

*В.Б. ГИТИС* (г. Краматорск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ПРИ НЕЙРОСЕТЕВОМ НОРМИРОВАНИИ ВРЕМЕНИ ИХ ОБРАБОТКИ**

У статті розглядається алгоритм оцінки показників значимості вхідних сигналів нейромережевої системи нормування часу механічної обробки деталей. Приведено результати оцінки значимості характеристик деталі типу «ступінчастий вал», що була проведена на реальних даних, і аналіз отриманих результатів.

In clause is considered the algorithm of an estimation of parameters of the importance of entrance signals of system of neural networks for calculation of norms of time of machining of details. The results of an estimation of the importance of the characteristics of a detail of a type «the step shaft», carried out on the real data, and analysis of the received results are given.

**1. Постановка проблемы.** В современных условиях хозяйствования затраты на труд превращаются во все более значительную часть общих расходов. Поэтому для предприятий важно обеспечить максимально эффективное использование трудовых ресурсов. Способность выполнить эту задачу зависит от того, насколько точно будут рассчитаны и контролируемы затраты на труд. Роль норм как основы организации производства и повышения эффективности использования живого труда с расширением рыночных отношений будет возрастать.

Там, где режим работы задается технологией, основой более рационального использования времени и преодоления его потерь является нормирование, то есть определение норм и нормативов его расходования.

Затраты времени на производство продукции оказывают решающее влияние на себестоимость и, как следствие, на конкурентоспособность продукции [1]. При этом основное место в большинстве отраслей машиностроения занимает обработка металлов снятием стружки на металлорежущих станках различных типов. Так в серийном и единичном производстве удельный вес механической обработки составляет 60 – 90 %.

В то же время расчет длительности механической обработки представляет собой трудоемкую и продолжительную процедуру, поскольку установление технических норм времени является завершающим этапом разработки технологического процесса. Поэтому перед предприятиями, имеющими широкую, часто меняющуюся номенклатуру производимой продукции, стоит проблема быстрого и точного нормирования времени изготовления новых изделий. Такая ситуация характерна, прежде всего, для предприятий тяжелого машиностроения и проблема нормирования здесь особенно актуальна.

**2. Анализ последних исследований и публикаций.** Для совершенствования процесса установления норм времени механической обработки деталей в работах [2 – 4] было предложено рассматривать детали как объекты, описываемые набором признаков, определяющих трудоемкость их изготовления.

На примере группы ступенчатых валов, которые являются широко распространенным типом деталей и присутствуют практически в каждой машине или механизме, был проведен анализ факторов, оказывающих влияние на длительность технологических операций, который позволил сгруппировать выявленные факторы в соответствии с тремя категориями: «Масса и габаритные размеры», «Конструктивные особенности» и «Характеристики поверхностей». Категории имеют следующую структуру:

1. Категория «Масса и габаритные размеры»:

- масса вала –  $m$ ;
- длина вала –  $L$ ;
- максимальный диаметр ступеней вала –  $D_{\max}$ ;
- минимальный диаметр ступеней вала –  $D_{\min}$ .

2. Категория «Конструктивные особенности»:

- число ступеней на валу –  $n_{\text{ст}}$ ;
- число пазов на валу –  $n_{\text{п}}$ ;
- число отверстий вала –  $n_{\text{о}}$ ;
- число резьб на валу –  $n_{\text{р}}$ ;
- число проточек на валу –  $n_{\text{пр}}$ .

3. Категория «Характеристики поверхностей»:

- твердость поверхности вала по Бринеллю –  $HB$ ;
- минимальная шероховатость поверхностей –  $Ra_{\min}$ ;
- минимальный квалитет точности диаметральных размеров –  $h_{\min}$ ;
- средняя точность детали –  $h_{\text{ср}}$ ;
- средняя шероховатость детали –  $Ra_{\text{ср}}$ ;
- коэффициент высокоточных поверхностей –  $K_h$ ;
- коэффициент высокочистых поверхностей –  $K_{Ra}$ .

В качестве коэффициента высокоточных поверхностей было принято отношение суммы длин поверхностей с квалитетом точности диаметральных размеров 7 и ниже к общей длине детали. В качестве коэффициента высокочистых поверхностей было принято отношение суммы длин поверхностей с шероховатостью не выше  $Ra$  3,2 мкм к длине вала.

Анализ карт технологических процессов производства ступенчатых валов в механосборочном цехе № 1 ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (г. Краматорск) за 2002 г. показал, что для обработки ступенчатых валов применяется 4 типа технологических операций: токарная, расточная,

фрезерная и шлифовальная. Общее время изготовления валов определяется как сумма норм времени по операциям.

Исходя из анализа характеристик деталей, математическая модель нормирования времени механической обработки ступенчатых валов для ЗАО НКМЗ будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_T = f_T(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{\text{СТ}}, n_{\text{П}}, n_{\text{Р}}, n_{\text{Пр}}, Ra_{\min}, h_{\min}, K_{Ra}, K_h, Ra_{\text{СР}}, h_{\text{СР}}, HB); \\ T_P = f_P(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{\text{П}}, n_{\text{О}}, n_{\text{СТ}}, n_{\text{Пр}}, K_{Ra}, K_h, Ra_{\text{СР}}, h_{\text{СР}}, HB); \\ T_{\Phi} = f_{\Phi}(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{\text{П}}, n_{\text{СТ}}, n_{\text{Пр}}, K_{Ra}, K_h, Ra_{\text{СР}}, h_{\text{СР}}, HB); \\ T_{\text{Ш}} = f_{\text{Ш}}(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{\text{СТ}}, n_{\text{П}}, n_{\text{Пр}}, Ra_{\min}, h_{\min}, K_{Ra}, K_h, Ra_{\text{СР}}, h_{\text{СР}}, HB); \\ T_{\text{О}} = f_{\text{О}}(m, L, D_{\max}, D_{\min}, n_{\text{СТ}}, n_{\text{П}}, n_{\text{Р}}, n_{\text{Пр}}, n_{\text{О}}, Ra_{\min}, h_{\min}, K_{Ra}, K_h, Ra_{\text{СР}}, h_{\text{СР}}, HB); \\ T_{\text{О}} = T_T + T_P + T_{\Phi} + T_{\text{Ш}}; \\ \overline{X_{\text{О}}}^{\min} \leq \overline{X_{\text{О}}} \leq \overline{X_{\text{О}}}^{\max}, \end{array} \right.$$

где  $T_T, T_P, T_{\Phi}, T_{\text{Ш}}, T_{\text{О}}$  – соответственно нормы времени на токарную, расточную, фрезерную, шлифовальную операции и общее время обработки;

$f_T, f_P, f_{\Phi}, f_{\text{Ш}}, f_{\text{О}}$  – неизвестные зависимости между нормами времени по соответствующим технологическим операциям и характеристиками детали;

$\overline{X_{\text{О}}}$  – вектор характеристик детали;

$\overline{X_{\text{О}}}^{\min}$  и  $\overline{X_{\text{О}}}^{\max}$  – соответственно векторы минимальных и максимальных значений вектора  $\overline{X_{\text{О}}}$ .

Реализация математической модели нормирования была выполнена путем построения нейросетевой системы технического нормирования времени механической обработки деталей.

Система состоит из 5 нейронных модулей, представляющих собой прямонаправленные персептроны с одним скрытым слоем с сигмоидальными функциями активации нейронов скрытого слоя. Каждый нейронный модуль осуществляет нормирование длительности одной из четырех технологических операций, а также определение длительности общего времени обработки.

На входы модулей подаются характеристики деталей в соответствии с математической моделью нормирования. На выходе модулей формируются сигналы, соответствующие нормам времени ( $T$ ). При отсутствии какого-либо вида технологической операции, на соответствующем выходе формируется ноль. Количество входов фиксировано, поэтому если какая-либо характеристика детали отсутствует, то на соответствующий вход подается ноль.

При анализе чертежей ступенчатых валов, произведенных на ЗАО НКМЗ, было выявлено, что минимальный квалитет точности диаметральных размеров

( $h_{\min}$ ) для всех деталей равен 6. Учитывая, что для работы нейронной сети необходима информация не об абсолютном значении фактора, а о его изменении, этот показатель был исключен из перечня входных данных как незначимый.

**3. Выделение нерешенной проблемы.** Построенная система технического нормирования не позволяет изменять структуру входов модулей для учета особенностей конкретной номенклатуры деталей. Однако в результате настройки системы для конкретного предприятия может оказаться, что часть характеристик детали не будет оказывать влияния на точность расчета норм времени. В этом случае такие характеристики можно будет исключить из рассмотрения, что позволит сократить объемы привлекаемой для работы системы информации и повысить скорость расчетов. Поэтому для усовершенствования системы необходимо предусмотреть механизм оптимизации входов системы, предусматривающий поиск и исключение незначимых для решения задачи нормирования характеристик деталей.

**4. Цель научной статьи.** Разработать и апробировать на реальной задаче алгоритм оптимизации структуры входов нейросетевой системы нормирования времени.

**5. Результаты исследования.** Для оптимизации структуры входов системы можно использовать оценки показателей значимости входных сигналов. Показателем значимости входного сигнала при решении  $k$ -го примера является величина, которая показывает, насколько изменится значение функции оценки решения нейронной сетью  $k$ -го примера, если текущее значение входного сигнала  $x_i^k$  ( $i = 1, \dots, n$ ,  $n$  – число входных сигналов) заменить выделенным значением  $x_i^{k*}$  [5]. В качестве выделенного значения  $x_i^{k*}$  можно использовать нуль.

В случае нулевой значимости фактора для всех нейронных модулей, этот фактор может быть исключен из состава входных сигналов сети (на соответствующий вход подается 0). Если обнаружена нулевая значимость фактора для отдельного модуля, то его исключение из набора входных сигналов целесообразно только при аппаратной реализации системы нормирования для сокращения размеров соответствующей нейросети. При эмуляции на ЭВМ исключение фактора не имеет смысла, поскольку общий объем привлекаемой для работы системы информации сохранится неизменным.

На рис. представлена блок-схема алгоритма определения показателей значимости факторов.

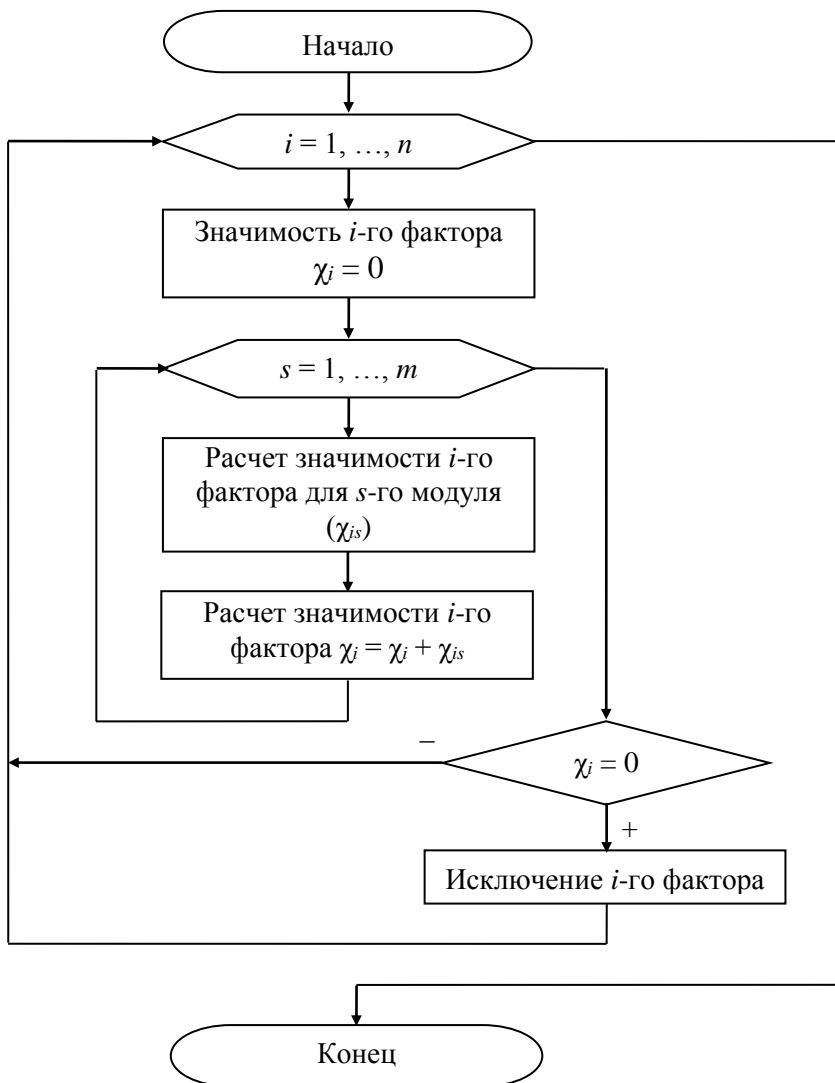


Рис. Блок-схема алгоритма оценки показателей значимости факторов

Значимость  $i$ -го фактора ( $i = 1, \dots, n$ ) для  $s$ -го модуля ( $s = 1, \dots, m$ ) рассчитывается по формуле

$$\chi_{is} = \sum_{k=1}^{Np} \left| \frac{\partial Z(x^k)}{\partial x_i} x_i^k \right|,$$

где  $Np$  – число примеров в обучающей выборке;

$x_i^k$  – значение  $i$ -го фактора в  $k$ -м примере ( $k = 1, \dots, Np$ );

$Z(x^k)$  – оценка решения нейронной сетью  $k$ -го примера.

$$Z(x^k) = T_k^{\text{об}} - \sum_{j=1}^{Nn} \left( \frac{2w_{3j}}{1 + \exp\left(\sum_{i=1}^n x_i^k w_{2ji} + \alpha_j\right)} - w_{3j} \right),$$

где  $T_k^{\text{об}}$  – норма времени в обучающей выборке;

$j$  – номер нейрона скрытого слоя ( $j = 1, \dots, Nn$ );

$Nn$  – количество нейронов в скрытом слое;

$\bar{w}_2$  – вектор весовых коэффициентов нейронов скрытого слоя;

$\bar{w}_3$  – вектор весовых коэффициентов выходного нейрона;

$\bar{\alpha}$  – вектор смещений нейронов скрытого слоя.

Для нейросетевой системы технического нормирования, обученной на данных о ступенчатых валах, произведенных в механосборочном цехе № 1 ЗАО НКМЗ в 2002 году, в соответствии с алгоритмом, приведенном на рис., были вычислены показатели значимости факторов для каждого нейронного модуля. Результаты расчета приведены в табл.

Таблица

Результаты расчета значимости характеристик деталей для нейронных модулей

Характеристика детали	Нейронный модуль				
	Токарной операции	Расточной операции	Фрезерной операции	Шлифовальной операции	Общего времени
$m$	0,27	0,95	0,63	0,69	0,39
$L$	1,00	0,70	0,33	0,43	1,00
$D_{\max}$	0,52	0,67	1,00	0,59	0,32
$D_{\min}$	0,33	0,57	0,91	0,57	0,07
$N_{\text{ст}}$	0,17	0,31	0,45	1,00	0,10
$N_{\text{п}}$	0,04	0,31	0,72	0,05	0,09
$N_{\text{р}}$	0,14	–	–	–	0,03

Продолжение табл.

Характеристика детали	Нейронный модуль				
	Токарной операции	Расточной операции	Фрезерной операции	Шлифовальной операции	Общего времени
$N_{пр}$	0,20	0,70	0,23	0,26	0,06
$N_o$	–	0,94	–	–	0,04
$Ra_{min}$	0,12	–	–	0,14	0,03
$K_{Ra}$	0,34	0,47	0,33	0,98	0,06
$K_h$	0,25	0,29	0,75	0,03	0,00
$Ra_{ср}$	0,69	0,59	0,42	0,34	0,08
$h_{ср}$	0,75	0,74	0,75	0,28	0,04
$HB$	0,10	1,00	0,43	0,06	0,04

В таблице абсолютные значения показателей значимости для удобства выражены в долях единиц.

Как видно из таблицы, наибольшую значимость для модуля токарной операции имеет длина вала (которая прямо пропорциональна времени обработки). Также высокую значимость имеют средние показатели точности диаметральных размеров и шероховатости поверхности, повышение требований к которым увеличивает трудоемкость получения заданных показателей.

Наибольшую значимость для нормирования времени расточной операции имеет твердость поверхности вала, поскольку величина твердости определяет потребность в термообработке детали, после которой необходимо выполнять повторную обработку торцов вала (правку центровых отверстий), которая производится на расточных станках. При этом обработка торцов занимает большую часть времени расточной операции. Также высокий уровень значимости имеет число отверстий, которые обрабатываются на расточном оборудовании, и масса вала, величина которой определяет размеры центровых гнезд.

Наибольшую значимость для нормирования времени фрезерной операции имеют величины максимального и минимального диаметров ступеней вала, т. к. именно на этих ступенях обычно располагаются шпоночные пазы, которые в основном обрабатываются на фрезерных станках. Также сравнительно высокий уровень значимости имеет собственно число пазов и показатели, характеризующие требования к точности диаметральных размеров. Высокие требования к точности указывают на число сопрягаемых поверхностей, где часто предусматриваются шпоночные пазы.

Для нейронного модуля шлифовальной операции наиболее значимым является число ступеней на валу, которые обычно предусматриваются как посадочные места для сопрягаемых деталей и имеют высокие требования к

качеству их поверхности, а также коэффициент высокочистых поверхностей, величина которого определяет объем шлифовальных работ.

Для нейронного модуля общего времени обработки, как и для токарной операции, наибольшую значимость имеет длина детали, поскольку в исходной обучающей выборке наибольший удельный вес в общем времени обработки валов среди всех технологических операций, как правило имеют токарные работы.

Следует отметить, что на уровень показателей значимости будут оказывать влияние конкретные условия производства и особенности предприятия.

**Выводы.** В результате выполнения работы предложен алгоритм вычисления показателей значимости характеристик деталей, подаваемых на вход нейросетевой системы нормирования времени механической обработки деталей. Оценка значимости факторов позволит оптимизировать объем исходных данных, привлекаемых для работы системы нормирования.

Расчет значимости характеристик ступенчатых валов, произведенных на ЗАО НКМЗ, подтвердил априорные представления о влиянии факторов на длительность различных видов обработки, и выводы о структуре входных сигналов нейронных модулей.

**Список литературы:** 1. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / Под ред. В.В. Бабука. – Минск: Высшейш. шк., 1987. – 255 с. 2. Гитис В. Б., Ковалевский С. В. Применение нейросетевых технологий для нормирования времени механообработки в машиностроении // VIII Всероссийская конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». Сборник докладов. – М.: ИПРЖР, 2002. – С. 569–572. 3. Гитис В. Б. Техническое нормирование на основе нейросетевых технологий // Надёжность инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. научных трудов. – Краматорск: ДГМА. – 2002. – № 12. – С. 113–118. 4. Гитис В. Б. Методика построения нейросетевых моделей типовых деталей // Искусственный интеллект. Научно-теоретический журнал. – 2004. – № 4. – С. 539–544. 5. Миркес Е. М. Нейроинформатика: Учебное пособие для студентов. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 347 с.

*Поступила в редакцию 26.04.2005*