностным методом с использованием формального нейрона**

В работе [6] была использована структура искусственного нейрона, приведенная на рис. 3. Здесь на рецепторы подается входной сигнал, затем происходит усиление сигнала каждого рецептора с помощью синаптических коэффициентов; суммирование сигналов в сумматоре; обработка сигнала с помощью функции активации и реакция нейрона.

Математическая модель формального нейрона представляется выражением 1

$$y = g(t) = g\left(\sum_{i=1}^n W_i x_i + W_0\right), \quad (1)$$

где  $y$  – выходной сигнал нейрона;  $g(t)$  – функция активации;  $W_i$  – синаптический коэффициент (синапс);  $x_i$  – входной сигнал

(рецептор);  $W_0$  – начальное состояние нейрона;  $n$  – количество рецепторов.

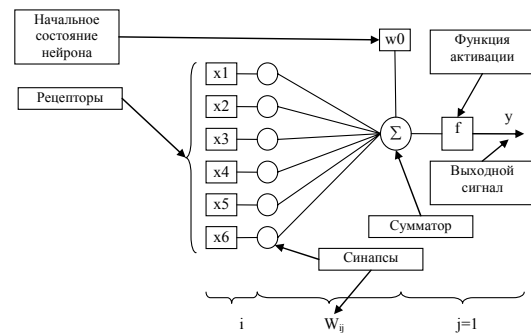


Рис. 3. Структурная схема формального нейрона

После преобразований полученную модель нейрона использовали при расчетах плоских технологических размерных цепей методом предельных значений. При определении размеров составляющих звеньев в качестве синаптических коэффициентов выступали величины размеров, а угловой коэффициент функции активации зависел от величины размера замыкающего звена, при этом начальное состояние нейрона принималось равным нулю.

При расчете размерной цепи по вероятностному методу основное уравнение размерной цепи необходимо преобразовать к виду 2

$$1 = \frac{1}{[T_\Delta / t_\Delta]^2} \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2, \quad (2)$$

где  $t_\Delta$  – коэффициент риска;  $\frac{1}{[T_\Delta / t_\Delta]^2}$  – угловой коэффициент функции активации;  $\xi_i^2 \lambda_i^2$  – значения отдельного рецептора нейрона;  $T_i^2$  – синаптический коэффициент отдельного рецептора.

Общий вид расчета по вероятностному методу представлен на рис. 4. Расчет состоит из трех блоков: ввода исходных данных; расчета; вывода. Решение задачи выполнено в системе MathCAD для наглядности вычислений,

хотя наиболее оптимальна реализация данного подхода в системе MATLAB, которая имеет широкий выбор специальных функций для работы с нейронными сетями в библиотеке Neural Network Toolbox.

**Б. Расчет технологических размерных цепей вероятностным методом с использованием нейронной сети.**

---

**1. Исходные данные**

1.1. Допуск замыкающего звена, мм:  
 $T_{\Delta} := 0.36$

1.2. Коэффициент риска, характеризующий процент выхода значений замыкающего звена за пределы установленного на него допуска:  
 $t_{\Delta} := 3$

1.3. Коэффициенты, характеризующие выбираемый теоретический закон рассеяния значений составляющих звеньев:

Вектор коэффициентов, подаваемый на вход нейронной сети:

$$X := \begin{pmatrix} \frac{1}{6} \\ \frac{1}{9} \\ \frac{1}{6} \end{pmatrix}$$


---

**2. Ход решения**

2.1. Расчет углового коэффициента для линейной функции активации  $K_w := \frac{1}{\left(\frac{T_{\Delta}}{t_{\Delta}}\right)^2}$

2.2. Линейная функция активации нейрона  $g(t) := K \cdot t$

2.3. Математическая модель нейрона

2.3.1. Значения выхода нейрона  $Y := 1$

2.3.2. Модель формального нейрона  $f4(W) := (Y - g(W \cdot X))^2$

2.4. Матрица синаптических весов:  $\underline{W} := (0 \ 0 \ 0)$

2.5. Блок действий по обучению нейронной сети

Given

$$\left. \begin{matrix} 0.120^2 \geq (W^T)_1 \geq 0.074^2 \\ 0.400^2 \geq (W^T)_2 \geq 0.155^2 \\ 0.120^2 \geq (W^T)_3 \geq 0.074^2 \end{matrix} \right\} \text{-ограничения на изменения синаптических весов, основанные на технологии механической обработки поверхностей, отношения между которыми отражают размерные цепи.}$$

$n := \text{Minimize}(f4, W) = (0.014 \ 0.086 \ 0.014)$  -обучение нейрона (Квази-Ньютона метод)

---

**3. Результаты расчета**

Значения допусков размеров:  $\vec{\sqrt{n}} = (0.12 \ 0.294 \ 0.12)$

Ошибка обучения:  $f4(n) = 0$

Рис. 4. Вероятностный метод расчета

**Решение проектной задачи с помощью генетического алгоритма (ГА)**

Указанные методы расчета основаны на том, что после обучения нейрона получаем решение проектной задачи размерной цепи. Недостатком такого подхода в определенной ситуации может быть зависимость углового коэффициента линейной функции активации от допуска замыкающего звена и коэффициента риска. Модификация данного метода может быть в следующем

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i. \tag{3}$$

Если основное уравнение размерной цепи 3 записать в виде 4, то получим математическую модель, практически идентичную формальному нейрону

$$\left( \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i \right) - T_{\Delta} = 0, \tag{4}$$

где  $T_{\Delta}$  – допуск замыкающего звена;  $\xi_i$  – передаточное отношение составляющего звена;

$T_i$  – допуск составляющего звена;  $m$  – число звеньев размерной цепи.

Разница заключается в том, что начальное состояние нейрона  $T_{\Delta}$  будет не возбуждающим, а тормозящим. Тогда при использовании пороговой функции активации вида 5 получим формальный нейрон, где будет наблюдаться соответствие 6.

$$g(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } t = 0 \\ 0, & \text{if } t < 0; \\ 0, & \text{if } t > 0 \end{cases} \tag{5}$$

$$T_{\Delta} \leftrightarrow -W_0; T_i \leftrightarrow x_i; |\xi_i| \leftrightarrow W_i; m \leftrightarrow n. \tag{6}$$

Таким образом, на вход нейрона подаются допуски составляющих звеньев, а начальное состояние нейрона определяется допуском замыкающего звена. Нейрон будет активен в случае решения основного уравнения размерных цепей, т.е. выход будет равен 1. В остальных случаях он будет пассивен, т.е. выход будет равен 0. При использовании линейной функции активации будем получать отклонения от допуска замыкающего звена при

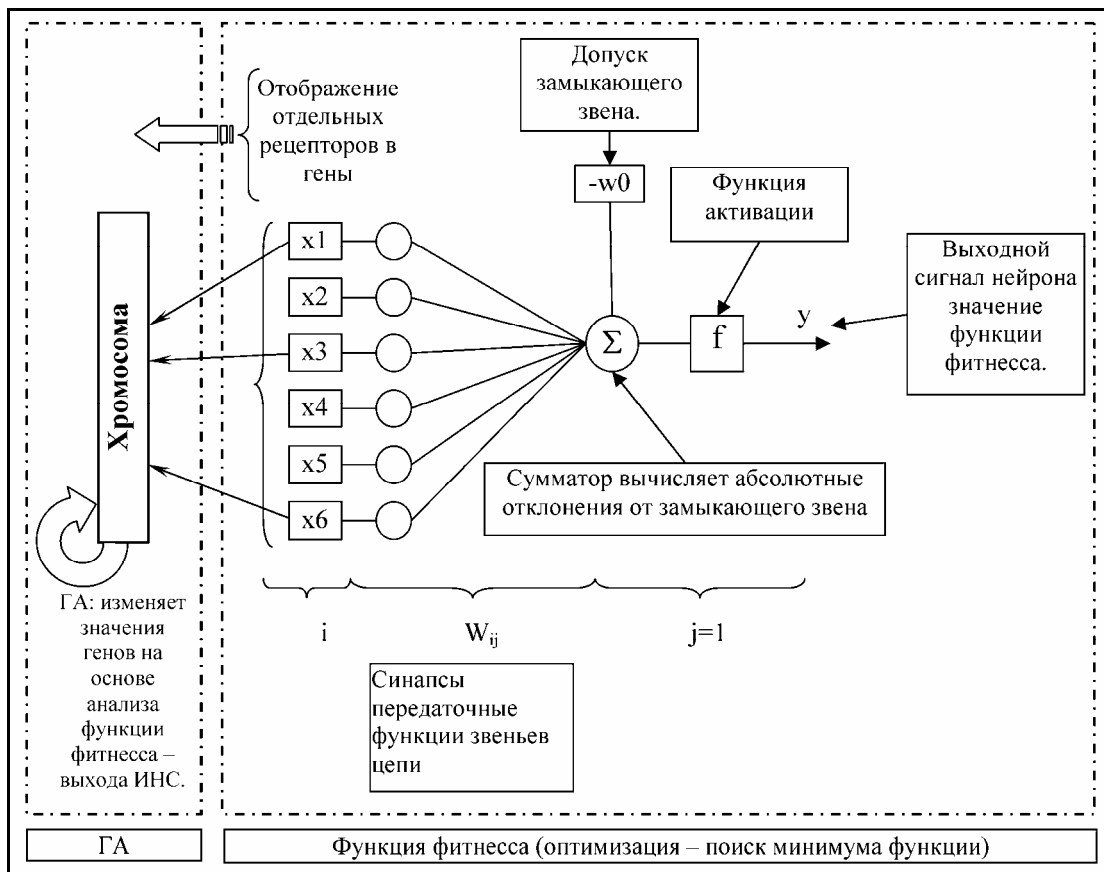


Рис. 5. Схема гибридного генетического алгоритма для решения проектной задачи

решении проектной задачи размерной цепи. Следовательно, функцию активации 5 можно использовать при решении проверочной задачи, а линейную или квадратичную функции активации – при решении проектной задачи.

Тогда решение проектной задачи для одной разменной цепи, где значения составляющих звеньев не зависят от других размерных цепей, может быть реализовано с помощью генетического алгоритма, где в качестве функции фитнеса будет применяться формальный нейрон с квадратичной функцией активации, а хромосома будет представлена изменяемыми входами нейрона (см. рис. 5). Каждый ген хромосомы имеет ограниченное множество значений, которое определяется технологическими возможностями механообрабатывающего участка, где деталь будет изготавливаться аналогично пункту 2.5 на рис. 4. В результате генетический алгоритм будет подбирать такое сочетание значений, которое даст реакцию нейрона, максимально близкую к нулю. При таком подходе можно решать задачи на взаимосвязанных размерных цепях. В этом случае формируется целая нейронная сеть из двух слоев нейронов. Нейроны скрытого слоя решают проектные задачи каждой цепи в отдельности, а нейрон выходного слоя обеспечивает оценку суммарной погрешности расчета, которая должна стремиться к минимуму.

### Выводы

Предложенные подходы к решению задач размерных цепей обеспечивают рациональный выбор параметров точности составляющих звеньев и проверку точности с помощью только одного нейрона. Это позволяет эффективно применять данные подходы в автоматизированных системах технологической подготовки производства.

### Литература

1. Технология машиностроения : В 2 т. Т.1 Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; под ред. А.М. Дальского. – 2-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с.
2. Технологические основы гибких производственных систем : учеб. для машиностроительных спец. вузов / В.А. Медведев, В.П. Вороненко, В.Н. Брюханов и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2000. – 255 с.
3. Солонин И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И.С. Солонин, С.И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 110 с.
4. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И.А. Иващенко. – М. : Машиностроение, 1975. – 222 с.
5. Дунаев П.Ф. Расчет допусков размеров / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М. : Машиностроение, 1981. – 189 с.
6. Фролов В.В. Методика расчета технологических размерных цепей с помощью искусственных нейронных сетей / В.В. Фролов, Г.Н. Жолткевич // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск : Технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2009. – №1. – С. 96–100.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н. ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 8 ноября 2010 г.