

УДК 621.9

В. М. Пашкевич, канд. техн. наук, доц., М. Н. Миронова

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ КОНЦЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Рассмотрены вопросы обеспечения точности обработки концевыми инструментами. Использован подход, базирующийся на технологиях функциональных семантических сетей. Рассмотрена возможность применения функциональных семантических сетей для управления точностью обработки деталей машин лезвийным инструментом. Описана интеллектуальная система, предназначенная для решения прикладных задач. Показана структура системы и приведен пример ее использования.

Обеспечение точности обработки с использованием лезвийного инструмента представляет собой одну из основных проблем технологии машиностроения. Однако современные методы ее решения не в полной мере учитывают текущее состояние технологического оборудования, а также функциональные взаимосвязи между параметрами обработки. Альтернативу существующим подходам могли бы составить подходы, базирующиеся на технологиях искусственного интеллекта – в частности, технологиях функциональных семантических сетей.

Система, использующая семантическую сеть для решения различных прикладных задач, обладает существенным преимуществом по сравнению с традиционными программами.

Как известно, в традиционном программировании вычислительный процесс состоит из отдельных актов и носит строго иерархический характер. Такие программы содержат элементы двух принципиально различных классов – команды и данные. Данные являются объектами преобразования со стороны программы и непосредственно в ее состав не входят. Сама же программа представляет собой жестко определенную последовательность команд, остающихся неизменными в ходе ее решения.

Система, основанная на семантических сетях, состоит из программных элементов, достаточно близких друг к другу как по структуре, так и по исполнению. Любой программный элемент может выполняться и, в свою очередь, быть объектом

преобразования. Процесс решения задачи заключается в преобразовании исходной сети в конечную сеть, соответствующую результату, что позволяет использовать данную систему для решения различных задач в области управления точностью обработки деталей машин. При этом четкий алгоритм решения не требуется и не строится, а формируется самой системой.

Применение подхода, базирующегося на технологиях функциональных семантических сетей, дает возможность успешно решать задачу, связанную с обеспечением точности обработки деталей машин лезвийным инструментом.

Для реализации такого подхода была создана интеллектуальная система, предназначенная для решения прикладных задач, описываемых функциональными зависимостями. Использование системы предполагает взаимодействие с двумя категориями пользователей:

– экспертами-специалистами в некоторой предметной области, которые описывают функциональные зависимости между параметрами конкретной задачи, без привлечения специалистов в области программирования (режим приобретения знаний или режим обучения системы);

– пользователями, которым необходимо найти решение задачи в данной предметной области (режим решения задачи).

Знания, которые необходимы для работы с системой, могут быть разбиты на два типа:

– знания о параметрах предметной

области, на анализе которых строится решение задачи. Эти параметры представляют собой некоторые понятия предметной области, которые могут быть связаны между собой и могут образовывать функциональные сети;

– знания, определяющие взаимосвязи между понятиями предметной области.

Общая структура системы и ее взаимодействие с конечным пользователем показаны на рис. 1. В состав системы входят следующие части:

- пользовательский интерфейс;
- подсистема приобретения знаний;
- база знаний;
- механизм логического вывода.

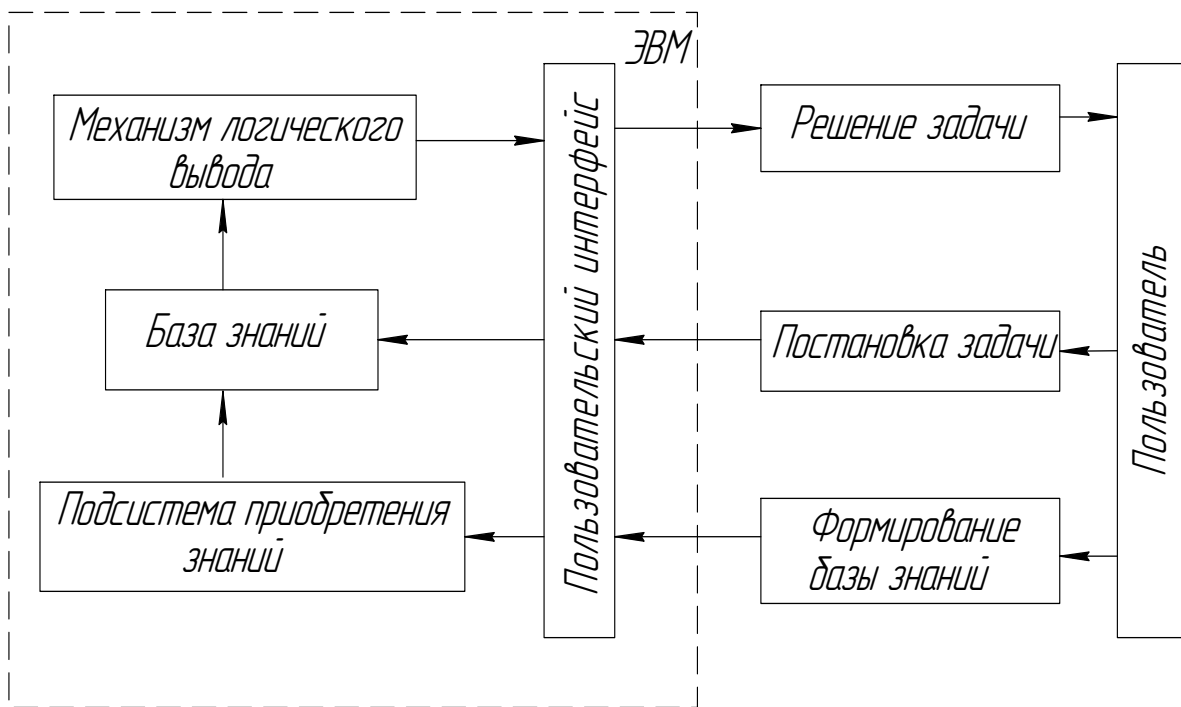


Рис. 1. Структура системы и ее взаимодействие с конечным пользователем

Интерфейс системы, представленный на рис. 2, реализует диалог пользователя с системой как на стадии ввода информации, так и при получении готового решения поставленной задачи.

Подсистема приобретения знаний включает три модуля:

- модуль создания базы знаний;
- модуль загрузки ранее созданной базы знаний;
- модуль редактирования и сохранения базы знаний.

Модуль создания базы знаний выполнен на основе диалоговых окон. Ввод

параметров сети, их значений, а также зависимостей между параметрами осуществляется с помощью диалоговых окон, представленных на рис. 3 и 4 соответственно.

Модуль загрузки базы знаний позволяет системе работать с уже готовыми базами знаний, которые хранятся в файлах текстового типа.

Процесс приобретения знаний системой можно разбить на три этапа:

- введение в систему новых знаний;
- обнаружение неполноты базы

знаний и выявление новых знаний, устраняющих эту неполноту;

– редактирование базы знаний (добавление, удаление и модификация базы).

Модуль сохранения позволяет сохра-

нять как созданную базу знаний, так и изменения, внесенные в уже загруженную базу с помощью процедур Save и Save As (см. рис. 2).

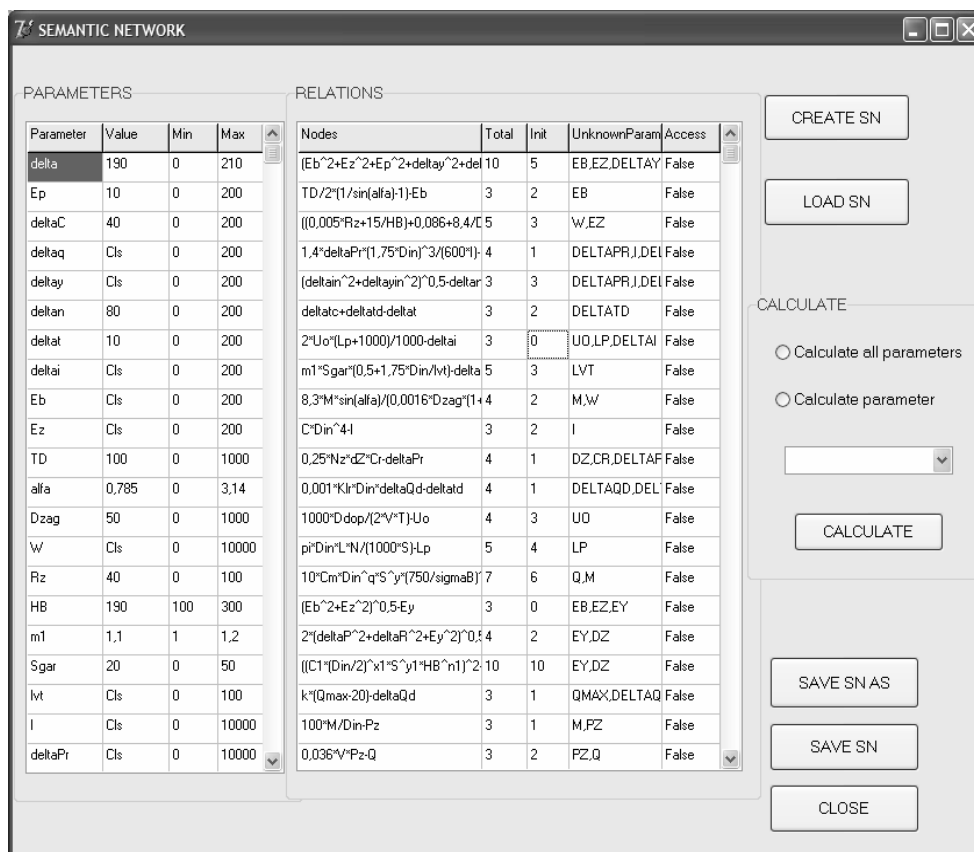


Рис. 2. Интерфейс системы

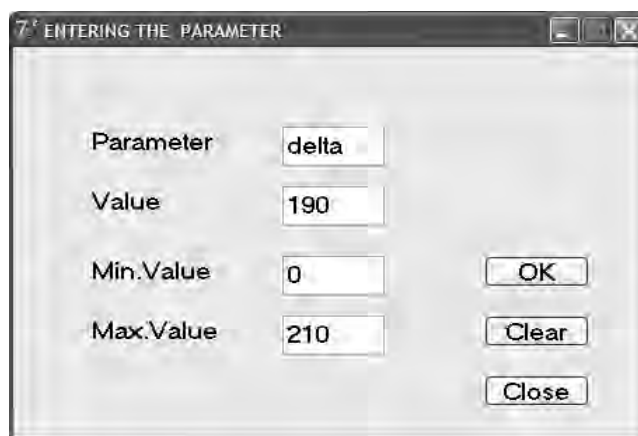


Рис. 3. Окно ввода информации о параметре семантической сети

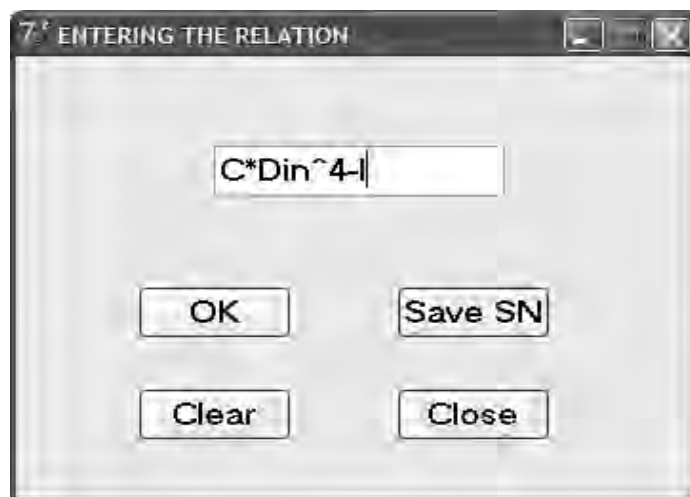


Рис. 4. Окно ввода зависимостей между понятиями предметной области

Основой модели представления знаний в системе служит функциональная семантическая сеть, которая представляет собой в общем случае двудольный граф с двумя типами вершин. Первый тип представляет параметры рассчитываемых задач, в том числе исходные данные. Вторым типом вершин описываются отношения, определяющие функциональные зависимости между параметрами сети.

Здесь под отношением R , определенном на n своих атрибутах x_1, \dots, x_n , понимается некоторое подмножество декартова произведения доменов D_i (множеств возможных значений), т. е.

$$R(x_1, \dots, x_n) \subseteq D_1 \times \dots \times D_n,$$

где $x_j \in D_j$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

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

Любой кортеж, удовлетворяющий отношению R , является его элементом, т. е.

$$(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n) \in R.$$

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

Отношение будет функциональным, если для всего множества кортежей кортежи $(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$ будут различными. В этом случае кортежу $(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$ соответствует не более одного значения $x_j = y$, такого, что $(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n) \in R$. Следовательно, значение $x_j = y$ однозначно определяется значениями кортежа $(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$ и определяет функцию

$$y = f^{(j)}(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n),$$

называемую разрешением функционального отношения для атрибута $x_j = y$. При одном выделенном атрибуте у ранг отношения полагается равным единице.

Если взять отношение ранга m , то будет определено m функций, зависящих от $n - m$ переменных

$$y_k = f_k(x_1, \dots, x_{n-m}),$$

где $k = 1, 2, \dots, m$ или вектор-функция

$$y = F(x).$$

Поиск решения в данном случае заключается в поиске кортежа (x_1, \dots, x_{n-m}) , удовлетворяющего одновременно всему множеству функций y_k .

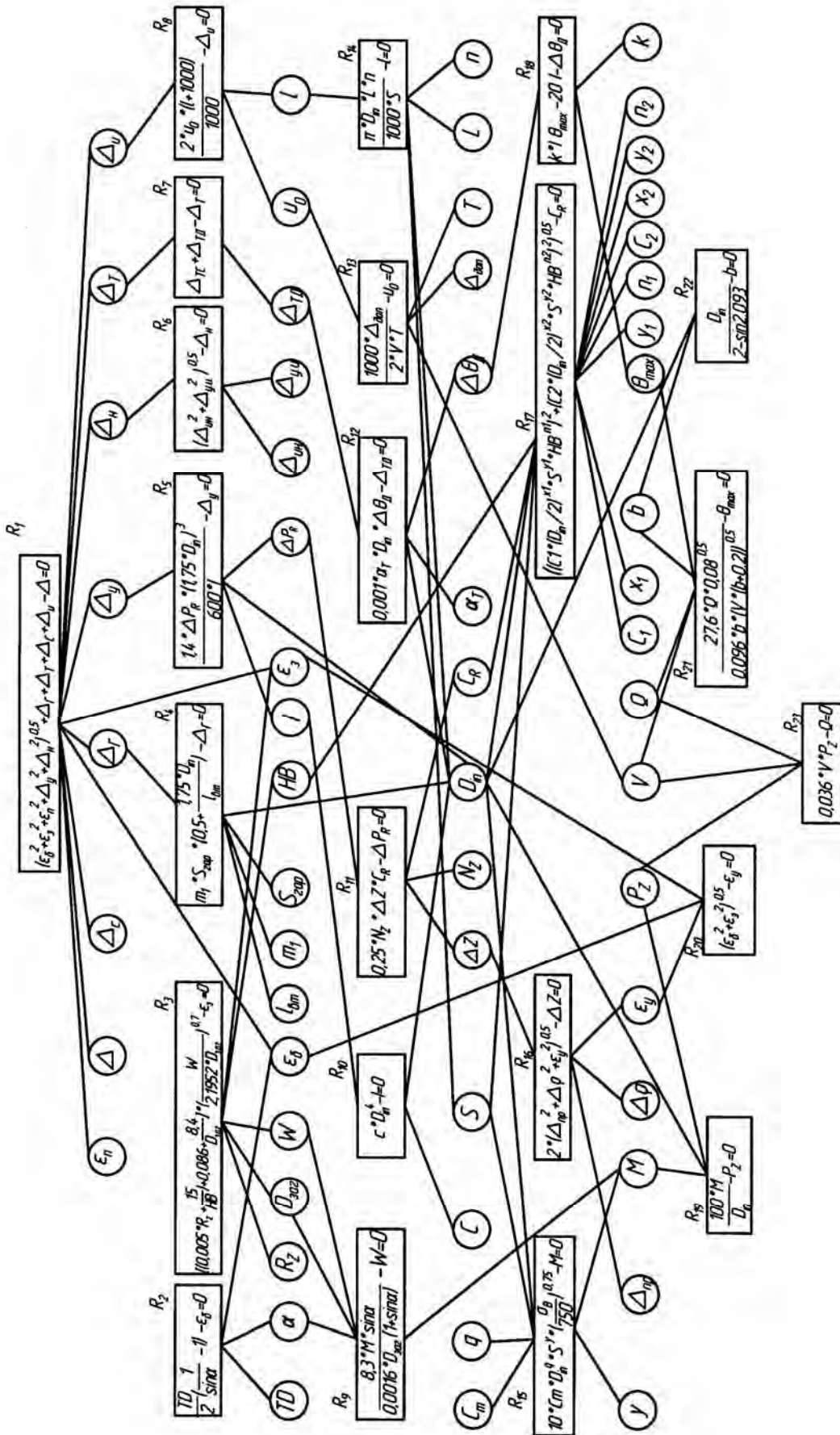


Рис. 5. Функциональная семантическая сеть для управления точностью обработки концевым инструментом

На рис. 5 представлена функциональная семантическая сеть для такой предметной области, как точность обработки отверстий.

При построении сети использованы математические зависимости между параметрами обработки отверстий концевыми инструментами и отдельными составляющими общей погрешности обработки.

Сеть представляет собой двудольный неориентированный граф, в котором вершины-кружки являются параметрами процесса, а вершины-прямоугольники содержат отношения между этими параметрами, например:

$$R_1(\Delta, \varepsilon_{\delta}, \varepsilon_3, \varepsilon_n, \Delta_y, \Delta_z, \Delta_n, \Delta_T, \Delta_c, \Delta_u) = \{ \Delta, \varepsilon_{\delta}, \varepsilon_3, \varepsilon_n, \Delta_y, \Delta_z, \Delta_n, \Delta_T, \Delta_c, \Delta_u \geq 0 \mid k\sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_n^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2} + \Delta_T + \Delta_c + \Delta_n - \Delta = 0 \};$$

$$R_2(\varepsilon_{\delta}, T_D, \alpha) = \{ T_D > 0, \varepsilon_{\delta} \geq 0,$$

$$\alpha \in (0; \pi) \mid \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) - \varepsilon_{\delta} = 0 \};$$

или

$$R_5(\Delta_y, \Delta P_R, D_{in}, I) = \{ \Delta_y, \Delta P_R, D_{in},$$

$$I > 0 \mid 1,4 \frac{\Delta P_R \times (1,75 \times D_{in})^3}{600 \times I} - \Delta_y = 0 \}$$

и т. д.

Каждое из отношений данной сети имеет несколько разрешений, представленных в виде программных модулей. Так, например, отношение R_5 в общем случае имеет четыре разрешения (рис. 6).

Эти разрешения, записанные в символической форме, принятой в программировании, будут иметь следующий вид:

$$\Delta_y := (1,4 \times \Delta P_R \times (1,75 \times D_{in})^3) / (600 \times I);$$

$$\Delta P_R := (600 \times \Delta_y \times I) / (1,4 \times (1,75 \times D_{in})^3);$$

$$I := (1,4 \times \Delta P_R \times (1,75 \times D_{in})^3) / (600 \times \Delta_y);$$

$$D_{in} := 1 / 1,75 \times \sqrt[3]{600 \times \Delta_y \times I / 1,4 \times \Delta P_R}.$$

В случае отношений ранга, равного единице, используется так называемый алгоритм паросочетаний, когда устанавливается взаимно-однозначное соответствие между двумя типами вершин. Если же ранг отношений больше единицы, то для нахождения минимально замкнутой системы отношений, необходимой для решения поставленной задачи, требуются более сложные алгоритмы. Построение минимально замкнутой системы отношений позволяет указать, какие разрешения должны быть у каждого из них и, соответственно, из каких программных модулей образуется цепочка рабочей программы.

Рассмотрим решение задачи, определяющей высоту кондукторной втулки, при которой выполнялось бы условие обеспечения точности обработки отверстия. Исходными данными поставленной задачи являются: суммарная погрешность обработки $\Delta = 190$ мкм; погрешность настройки станка на выдерживаемый размер $\Delta_n = 80$ мкм; погрешность обработки, обусловленная температурными деформациями $\Delta_T = 10$ мкм; погрешность станка $\Delta_c = 40$ мкм; погрешность приспособления $\varepsilon_n = 10$ мкм; угол призмы $\alpha = 45^{\circ}$; допуск базовой поверхности заготовки $T_D = 100$ мкм; параметр шероховатости поверхности заготовки $Rz = 40$; твердость материала заготовки по Бринеллю $190 HB$; диаметр заготовки $D_{заг} = 50$ мм; диаметр инструмента $D_{ин} = 20$ мм; подача инструмента $S = 0,14$ мм/об; предел прочности обрабатываемого материала $\sigma_B = 750$ МПа; минимальный гарантированный зазор посадки «втулка – инструмент» $S_{зап} = 20$ мкм; коэффициент, учитывающий погрешность, вносимую сменной втулкой в геометрическое

смещение оси инструмента относительно оси постоянной втулки $m_1 = 1,1$; число зубьев режущего инструмента $N = 2$; коэффициент, учитывающий тип инструмента $c = 0,011$; скорость резания $V = 31,4$ м/мин; длина обработки $L = 10$ мм; количество деталей в настроечной партии, обрабатываемой в период между подналадками станка $N = 100$; максимально допустимый износ инструмента $\Delta_{\text{дон}} = 1,1$ мм; стойкость инструмента $T = 45$ мин.

Первая вспомогательная задача, которую решает программный комплекс, заключается в определении минимально замкнутой системы отношений, позволяющей решить поставленную задачу.

Поскольку в данном случае ни ширину среза при сверлении b , ни значение температуры вдоль режущей кромки сверла θ_{max} , ни тепловыделение Q , ни тангенциальную составляющую силы резания P_z , ни погрешность обработки, обусловленную температурными деформациями Δ_T , ни погрешность настройки станка Δ_n вычислять не требуется, то отношения $R_6, R_7, R_{12}, R_{18}, R_{19}, R_{21} - R_{23}$ использоваться не будут, и тем самым минимально замкнутая подсистема отношений состоит лишь из отношений $R_1 - R_5, R_8 - R_{11}, R_{13} - R_{17}$ и R_{20} (рис. 7). У отношений выявляются входы и выходы, что приводит к преобразованию их в функции.

Таким образом, происходит преобразование неориентированного двудольного графа отношений (см. рис. 5) в ориентированный граф решения задачи (рис. 8). И соответственно происходит синтез рабочей программы решения задачи из цепочки программных модулей, соответствующих каждой функции (рис. 9).

Расчет неизвестных параметров процесса осуществляется при помощи механизма логического вывода, состоящего из трех основных модулей:

- модуля, осуществляющего семантический анализ строкового выражения, содержащего функциональную зависимость;

- модуля, который производит чтение

заданного текста и формирование польской записи;

- модуля, осуществляющего расчет выражения по сформированной польской записи.

Модуль, осуществляющий семантический анализ строкового выражения, поочередно считывает символы строки и определяет его принадлежность либо к числовой константе, переменной, символу операции или к имени функции.

По результатам семантического анализа строкового выражения, содержащего функциональную зависимость, создается обратная польская запись, представляющая собой массив управляющих команд, последовательное выполнение которых обеспечивает требуемую последовательность вычислений.

Проиллюстрируем результат решения системой задачи, определяющей высоту кондукторной втулки, при которой выполнялось бы условие обеспечения точности обработки отверстия. С этой целью система последовательно вычислила все неизвестные параметры, от которых зависит величина $l_{\text{от}}$. Ниже представлены значения этих параметров: погрешность базирования $\varepsilon_\sigma = 20,74$ мкм; момент сил резания $M = 28,63$ Н/м; сила закрепления $W = 1230$ Н; погрешность закрепления $\varepsilon_\gamma = 2,89$ мкм; погрешность установки $\varepsilon_y = 25,3$ мкм; неравномерность припуска $\Delta Z = 43,06$ мкм; коэффициент $C_R = 400,31$; равнодействующая неуравновешенных сил резания $\Delta P_R = 861,87$ Н; осевой момент инерции поперечного сечения инструмента $I = 1760$ мм⁴; величина упругого отжатия инструмента $\Delta_y = 49$ мкм; относительный износ инструмента $u_o = 0,4$ мкм/км; путь резания $L = 449$ мм; погрешность обработки, обусловленная износом режущего инструмента $\Delta_u = 1,13$ мкм; геометрическое смещение оси инструмента $\Delta_r = 42,33$ мкм; высота кондукторной втулки $l_{\text{от}} = 24,65$ мкм.

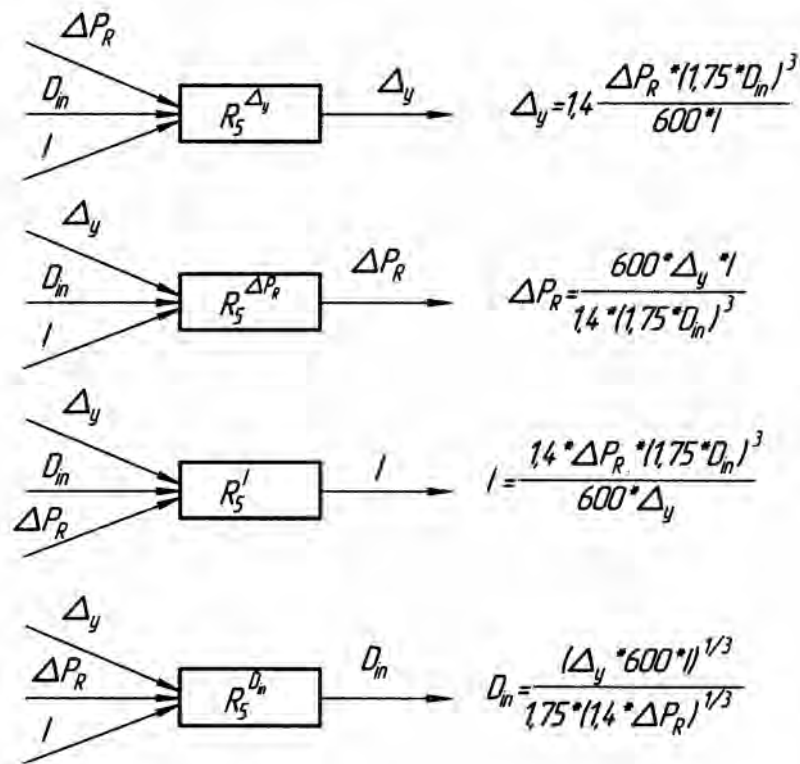


Рис. 6. Разрешения отношения $R_5(\Delta_y, \Delta P_R, D_{in}, I) = \{\Delta_y, \Delta P_R, D_{in}, I > 0 \mid 1,4 \frac{\Delta P_R \times (1,75 \times D_{in})^3}{600 \times I} - \Delta_y \}$

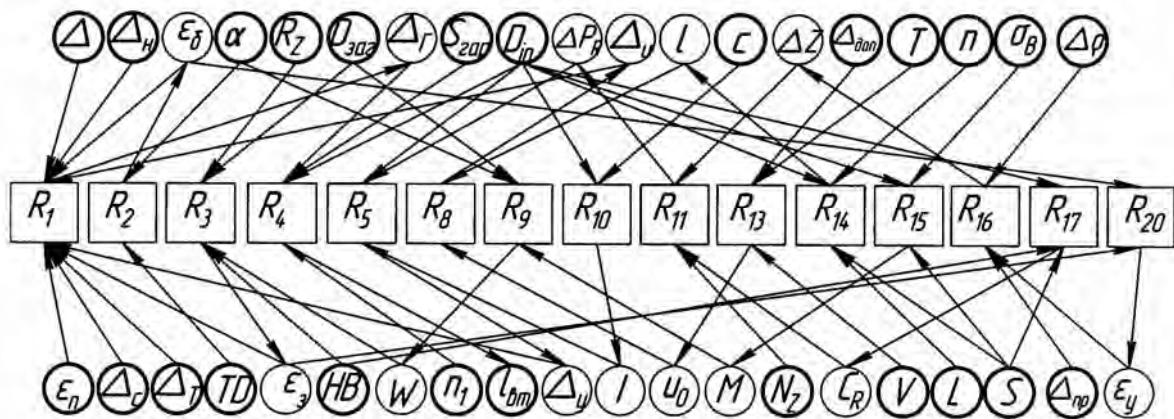


Рис. 7. Минимальная замкнутая система отношений

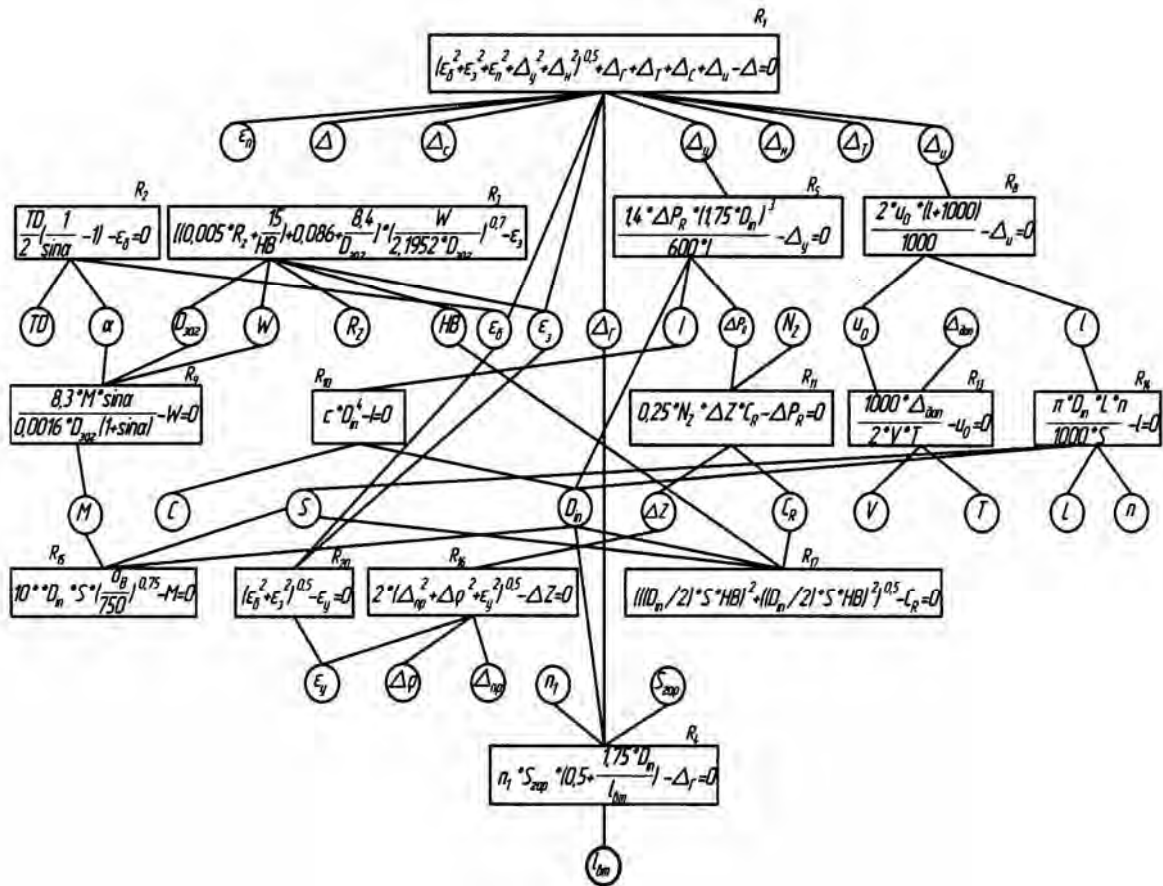


Рис. 8. Ориентированный граф решения задачи

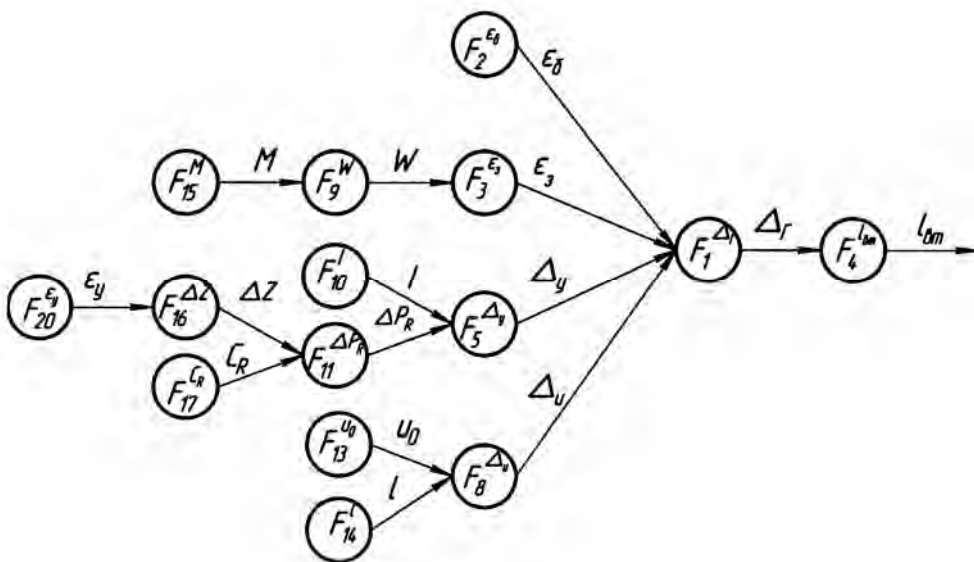


Рис. 9. Цепочка программных модулей

Таким образом, в результате решения данной задачи получили высоту кондукторной втулки, равную 24,65 мм, которая округляется до величины 25 мм, выбранной из ряда предпочтительных чисел.

Разработанная система уверенно решает различные задачи в области управления точностью обработки деталей машин. Она позволяет не только успешно решать задачи, связанные с обеспечением точности, но и математически корректно обеспечить наибольший запас точности на основе решения задачи мно-

гофакторной оптимизации на семантической сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Поспелов, Г. С.** Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г. С. Поспелов. – М. : Наука, 1988. – 280 с. : ил.
2. **Маталин, А. А.** Точность механической обработки и проектирование технологических процессов / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1970. – 320 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 10.04.2007

V. M. Pashkevich, M. N. Mironova
Assurance of accuracy of treatment
by trailer tools on basis use semantic
networks
Belarusian-Russian University

The questions of assurance of accuracy of treatment by trailer tools are considered in this article. It is used the approach which is based technologies of functional semantic networks. It is considered possibility applications of functional semantic networks for control of accuracy of processing. The intellectual system intended for the decision of applied tasks is described. The structure of system is shown and the example of its use is brought.