

*В.В. ФРОЛОВ, Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Предложена методика расчета размерных цепей с помощью формального нейрона, позволяющая обеспечить расчет допусков звеньев, исходя из возможностей технологических методов на основе оптимизационной модели.

The design procedure of sized chains with the help of the formal neuron is offered, permitting to provide calculation of tolerances of links, outgoing from possibilities of technological methods on the basis of optimization model.

Одной из задач технологического проектирования является определение межоперационных размеров на операционных эскизах с учетом необходимой точности замыкающего звена. Расчет технологических размерных цепей входит отдельным этапом в общий алгоритм технологического проектирования по обеспечению точности механической обработки. Замыкающим звеном обычно является размер, на котором осуществляется силовое замыкание между режущей частью инструмента и обрабатываемой поверхностью. По ходу технологического процесса возникают различные сочетания размеров, составляющих размерные цепи, и в задачу технолога входит обеспечение точности взаимного расположения поверхностей за счет выбора последовательности их обработки. На этом этапе решается прямая (проектная) задача расчета размерных цепей, где сначала рассчитываются по известному допуску замыкающего звена допуски составляющих звеньев. Для решения этой задачи используются методы, применяемые при расчете конструкторских размерных цепей: метод попыток; метод равного качества, метод пропорционального влияния; метод равных допусков; метод экономического обоснования допусков. Все указанные методы по своей сути являются стратегиями эмпирического подбора допусков. При технологическом проектировании наиболее подходящими методами являются методы: попыток, равных допусков, экономического обоснования допусков. Каждый из этих методов предполагает наличие субъективной оценки при выборе допусков составляющих звеньев, и, следовательно, многое здесь зависит от технолога. Разработка методики расчета на основе искусственных нейронных сетей должна позволить упростить расчет, с одной стороны, и снять определенную долю субъективизма при решении проектной задачи, за счет использования математической модели проведения на ее основе процедуры оптимизации выбора допусков. Рассмотрим последовательно теоретические предпосылки разработки данной методики.

Одно из основных положений расчета размерных цепей выражено фор-

мулой 1.

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i \quad (1)$$

где  $T_{\Delta}$  – допуск замыкающего звена;  $\xi_i$  – передаточное отношение составляющего звена;  $T_i$  – допуск составляющего звена;  $m$  – число звеньев размерной цепи. Данное выражение является основой для конструирования нейронных сетей.

Структура искусственного нейрона приведена на рисунке 1. 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.

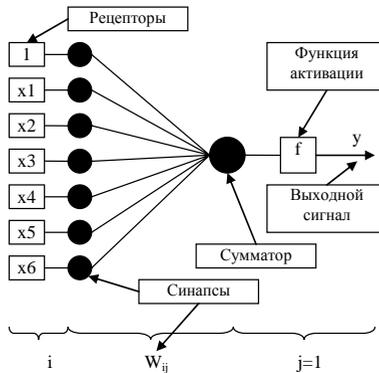


Рисунок 1 – Структурная схема формального нейрона

Математическая модель формального нейрона представляется выражением 2

$$y = f(g) = f\left(\sum_{i=1}^n W_i x_i + W_0\right) \quad (2)$$

где  $y$  – выходной сигнал нейрона;  $f(g)$  – функция активации;  $W_i$  – синаптический коэффициент (синапс);  $x_i$  – входной сигнал (рецептор);  $W_0$  – начальное состояние нейрона;  $n$  – количество рецепторов. Принимаем начальное состояние равное нулю и получаем 3

$$y = f(g) = f\left(\sum_{i=1}^n W_i x_i\right) \quad (3)$$

Выражение 1.3 может быть использовано для моделирования основного уравнения размерной цепи, только необходимо определить вид функции активации и соответствия параметров в формулах. Предположим, что на выходе нейрона должно быть значение допуска замыкающего звена, синаптические коэффициенты – допуски составляющих звеньев; передаточный коэф-

фициент – рецепторы нейрона (смотри 4).

$$T_{\Delta} \leftrightarrow y; T_i \leftrightarrow W_i; |\xi_i| \leftrightarrow x_i; (m-1) \leftrightarrow n \quad (4)$$

Тогда задача определения допусков составляющих звеньев сводится к задаче обучения нейрона, т.е. подбора синаптических коэффициентов. Поскольку в методике применяется однослойная сеть, и сигналы будут непрерывными, принимаем линейную функцию активации (смотри рисунок 2).



Рисунок 2 – График симметричной линейной функции активации

Выход нейрона равен 1. Следовательно, чтобы использовать однослойный нейрон с линейной функцией активации для расчета, необходимо преобразовать основное уравнение размерной цепи к 5.

$$1 = \frac{1}{T_{\Delta}} \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i \quad (5)$$

где  $\frac{1}{T_{\Delta}}$  – угловой коэффициент функции активации.

При обучении сети оценивают ошибку сети, как квадрат разности эталонного сигнала и реакции сети. Ошибка сети должна стремиться к минимуму, следовательно, чтобы обучить сеть необходимо найти минимум функции ошибки. Представим 5 в виде однослойного нейрона прямого распределения с линейной функцией активации.

$$y = f(g) \quad (6)$$

где  $y$  – выход нейрона, который равен 1 ( $y = 1$ );  $g = Wx$  – взвешенная сумма сигналов рецепторов;  $W$  – матрица синаптических коэффициентов (допуска составляющих звеньев);  $x$  – входы рецепторов  $|\xi_i|$ ;  $f(g) = Kg$  –

линейная функция активации;  $K = \frac{1}{T_{\Delta}}$  – угловой коэффициент линейной

функции активации.

Составим математическую модель для обучения нейрона 7

$$E = [y' - f(W\bar{x})]^2 \rightarrow \min$$

$$\Omega: W_i = b_i$$

$$W \min_i \leq W_i \leq W \max_i$$

$$i \in [1, m-1]$$
(7)

где  $E$  – ошибка работы нейрона (целевая функция);  $y'$  – эталонный выход нейрона ( $y' = 1$ );  $W \min_i, W \max_i$  – допустимый диапазон изменения синаптических весов;  $b_i$  – фиксированное значение отдельного синапса.

Если не использовать ограничения, то необходимо найти глобальный минимум. В противном случае в руках проектировщика оказывается достаточно мощный и гибкий инструмент конкретизации за счет наложения дополнительных ограничений. Для ограничений используем данные о необходимых при проектировании допусках на размеры, составляющие размерную цепь. Такие данные определяются технологией изготовления поверхностей и возможностями методов обработки.

Результаты моделирования показывают, что если выполнять классическое обучение нейрона, т.е. математическая модель 7 без ограничений методика дает результаты сходные с методом равных допусков. Например, на рисунке 3 подбираем допуски для сети, состоящей из трех элементов, при этом ограничения на целевую функцию не используем. В результате модель разбивает допуск замыкающего звена на равные части.

Допуск замыкающего звена, мм:	$T_{\Delta} := 0.36$
Угловой коэффициент линейной функции активации:	$K_{\Sigma} := \frac{1}{T_{\Delta}}$
Линейная функция активации нейрона:	$g(t) := K \cdot t$
Входной вектор:	$X := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$
Выход нейрона:	$Y := 1$
Функция ошибки:	$E(W) := (Y - g(W \cdot X))^2$
Матрица синаптических весов:	$\underline{\underline{W}} := (0 \ 0 \ 0)$
Обучение:	
Given	
net := Minimize(E, W) = (0.12 0.12 0.12)	
Ошибка работы сети:	$E(\text{net}) = 0$

Рисунок 3 – Обучение сети без ограничений

При использовании ограничений можно учесть возможности методов

обработки и технологию изготовления поверхностей. Например, предположим, что первый размер связывает поверхности, метод обработки которых позволяет достичь точности в заданных пределах от 0.074 до 0.190 мм. Сеть, изображенная на рисунке 4, подбирает допуски из условия минимизации ошибки.

Допуск замыкающего звена, мм:	$T_{\Delta} := 0.36$
Угловой коэффициент линейной функции активации:	$K_w := \frac{1}{T_{\Delta}}$
Линейная функция активации нейрона:	$g(t) := K \cdot t$
Входной вектор:	$X := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$
Выход нейрона:	$Y := 1$
Функция ошибки:	$E(W) := (Y - g(W \cdot X))^2$
Матрица синаптических весов:	$W_w := (0 \ 0 \ 0)$
Обучение:	
Given	
$0.190 \geq (W^T)_1 \geq 0.074$	-ограничения по методу обработки
net := Minimize(E, W) = (0.19 0.085 0.085) E(net) = 0	

Рисунок 4 – Обучение с ограничениями

Полученную модель нейрона после определенной доработки можно использовать для решения остальных задач при расчетах плоских технологических размерных цепей. При определении размеров составляющих звеньев в качестве синаптических коэффициентов будут выступать величины размеров, а угловой коэффициент функции активации будет зависеть от величины размера замыкающего звена. В математической модели обучения нейрона (см. формулу 7) будут присутствовать только ограничения равенства. Такая модель позволяет акцентировать внимание на любых составляющих звеньях размерной цепи без дополнительного вывода уравнений, что особенно важно для автоматизации расчетов по данной методике.

Обобщенный алгоритм расчета технологических размерных цепей, исходя из всего вышеуказанного, будет выглядеть так: 1. Рассчитываем номинальные размеры составляющих звеньев с использованием формального нейрона. 2. Определяем диапазоны изменения допусков составляющих звеньев исходя из технологии изготовления детали. 3. С помощью формального нейрона определяем допуски всех составляющих звеньев. 4. Корректируем расчетные значения согласно стандартам. 5. Выполняем остальные расчеты согласно существующему алгоритму решения прямой задачи.

*Поступила в редколлегию 26.12.08*