

УДК 621.9

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

М.Н. МИРОНОВА

(Белорусско-Российский университет, Могилев)

Рассмотрены вопросы проектирования приспособлений для металлорежущих станков. Использован подход, базирующийся на технологиях искусственного интеллекта (технологиях функциональных семантических сетей). Анализируется возможность применения функциональных семантических сетей для оптимизации параметров станочных приспособлений. Описана интеллектуальная система, предназначенная для решения прикладных задач. Использование такой системы для проектирования технологической оснастки является особенно эффективным, так как позволяет обеспечивать многофакторную оптимизацию сложных технологических систем. Показана структура системы и приведен пример расчета кондуктора для обработки отверстий концевым инструментом.

Неотъемлемой частью технологической системы является станочная оснастка, точность которой влияет на качество подготовки производства, освоение новых видов продукции, обеспечение точности обработки и производительности труда. Наибольший удельный вес в технологической оснастке машиностроительных заводов имеют станочные приспособления, с помощью которых сокращается время установки обрабатываемых заготовок в результате устранения выверки и упрощения процесса базирования. Они снижают время обработки за счет автоматического получения размеров на настроенных станках, повышают производительность труда вследствие механизации и автоматизации, применения многоместной, многопозиционной обработки, расширяют технологические возможности станков, улучшают условия труда и безопасность работы. В связи с этим актуальны вопросы проектирования и расчета станочных приспособлений.

Для расчета размеров элементов приспособлений, при которых обеспечивалась бы необходимая точность обработки заготовки при ее установке в рассчитываемом приспособлении, предлагается использовать подход, базирующийся на технологиях искусственного интеллекта (технологиях функциональных семантических сетей).

Семантическую сеть удобно изображать в виде графа, в котором вершины отображают понятия, а ребра или дуги – отношения между ними. Таким образом, семантическую сеть можно представить тремя объектами (V, E, θ) , где V – множество вершин графа; E – множество ребер; θ – функция инцидентности, которая каждому элементу множества E ставит в соответствие пару элементов из множества V .

В зависимости от типов отношений (связей), различают классифицирующие семантические сети, функциональные сети и сети-сценарии. В квалифицирующих сетях используются отношения структуризации, в сценариях – каузальные (причинно-следственные) отношения, а также отношения типа «средство – результат», в функциональных сетях – функциональные отношения (такие сети часто называют вычислительными моделями) [1].

Функциональную семантическую сеть можно представить двудольным графом, в котором множество его вершин V является объединением непересекающихся множеств P и R , т. е.

$$V = P \cup R.$$

Первое множество вершин P представляет параметры рассчитываемых задач, в том числе исходные данные. Второе множество вершин R описывает отношения, определяющие функциональные зависимости между параметрами сети. Таким образом,

$$P = \{P_1, \dots, P_M\};$$

$$R = \{R_1, \dots, R_N\},$$

где P_i – элемент множества параметров сети P ; R_i – элемент множества отношений R .

Функция инцидентности для двудольного графа имеет вид:

$$\theta(e) = \left\{ (P_i, R_j) \mid P_i \in P, R_j \in R \right\},$$

что означает, что любое ребро сети соединяет некоторую вершину из множества P с некоторой вершиной из множества R .

В функциональной семантической сети под отношением R , определенном на k своих атрибутах P_1, \dots, P_k , понимается некоторое подмножество декартова произведения доменов D_j (множеств возможных значений), т.е.

$$R(P_1, \dots, P_k) \subseteq D_1 \times \dots \times D_k,$$

где

$$P_j \in D_j \quad (j = 1, 2, \dots, k).$$

Отношение R указывает на существование определенных зависимостей между значениями атрибутов в пространстве, определенном декартовым произведением их доменов [2].

Любой кортеж, удовлетворяющий отношению R , является его элементом, что эквивалентно условию:

$$(P_1, \dots, P_j, \dots, P_k) \in R.$$

Поиск решения в функциональной семантической сети может быть описан следующим образом. Выделим в кортеже какой-либо атрибут P_j , обозначив его через y .

Отношение будет функциональным, если для всего множества кортежей кортежи $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$ будут различными. В этом случае кортежу $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$ соответствует не более одного значения $P_j = y$, такого, что $(P_1, \dots, P_j, \dots, P_k) \in R$. Следовательно, значение $P_j = y$ однозначно определяется значениями кортежа $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$ и определяет функцию:

$$y = F^{(P_j)}(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k),$$

называемую разрешением функционального отношения для атрибута $P_j = y$.

При одном выделенном атрибуте y ранг отношения полагается равным единице. Если взять отношение ранга z , то будет определено z функций, зависящих от $k - z$ переменных:

$$y_i = F_i(P_1, \dots, P_{k-z}),$$

где $i = 1, 2, \dots, z$.

Поиск решения в данном случае заключается в поиске кортежа (P_1, \dots, P_{k-z}) , удовлетворяющего одновременно всему множеству функций y_i .

Если отношение имеет только одно разрешение, то используется так называемый алгоритм паросочетаний, когда устанавливается взаимно однозначное соответствие между обоими типами вершин семантической сети [3].

Если же ранг отношений больше единицы, то для нахождения минимально замкнутой системы отношений, необходимой для решения поставленной задачи, требуются более сложные алгоритмы.

На рисунке 1 приведена возможная структура функциональной семантической сети, состоящей из множества отношений $(R_1 \dots R_N)$ и множества параметров $(P_1 \dots P_M)$.

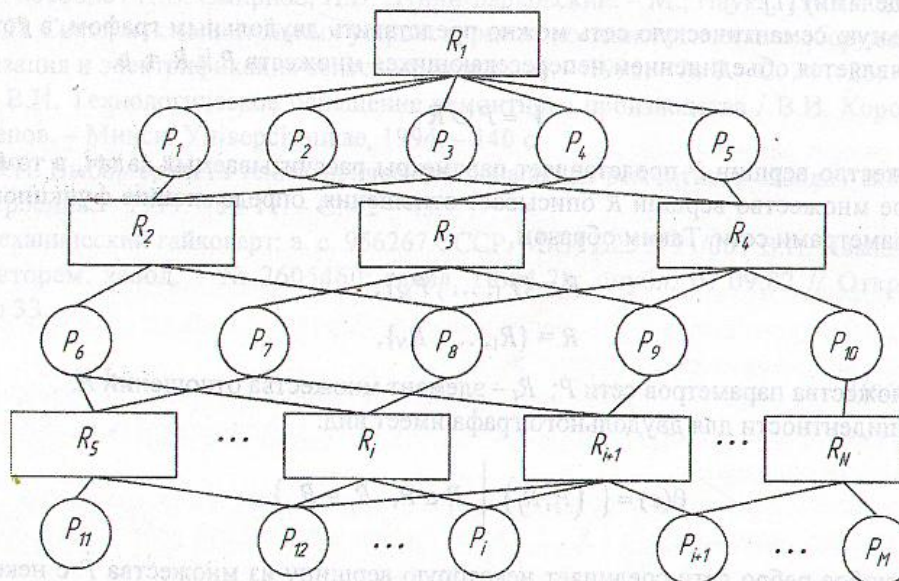


Рис. 1. Структура функциональной семантической сети

Функциональная семантическая сеть является неориентированным графом, так как только при постановке задачи станет известно, какие параметры отношений сети окажутся входными, а какие – выходными.

В этом связи при решении конкретной задачи на семантической сети определяется минимально замкнутая подсистема отношений для решения поставленной задачи. У отношений, входящих в минимально замкнутую систему, выявляются входы и выходы. В результате этого происходит преобразование отношений в соответствующие функции:

$$R(P_1, \dots, P_k) \rightarrow F^{(R)}(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k).$$

Пример преобразования отношения R_1 , состоящего из k параметров, в функцию F_1 по нахождению параметра P_2 показан на рисунке 2.

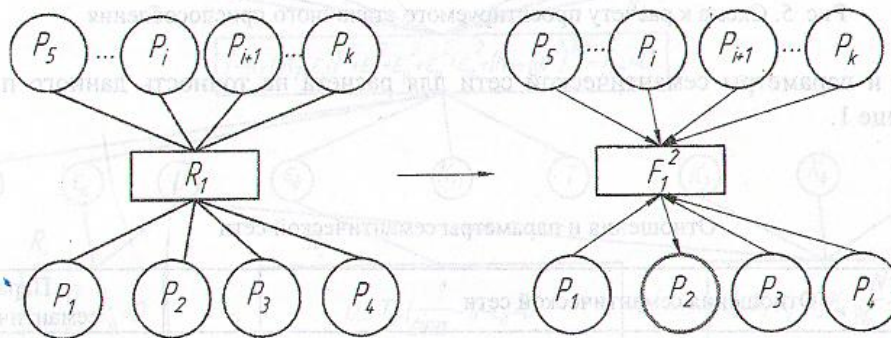


Рис. 2. Преобразование отношений сети в функции

После преобразования отношений, входящих в минимально замкнутую систему, формируется цепочка функций, необходимая для решения поставленной задачи (рис. 3).

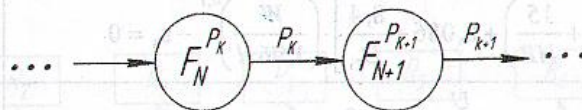


Рис. 3. Формирование цепочки функций

В результате этого происходит преобразование неориентированного двудольного графа отношений в ориентированный граф решения задачи (рис. 4), в котором вершины-кружки являются параметрами проектируемой системы, а вершины-прямоугольники содержат функции, в которые отношения между параметрами проектируемой системы были преобразованы.

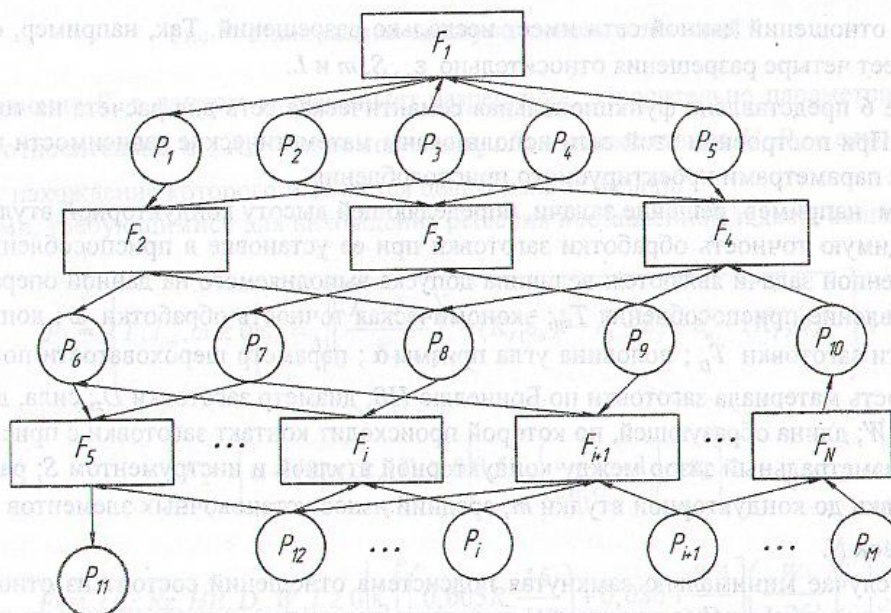


Рис. 4. Ориентированный граф решения задачи

Рассмотрим применение функциональной семантической сети для расчета на точность станочного приспособления, предназначенного для установки цилиндрической заготовки в призме при обработке отверстия по кондуктору (рис. 5).

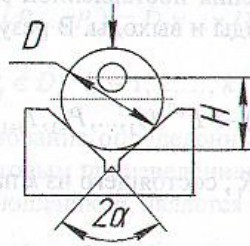


Рис. 5. Схема к расчету проектируемого станочного приспособления

Отношения и параметры семантической сети для расчета на точность данного приспособления приведены в таблице 1.

Таблица 1

Отношения и параметры семантической сети

Отношения семантической сети		Параметры семантической сети
R_1	$T - K_T \sqrt{(K_{T1} \varepsilon_\theta)^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_n^2 + (K_{T2} \omega)^2} - T_{np} = 0$	$T, T_{np}, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z, \varepsilon_y, \varepsilon_u, \varepsilon_n, \omega, K_T, K_{T1}, K_{T2}$
R_2	$0,5 \cdot T_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) - \varepsilon_\theta = 0$	$\varepsilon_\theta, T_D, \alpha$
R_3	$\left[\left(0,005 \cdot R_z + \frac{15}{HB} \right) + 0,086 + \frac{8,4}{D_2} \right] \cdot \left(\frac{W}{1,96 \cdot l} \right)^{0,7} - \varepsilon_3 = 0$	$\varepsilon_3, R_z, HB, D_2, W, l$
R_4	$\frac{U}{\sin \alpha} - \varepsilon_u = 0$	ε_u, U, α
R_5	$U_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \frac{N}{10^5} - U = 0$	$U_0, U, N, K_1, K_2, K_3, K_4$
R_6	$\varepsilon_y = 0$	ε_y
R_7	$0,5 \cdot S + \frac{S \cdot m}{L} - \varepsilon_n = 0$	ε_n, S, m, L

Каждое из отношений данной сети имеет несколько разрешений. Так, например, отношение R_7 в общем случае имеет четыре разрешения относительно ε_n, S, m и L .

На рисунке 6 представлена функциональная семантическая сеть для расчета на точность данного приспособления. При построении этой сети использованы математические зависимости между параметрами обработки и параметрами проектируемого приспособления.

Рассмотрим, например, решение задачи, определяющей высоту кондукторной втулки L , обеспечивающую необходимую точность обработки заготовки при ее установке в приспособлении. Исходными данными поставленной задачи являются: величина допуска выполняемого на данной операции размера T ; допуск на изготовление приспособления T_{np} ; экономическая точность обработки ω ; допуск размера базовой поверхности заготовки T_D ; половина угла призмы α ; параметр шероховатости поверхности заготовки R_z ; твердость материала заготовки по Бринеллю HB ; диаметр заготовки D_2 ; сила, действующая по нормали к опоре, W ; длина образующей, по которой происходит контакт заготовки с приспособлением, l ; максимальный диаметральный зазор между кондукторной втулкой и инструментом S ; расстояние от поверхности заготовки до кондукторной втулки m ; средний износ установочных элементов U_0 ; количество установов заготовок N .

В данном случае минимально замкнутая подсистема отношений состоит из отношений $R_1 - R_7$. У данных отношений выявляются входные и выходные параметры, определяются их разрешения, что приводит к преобразованию отношений в соответствующие функции (рис. 7).

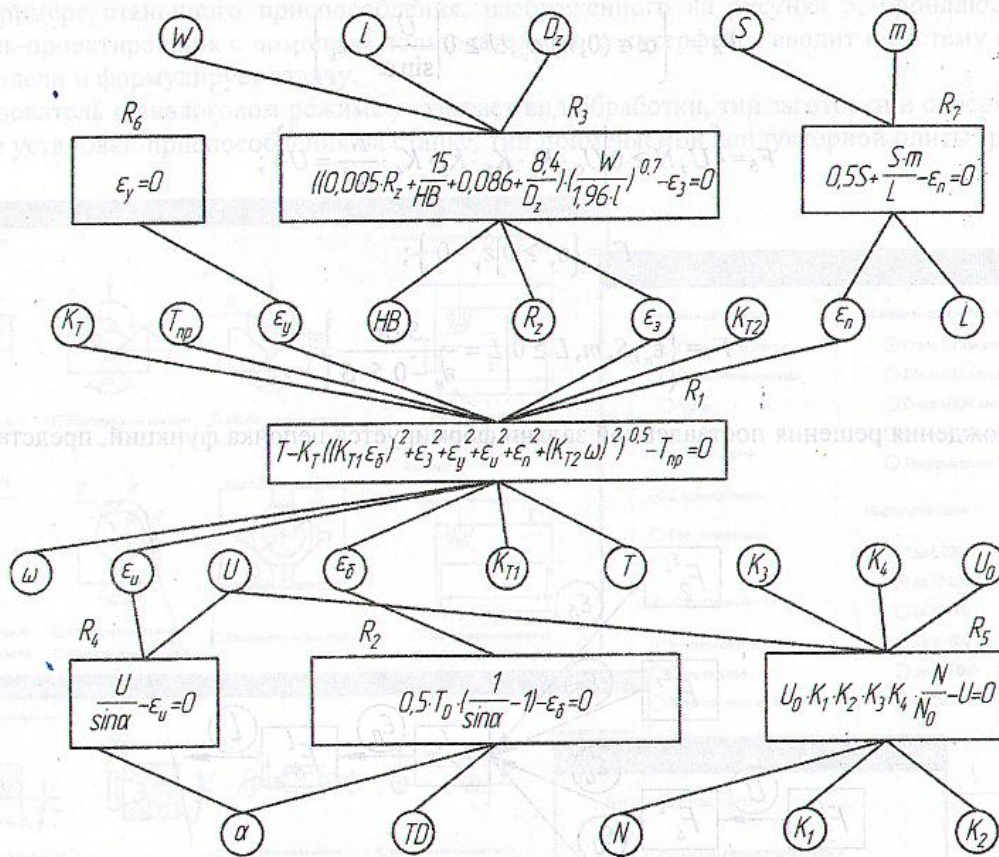


Рис. 6. Функциональная семантическая сеть для рассчитываемого приспособления

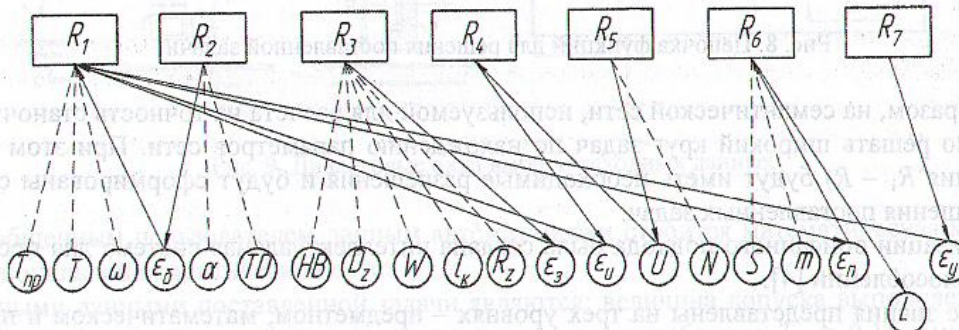


Рис. 7. Минимальная замкнутая система отношений

Так, отношение R_1 в данном случае имеет разрешение, относительно параметра ϵ_n , R_2 – относительно ϵ_δ , R_3 – относительно ϵ_3 , R_4 – относительно ϵ_u , R_5 – относительно U , R_6 – относительно ϵ_y , R_7 – относительно L , нахождение которого и является целью данной задачи.

Функциями, требующимися для нахождения решения поставленной задачи, являются:

$$F_1 = \left\{ T, T_{np}, \omega \geq 0 \mid \epsilon_n = \sqrt{\left(\frac{T - T_{np}}{K_T} \right)^2 - (K_{T1} \epsilon_\delta)^2 - \epsilon_3^2 - \epsilon_y^2 - \epsilon_n^2 - (K_{T2} \omega)^2} \right\};$$

$$F_2 = \left\{ \alpha \in (0; \pi), \epsilon_\delta, T_D \geq 0 \mid 0,5 T_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) = \epsilon_\delta \right\};$$

$$F_3 = \left\{ \epsilon_3, R_z, HB, D_z, W, l \geq 0 \mid \left[\left(0,005 R_z \frac{15}{HB} \right) + 0,086 + \frac{8,4}{D_z} \right] \left(\frac{W}{1,96 l} \right)^{0,7} \right\};$$

$$F_4 = \left\{ \alpha \in (0; \pi), \varepsilon_u, U \geq 0 \mid \frac{U}{\sin \alpha} = \varepsilon_u \right\};$$

$$F_5 = \left\{ U, N \geq 0 \mid U_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \frac{N}{10^5} = U \right\};$$

$$F_6 = \left\{ \varepsilon_y \geq 0 \mid \varepsilon_y = 0 \right\};$$

$$F_7 = \left\{ \varepsilon_n, S, m, L \geq 0 \mid L = \frac{S \cdot m}{\varepsilon_n - 0,5 \cdot S} \right\}.$$

Для нахождения решения поставленной задачи формируется цепочка функций, представленная на рисунке 8.

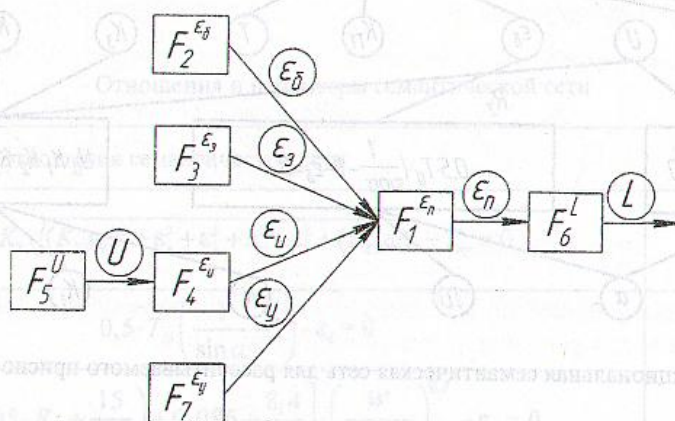


Рис. 8. Цепочка функций для решения поставленной задачи

Таким образом, на семантической сети, используемой для расчета на точность станочного приспособления, можно решать широкий круг задач по нахождению параметров сети. При этом для каждого случая отношения $R_1 - R_7$ будут иметь необходимые разрешения и будут сформированы свои цепочки функций для решения поставленных задач.

Для реализации описанного подхода была создана интеллектуальная система для проектирования станочных приспособлений [4].

В системе знания представлены на трех уровнях – предметном, математическом и программном. Поэтому база знаний имеет трехуровневую структуру и состоит соответственно из компонентов знаний на техническом, математическом и программном уровнях.

Компоненты знаний на техническом уровне включают характеристики приспособлений, от которых зависит точность обработки заготовок. На математическом уровне этим структурам соответствуют отношения, а на программном – модули.

Трехуровневая модель предметной области обусловила в свою очередь архитектуру системы, которая включает подсистему формирования технической модели, подсистему формирования математической модели и подсистему формирования алгоритмов решения задач.

Подсистема формирования технической модели выполнена в виде диалоговых окон, с помощью которых выбираются компоненты рассчитываемого на точность станочного приспособления.

Подсистема формирования математической модели устанавливает соответствие между компонентами технической модели и моделирующими их математическими отношениями и формирует математическую модель объекта, представляющую собой функциональную семантическую сеть.

Подсистема формирования алгоритмов решения задач осуществляет планирование вычислений расчетных задач на семантических сетях и формирует программу.

Переход от предметного уровня к математическому, когда по описанию системы проектировщиком сначала строится полная техническая модель системы, а затем и математическая, решается автоматизацией познавательной деятельности (компьютеризацией знаний в области расчета станочных приспособлений) путем представления ее с помощью формализмов искусственного интеллекта. В данной системе в качестве таких формализмов использованы фреймы узлов станочных приспособлений, объединенные в единую структуру.

На примере станочного приспособления, изображенного на рисунке 5, проиллюстрируем, как пользователь-проектировщик с помощью пользовательского интерфейса вводит в систему описание технической модели и формулирует задачу.

Пользователь в диалоговом режиме указывает вид обработки, тип заготовки и способ ее базирования, а также установки приспособления на станке, тип применяемой кондукторной плиты (рис. 9).

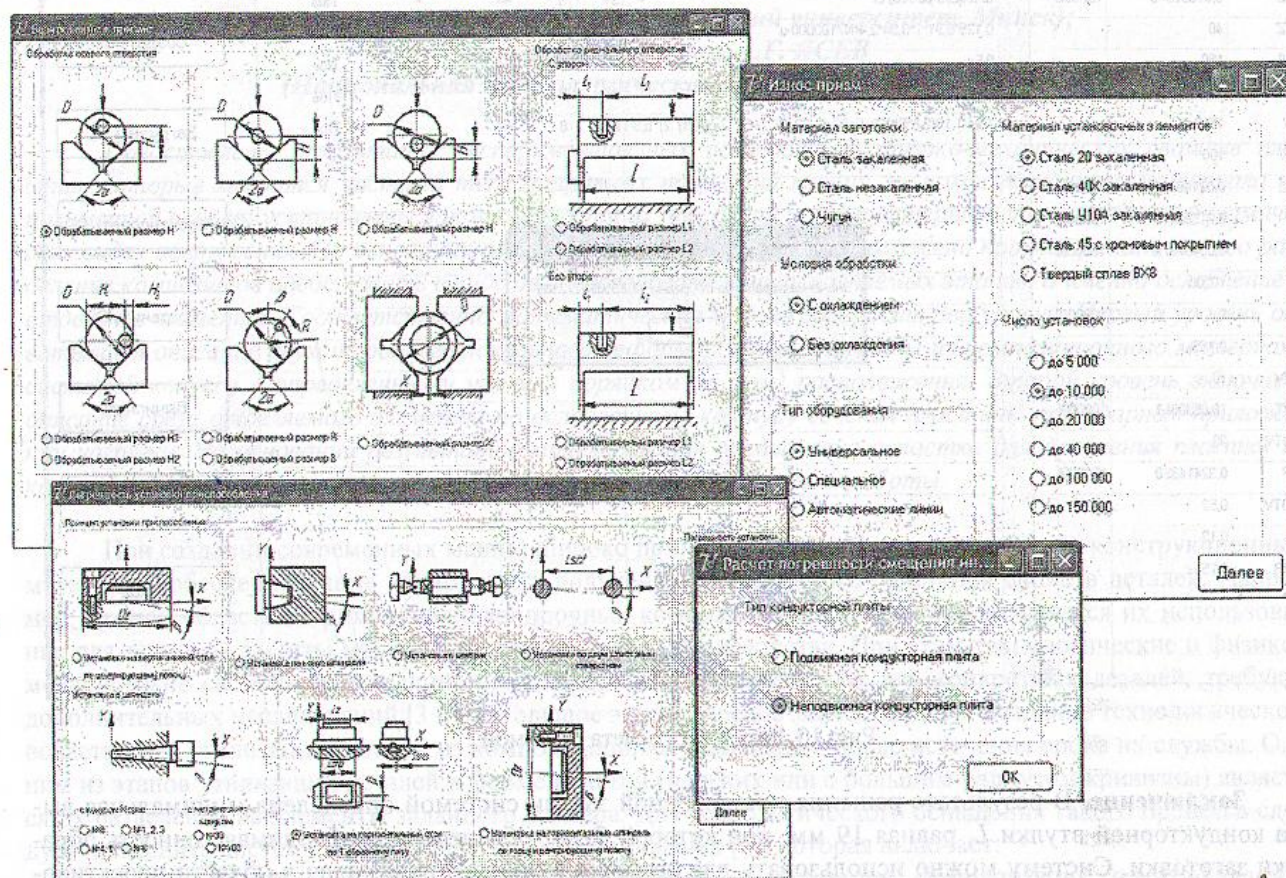


Рис. 9. Диалоговые окна выбора исходных данных

По сообщенным пользователем данным автоматически строится математическая модель системы в виде функциональной семантической сети.

Исходными данными поставленной задачи являются: величина допуска выполняемого на данной операции размера $T = 0,52$ мм; допуск на изготовление приспособления $T_{пр} = 0,15$ мм; экономическая точность обработки $\omega = 0,13$; допуск размера базовой поверхности заготовки $T_D = 0,08$ мм; половина угла призмы $\alpha = 45^\circ$; параметр шероховатости поверхности заготовки $Rz = 40$ мкм; твердость материала заготовки по Бринеллю $HB = 190$; диаметр заготовки $D_z = 40$ мм; сила, действующая по нормали к опоре, $W = 1500$ Н; длина образующей, по которой происходит контакт заготовки с приспособлением, $l = 100$ мм; максимальный диаметральный зазор между кондукторной втулкой и инструментом $S = 0,155$ мм; расстояние от поверхности заготовки до кондукторной втулки $m = 10$ мм; средний износ установочных элементов $U_0 = 125$ мкм; число установок заготовки $N = 10000$.

При расчете высоты кондукторной втулки L , при которой обеспечивается необходимая точность обработки заготовки, система последовательно вычислила все неизвестные параметры (рис. 10). Ниже представлены их вычисленные значения:

- погрешность базирования заготовки: $\epsilon_6 = 0,0166$ мм;
- погрешность закрепления заготовки: $\epsilon_7 = 0,0215$ мм;
- погрешность установки: $\epsilon_y = 0$ мм;
- износ призмы при эксплуатации данного приспособления: $U = 0,026$ мм;
- погрешность, обусловленная износом элементов приспособления: $\epsilon_u = 0,036$ мм;
- погрешность обработки, связанная с перекосом или смещением инструмента: $\epsilon_n = 0,32$ мм;
- высота кондукторной втулки: $L = 18,85$ мм.

SEMANTIC

Параметры семантической сети

Параметр	Значение	Миним.	Макс.
DZ	0,08		
ALFA	45		
EB	0,0165164 0		100000
RZ	40		
HB	190		
DZ	40		
W	1500		
LK	100		
EZ	0,021464 0		100000
U	0,0256841 0		100000
EI	0,036379 0		100000
N	10000		
EY	0	0	100000
SV	0,155		
LZV	10		
LVT	18,85308 1		100000
LOTV	20		
EP	0,324143 0		100000
TOTV	0,52		
F	0,13		
TPR	0,15		

Отношения семантической сети

Отношения	Общее	Извест.	Неизвестные параметры	Допуск
$0,5 \cdot HB \cdot W \cdot Z \cdot \sin(\alpha) / RZ \cdot EI$	3	3	---	True
$(0,005 \cdot RZ + 15 \cdot HB + 0,086 + 8,4 \cdot DZ) \cdot (W / (1,96 \cdot k)^{0,7}) / 1000 \cdot E$	6	6	---	True
$w \cdot \sin(\alpha) / RZ \cdot EI$	3	3	---	True
$0,125 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 2,4 \cdot N / 100000 \cdot u$	2	2	---	True
$0 \cdot E_y$	1	1	---	True
$0,5 \cdot S_v + S_v \cdot L_z v / L_v + S_v \cdot L_o v / L_v \cdot E_p$	5	5	---	True
$Totv - 1,1 \cdot ((0,8 \cdot E_b)^2 + E_z^2 + E_y^2 + E_l^2 + E_p^2 + (0,6 \cdot \eta)^2) \cdot 0,5 \cdot 18$	8	8	---	True

Создать модель

Создать СС

Загрузить СС

Редактировать СС

Сохранить СС

Вычислить

Очистить поля

Выход

SEMANTIC

Значение параметра LVT равно 18,853083172189

ОК

Рис. 10. Результат расчета системой

Заключение. В результате решения поставленной задачи системой определена минимальная высота кондукторной втулки L , равная 19 мм, при которой будет обеспечена необходимая точность обработки заготовки. Систему можно использовать для решения широкого ряда задач в области проектирования технологической оснастки, применяемой при обработке деталей машин лезвийным инструментом. Для решения конкретных задач такой системой четкий алгоритм не требуется, а формируется самой системой путем преобразования ранее созданной семантической сети в конечную сеть, соответствующую результату решения поставленной задачи. Использование системы для проектирования технологической оснастки является особенно эффективным, так как позволяет обеспечивать многофакторную оптимизацию сложных технологических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
2. Пашкевич, В.М. Использование семантических сетей для расчета станочных приспособлений / В.М. Пашкевич, М.Н. Миронова // Vědecký průmysl evropského kontinentu – 2007: materiály IV mezinárodní vědecko-praktická konference, Praha, 01 – 15 prosinců 2007 r.: Díl 14. Technické vědy. – Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2007. – С. 43 – 44.
3. Поспелов, Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г.С. Поспелов. – М.: Наука, 1988. – 280 с.
4. Пашкевич, В.М. Расчет станочных приспособлений на основе использования семантических сетей / В.М. Пашкевич, М.Н. Миронова // Вестн. Бел.-Рос. ун-та. – 2007. – № 4. – С. 98 – 106.
5. Технологическая оснастка: учебник для студентов машиностр. спец. вузов / М.Ф. Пашкевич [и др.]. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 320 с.
6. Станочные приспособления: справочник: в 2 т. / ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) [и др.]; под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского – М.: Машиностроение, 1984. – Т. 2.

Поступила 20.06.2008