

УДК 621.9

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

М.Н. МИРОНОВА

(Белорусско-Российский университет, Могилев)

Рассмотрены вопросы проектирования приспособлений для металлорежущих станков. Использован подход, базирующийся на технологиях искусственного интеллекта, в частности, технологиях функциональных семантических сетей, который учитывает функциональные взаимосвязи между параметрами обработки и параметрами применяемой технологической оснастки. Рассмотрена возможность применения функциональных семантических сетей для расчета параметров станочных приспособлений. Описана интеллектуальная система, предназначенная для решения прикладных задач. Рассмотрена информационная модель проектируемых с помощью данной системы приспособлений, отражающая как элементный состав конструкции, так и структурные взаимосвязи внутри ее. Показана структура системы и приведен пример расчета пневмопривода станочного приспособления. Описано решение задачи механизмом логического вывода системы на основе ранее сформированной программы решения задачи.

Наиболее трудоемким этапом технологической подготовки производства новых машин и оборудования является проектирование и изготовление оснастки. Существует несколько путей решения проблемы технологической оснастки: широкое внедрение прогрессивных систем сборно-разборных и переналаживаемых приспособлений; оснащение инструментального производства новейшей специализированной высокопроизводительной техникой; применение передовой технологии изготовления оснастки; улучшение организации труда работников, занятых ее конструированием и изготовлением. Однако наиболее значительных успехов на пути решения этой проблемы можно достичь с помощью математических методов моделирования и средств вычислительной техники для автоматизированного проектирования и изготовления технологических приспособлений. Для решения подобных задач может быть использован подход, базирующийся на технологиях искусственного интеллекта, в частности, технологиях функциональных семантических сетей, который учитывает функциональные взаимосвязи между параметрами обработки и параметрами применяемой технологической оснастки.

Система, использующая семантическую сеть для решения различных прикладных задач, обладает существенным преимуществом по сравнению с традиционными программами. Для такой системы при решении конкретных задач четкий алгоритм решения не требуется, а формируется самой системой путем преобразования исходной сети в конечную сеть, соответствующую результату. Это позволяет использовать данную систему для решения различных задач в области проектирования и расчета технологической оснастки, применяемой при обработке деталей машин лезвийным инструментом [1]. Для реализации такого подхода была создана интеллектуальная система, состоящая из двух расчетных модулей (рис. 1): модуля расчета станочного приспособления на точность; модуля силового расчета приспособлений.

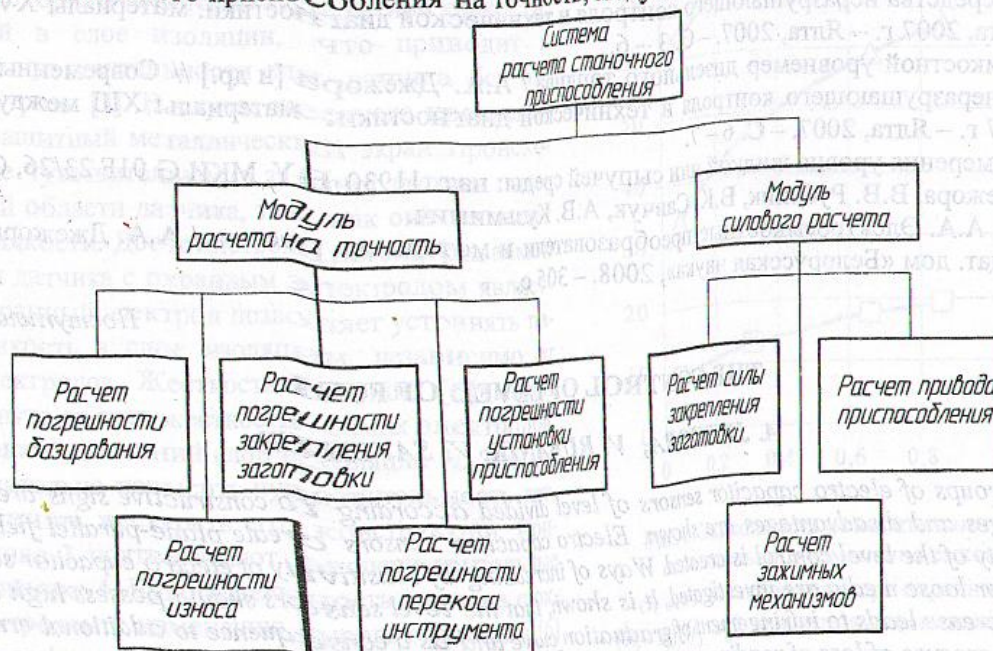


Рис. 1. Расчетные модули системы

Использование системы предполагает взаимодействие с двумя категориями пользователей:

- проектировщиками технологической оснастки, которые описывают узлы конкретного приспособления, 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).

При построении и эксплуатации данной системы необходимо рассматривать два вида информации:

- постоянную, характеризующую объекты, сведения о которых могут быть использованы в процессе проектирования и которые известны в начале разработки системы;
- переменную, изменяющуюся при проектировании каждой очередной конструкции. Эту информацию делят на подаваемую на вход системы и на описывающую конструкцию приспособления как результат проектирования.

Несмотря на большое многообразие структур и геометрических форм существующих и проектируемых конструкций приспособлений, всех их объединяет одно общее свойство, которое раскрывается, если рассматривать конструкцию любого приспособления как множество пространственно упорядоченных и метрически определенных конструктивных элементов. Это универсальное свойство конструкций позволяет их представлять с помощью одной общей информационной модели, отражающей как элементный состав конструкции, так и структурные взаимосвязи внутри нее.

В общем виде конструкцию приспособления K можно представить парой [2]:

$$K = (E, D),$$

где E – система структурных единиц конструкции; D – совокупность связей между ними.

Система структурных единиц конструкции проектируемого приспособления показана на рисунке 2.

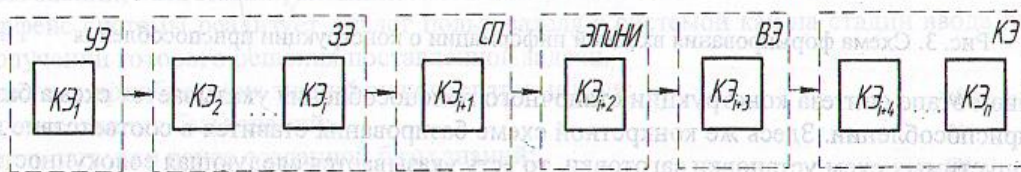


Рис. 2. Система структурных единиц конструкции проектируемого приспособления

Структурные связи элементов в конструкции представляют собой отношения взаимного пространственного расположения конструктивных элементов приспособления.

Используемая в данной системе информационная модель основана на определении конструкции как множества упорядоченных в трехмерном пространстве и метрически определенных конструктивных элементов.

Обозначив информационную модель конструкции через \bar{K} , можно записать, что

$$\bar{K} = \{\bar{KЭ}_1, \bar{KЭ}_2, \dots, \bar{KЭ}_n\} = \{\bar{KЭ}_i\}_{i=1}^n,$$

где $\bar{KЭ}_i$ – метрическая определенность i -го конструктивного элемента; n – число элементов в конструкции приспособления.

Метрическую определенность i -го конструктивного элемента можно выразить с помощью выражения:

$$\bar{KЭ}_i = (KЭ_i, \bar{v}_i),$$

где $KЭ_i$ – код i -го конструктивного элемента приспособления; \bar{v}_i – вектор размерных характеристик i -го конструктивного элемента.

Вектор размерных характеристик i -го конструктивного элемента имеет вид:

$$\bar{v}_i = (v_1, \dots, v_q),$$

где q – число размеров, характеризующих i -й конструктивный элемент приспособления.

Информационная модель конструкции формируется поэтапно по мере синтеза самой конструкции приспособления. Каждый этап процесса синтеза соответствует построению одной какой-либо функциональной группы конструктивных элементов приспособления.

Для каждого из этапов синтеза конструкции приспособлений характерна двустадийность протекания процесса. На первой стадии осуществляется выбор схемы конструкции функциональной группы (схемы установки, схемы зажима и др.), на второй – ее конструктивное воплощение.

На рисунке 3 представлена схема формирования входной информации о конструкции рассчитываемого системой приспособления.

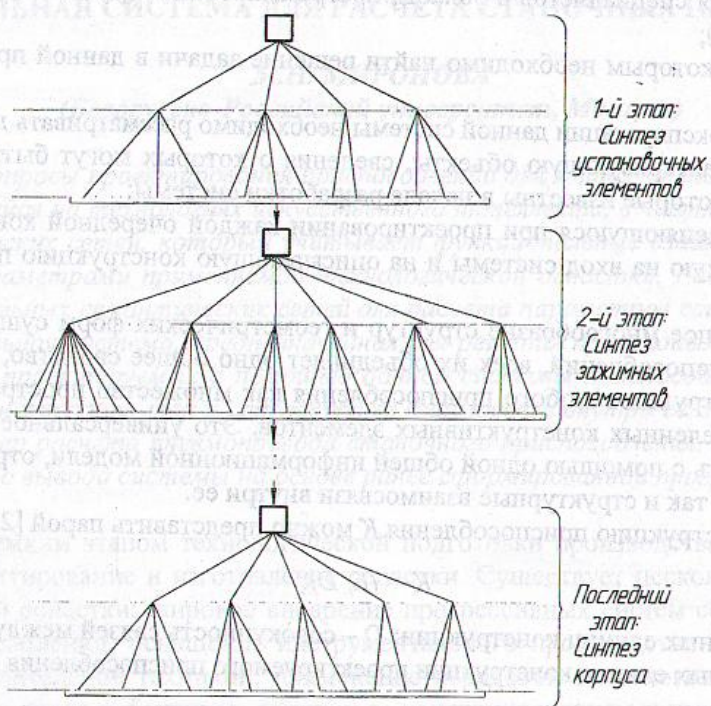


Рис. 3. Схема формирования входной информации о конструкции приспособления

На первом этапе синтеза конструкции станочного приспособления указывается схема базирования заготовки в приспособлении. Здесь же конкретной схеме базирования ставится в соответствие некоторое множество допустимых схем установки заготовки, то есть указывается следующая совокупность данных:

$$\{\Pi, \bar{r}, \overline{\Delta r}, \bar{\psi}, \overline{\Delta\psi}\},$$

где Π – тип базовой поверхности заготовки; \bar{r} , $\overline{\Delta r}$ – векторы размерных характеристик и допусков на размеры базовых поверхностей; $\bar{\psi}$, $\overline{\Delta\psi}$ – векторы координат расположения базовых поверхностей и допусков на них.

Вторым этапом синтеза конструкции станочного приспособления является этап синтеза зажимных элементов приспособления. На данном этапе указывается схема закрепления заготовки в виде совокупности данных:

$$\{TЗЭ, ЗЭ, \bar{r}_i, \bar{\psi}_i\}_{i=1}^p,$$

где $TЗЭ$ – тип i -го зажимного механизма $ЗЭ$; \bar{r}_i – вектор размерных характеристик зажимного механизма; $\bar{\psi}_i$ – вектор координат расположения зажимного механизма; p – количество зажимных механизмов, входящих в состав конструкции приспособления.

При силовом расчете приспособления необходимо указать тип применяемого привода и его размерные характеристики:

$$\{П, \bar{r}, \bar{\psi}\},$$

где $П$ – тип привода приспособления; \bar{r} – вектор размерных характеристик привода; $\bar{\psi}$ – вектор координат расположения привода.

При расчете станочного приспособления на точность одним из этапов синтеза его конструкции является выбор схемы установки приспособления на станке, т.е. указывается следующая совокупность данных:

$$\{ПУ, \bar{r}, \overline{\Delta r}, \bar{v}, \overline{\Delta v}, \bar{\psi}, \overline{\Delta\psi}\},$$

где $ПУ$ – принцип установки приспособления на станке; \bar{r} , $\overline{\Delta r}$ – векторы размерных характеристик и допусков на размеры базовых поверхностей приспособления; \bar{v} , $\overline{\Delta v}$ – векторы размерных характеристик

и допусков на размеры базирующих поверхностей станка; $\bar{\psi}$, $\bar{\Delta\psi}$ – векторы координат расположения базовых поверхностей и допусков на них.

Рассмотренные разновидности информации, а также средства ее подготовки, организации и управления образуют информационную основу процессов автоматизированного проектирования приспособлений данной системой.

Общая структура системы и ее взаимодействие с конечным пользователем показаны на рисунке 4.

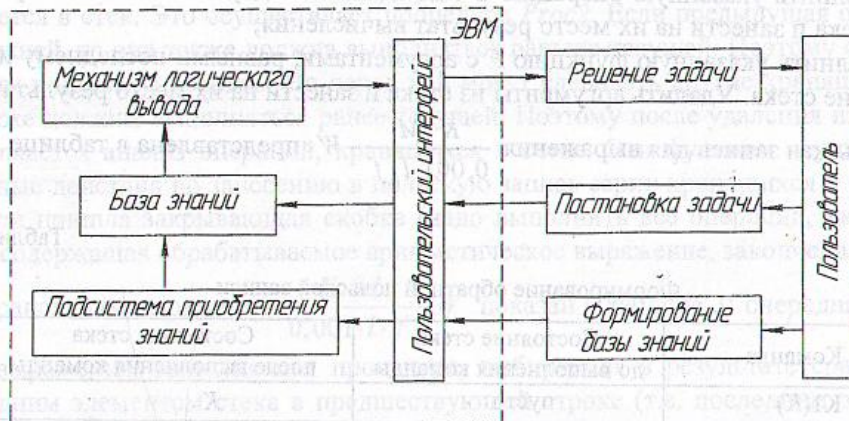


Рис. 4. Структура системы и ее взаимодействие с конечным пользователем

В состав системы входят следующие основные части: пользовательский интерфейс; подсистема приобретения знаний; база знаний; механизм логического вывода.

Интерфейс системы 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.

База знаний системы имеет трехуровневую структуру и состоит соответственно из компонентов знаний на техническом, математическом и программном уровнях.

Компоненты знаний на техническом уровне включают различные узлы станочных приспособлений. На математическом уровне этим структурам соответствуют математические отношения, а на программном – модули [3].

Само решение задачи, то есть организацию и управление вычислительным процессом, осуществляет система логического вывода на основе сформированной программы решения задачи.

Механизма логического вывода состоит из трех основных модулей:

- модуля, осуществляющего семантический анализ строкового выражения, содержащего функциональную зависимость;
- модуля, который производит чтение заданного текста и формирует польскую запись;
- модуля, осуществляющего расчет выражения по сформированной 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, выполнение которых обеспечивает требуемую последовательность вычислений.

Пусть, например, требуется вычислить выражение $\frac{K \cdot M}{0,00 \cdot 1 \cdot l \cdot f} - W$, позволяющее определить силу

закрепления при обработке отверстия концевым инструментом. Тогда с учетом приоритета операций последовательность команд вычисления может быть, например, такой:

- 1) вычислить $X = K \cdot M$;
- 2) вычислить $Y = 0,01 \cdot l$;
- 3) вычислить $Z = Y \cdot f$;
- 4) вычислить $J = \frac{X}{Z}$;
- 5) вычислить $H = J - W$.

Именно подобную последовательность команд обеспечивает обратная польская запись.

При вычислении по польской записи создается стек, в который заносятся промежуточные результаты вычислений. В итоге выполнения всех команд в стеке остается единственное число, являющееся результатом вычисления заданного выражения.

Польская запись во многих случаях может включать в себя команды только трех типов:

- $K1(X)$: выбрать число по заданному имени X и занести его в вершину стека;
- $K2(O)$: выполнить указанную операцию O над одним или двумя числами в вершине стека. Удалить операнды из стека и занести на их место результат вычисления;
- $K3(F)$: выполнить указанную функцию F с аргументами, равными последнему или двум последним числам в вершине стека. Удалить аргументы из стека и занести на их место результат вычисления.

Обратная польская запись для выражения $\frac{K \cdot M}{0,001 \cdot l \cdot f} - W$ представлена в таблице 1.

Таблица 1

Формирование обратной польской записи

Команда	Состояние стека до выполнения команды	Состояние стека после выполнения команды
$K1(K)$	пусто	K
$K1(M)$	K	M
$K2(\times)$	K, M	$X = K \cdot M$
$K1(0,001)$	X	$X; 0,001$
$K1(l)$	$X; 0,001$	$X; 0,001; l$
$K2(\times)$	$X; 0,001; l$	$X; Y = 0,001 \cdot l$
$K1(f)$	$X; Y$	$X; Y; f$
$K2(\times)$	$X; Y; f$	$X; Y; Z = Y \cdot f$
$K2(/)$	$X; Z$	$J = X / Z$
$K1(W)$	J	$J; W$
$K2(-)$	$J; W$	$H = J - W$

Как видно из таблицы 1, в итоге выполнения всех команд в стеке остается одно число, являющееся результатом вычисления заданного выражения.

При формировании обратной польской записи из строки, содержащей заданное арифметическое выражение, поочередно читается очередная лексема: числовая константа или переменная, символ операции или имя функции. Она сравнивается с последней лексемой, содержащейся в вспомогательном стеке, и в зависимости от результатов этого сравнения выполняется процедура, выбор которой производится в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Правила формирования обратной польской записи

	Начало	(+	$\times, /$	^	Функция
Конец выражения	конец	Proc3	Proc3	Proc3	Proc3	ошибка
(Proc1	Proc1	Proc1	Proc1	Proc1	Proc1
+,-	Proc1	Proc1	Proc2	Proc3	Proc3	ошибка
$\times, /$	Proc1	Proc1	Proc1	Proc2	Proc3	ошибка
^	Proc1	Proc1	Proc1	Proc1	Proc2	ошибка
Функция	Proc1	Proc1	Proc1	Proc1	Proc1	ошибка
)	ошибка	Proc4	Proc3	Proc3	Proc3	Proc3
Константа, переменная	Proc0	Proc0	Proc0	Proc0	Proc0	Proc0

Смысл выбора процедур, описанного в таблице 2, следующий: если приходит идентификатор переменной, или числовая константа, то под нее отводится память, а в польскую запись заносится команда извлечения из памяти и пересылки в стек выполнения. Если приходит символ какой-то операции, а последний символ, хранящийся в вспомогательном стеке, соответствует началу выражения или открытой скобке, то еще рано заносить соответствующую команду в польскую запись, поскольку еще не введен вто-

рой операнд операции. Поэтому символ данной операции сохраняется во вспомогательном стеке. Но перед сохранением анализируется символ предыдущей операции, хранящийся в вспомогательном стеке. Если предыдущая операция имеет приоритет меньше, чем текущая, тогда прежняя операция сохраняется в стеке, так как она должна будет выполняться после текущей. А следом за ней заносится текущая операция. Это осуществляет процедура Proc1. Если предыдущая операция имеет тот же приоритет, что текущая, то она должна выполняться прежде текущей, так как операции одного старшинства выполняются слева направо. Поэтому соответствующая предыдущей операции команда заносится в польскую запись, а текущая помещается в стек. Это осуществляет процедура Proc2. Если предыдущая операция имеет приоритет выше текущей, то она также должна выполняться раньше текущей. Поэтому соответствующая ей команда заносится в польскую запись. Но перед ней могут следовать другие хранящиеся в стеке операции, которые также должны выполняться ранее текущей. Поэтому после удаления из стека предыдущей операции продолжается анализ операций, хранящихся в стеке. Эти функции осуществляет процедура Proc3. Аналогичные действия по занесению в польскую запись серии хранящихся в стеке операций осуществляются, если пришла закрывающая скобка (надо выполнить все операции, указанные в скобках) или если строка, содержащая обрабатываемое арифметическое выражение, закончена.

Процесс трансляции выражения $\frac{K \cdot M}{0,001 \cdot l \cdot f} - W$ показан в таблице 3: очередная прочитанная лексема

заданного выражения; выполняемая процедура, выбираемая в результате сравнения пришедшей лексемы с последним элементом стека в предшествующей строке (т.е. последним элементом в момент прихода очередной лексемы); вспомогательный стек после выполнения процедуры и формируемая польская запись.

Таблица 3

Процесс трансляции выражения

Пришло	Процедура	Стек	Польская запись
начало		0	пусто
K	Proc0	0	K1(K)
x	Proc1	0, x	K1(K)
M	Proc0	0, x	K1(K), K1(M), K2(x)
/	Proc1	0, /	K1(K), K1(M), K2(x)
0,001	Proc0	0, /	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001)
x	Proc1	0, /, x	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001)
l	Proc0	0, /, x	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001), K1(l)
x	Proc1	0, /, x	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001), K1(l), K2(x)
f	Proc0	0, /, x	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001), K1(l), K2(x), K1(f)
-	Proc1	0, -	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001), K1(l), K2(x), K1(f), K2(x), K2(f)
W	Proc0	0, -	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001), K1(l), K2(x), K1(f), K2(x), K2(f), K1(W)
Конец конец	Proc3	0 конец	K1(K), K1(M), K2(x), K1(0,001), K1(l), K2(x), K1(f), K2(x), K2(f), K1(W), K2(-)

На примере станочного приспособления, изображенного на рисунке 5, проиллюстрируем, как проектировщик с помощью пользовательского интерфейса вводит в систему описание технической модели и формулирует задачу по нахождению диаметра поршня пневматического привода, при котором обеспечивалось бы надежное закрепление заготовки в приспособлении.

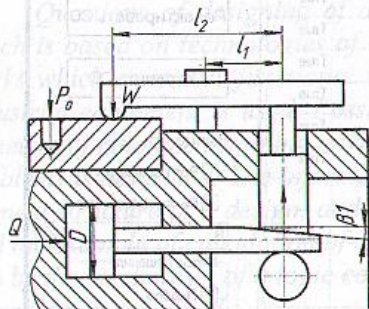


Рис. 5. Схема к расчету проектируемого станочного приспособления

Исходными данными задачи являются:

- диаметр инструмента $DIN = 20$ мм;
- подача инструмента $S = 0,14$ мм/об;
- предел прочности обрабатываемого материала $SIGMA_{B}$ равен 750 МПа;
- размер $L = 150$ мм;
- размеры $L1 = 150$ мм и $L2 = 200$ мм;
- угол скоса клина $BETA1 = 30^\circ$;
- давление в пневмоцилиндре $P = 4$ МПа.

Пользователь в качестве входной информации в диалоговом режиме указывает сведения о материале инструмента и заготовки, типе заготовки и обрабатываемого отверстия, а также перечисляет агрегатный состав проектируемой системы (рис. 6).

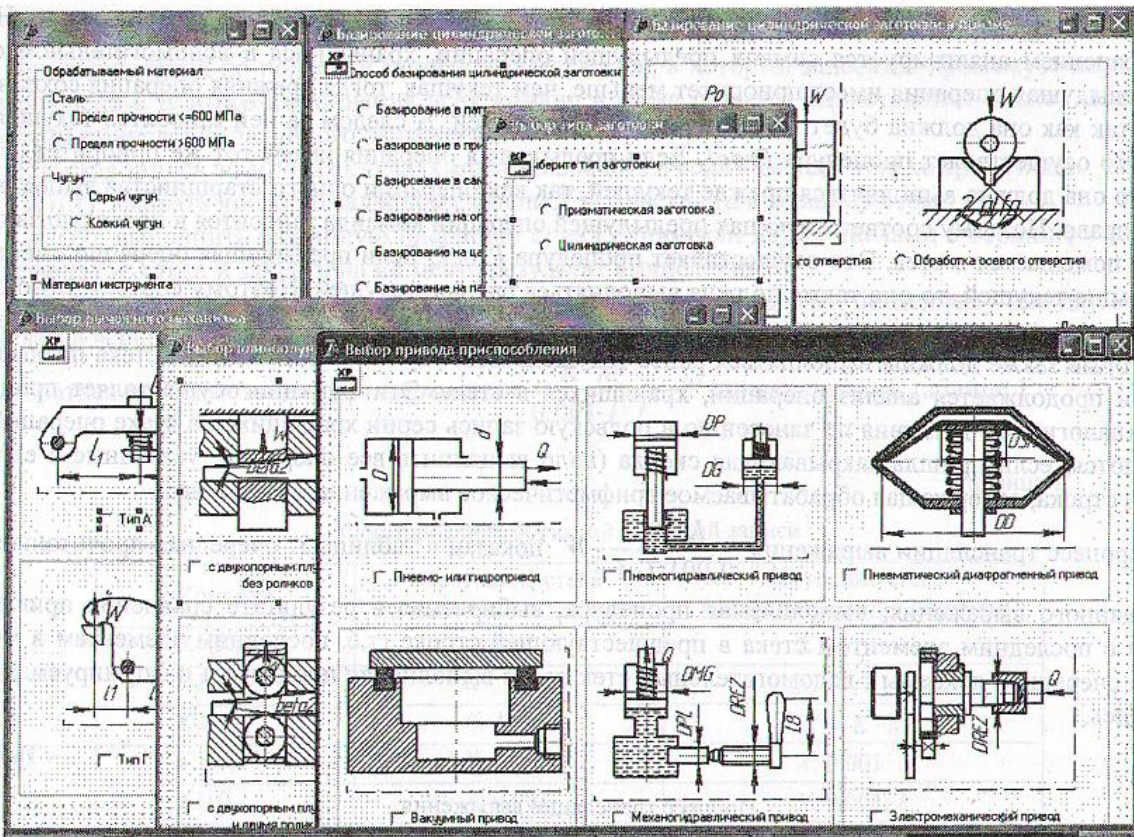


Рис. 6. Диалоговые окна выбора исходных данных при силовом расчете приспособления

По сообщенным пользователем данным автоматически строится математическая модель системы в виде функциональной семантической сети, представляющей собой в общем случае двудольный граф с двумя типами вершин. Первый тип представляет параметры рассчитываемых задач, в том числе исходные данные. Второй тип вершин описывает отношения, определяющие функциональные зависимости между параметрами сети [4].

При расчете диаметра штока пневмоцилиндра станочного приспособления система последовательно определила неизвестные параметры (рис. 7).

Параметр	Значение	Миним	Макс.	Отношения					
				Общес	Извест	Неизвестные	Допуск		
SIGMAR	750	100	1000	$\sigma_{\text{сигма}} = 0,75 \cdot \sigma_{\text{сигма}}$	2	2	---	True	Создать модель
KM	0,9999275	0	100	$10^{0,68 \cdot \text{Din} - 1} \cdot \text{S} \cdot 0,7 \cdot \text{Km} \cdot \text{Po}$	4	4	---	True	Создать СС
DIN	20	5	100	$10^{0,0345 \cdot \text{Din} - 2} \cdot \text{S} \cdot 0,8 \cdot \text{Km} \cdot \text{M}$	4	4	---	True	Загрузить СС
S	0,14	0,03	2	$3,51 \cdot \text{Kzp}$	1	1	---	True	Редактировать СС
PO	3433,974	0	10000	$4,0365 \cdot \text{Kzm}$	1	1	---	True	Сохранить СС
M	28,62535	0	10000	$\text{Kzm} \cdot \text{M} / (0,25 \cdot \text{r} \cdot 0,001) \cdot \text{W}$	4	4	---	True	Вычислить <input type="checkbox"/> Все параметры <input checked="" type="checkbox"/> Выбрать параметр D Метод решения <input type="checkbox"/> Подбор <input checked="" type="checkbox"/> Деление стрелка пок Вычислить
KZP	3,5100402	1,5	4,5	$(0,85 / (\lg(\text{beta}1 + 0,0956) + 0,05)) \cdot \text{i}2$	2	2	---	True	
KZM	4,0364689	1,5	4,5	$(0,85 \cdot \text{i}1 / (\text{i}2 - \text{i}1)) \cdot \text{i}1$	3	3	---	True	
L	150	0	200	$\text{i}2 \cdot \text{i}1 \cdot \text{i}$	3	3	---	True	
W	3081,2091	0	10000	$\text{Q} \cdot \text{r} \cdot \text{W}$	3	3	---	True	
BETA1	0,523	0	3,14	$\text{r} \cdot \text{D} \cdot 2 \cdot \text{r} \cdot 0,9 / 4 \cdot \text{Q}$	3	3	---	True	
i2	1,1157035	0	100						
L1	150	0	200						
L2	200	0	350						
i1	2,5499465	0	1000						
i	2,8449895	0	1000						
Q	1083,0301	0	10000						
D	19,571485	0	1000						
r	4	2	15						

Рис. 7. Расчет системой диаметра штока пневмоцилиндра

Неизвестные параметры, определенные системой:

- момент сил резания $M = 28,63$ Н/м;
- сила закрепления $W = 3081$ Н;
- передаточное отношение рычажного механизма $I1 = 2,55$;
- передаточное отношение клинового механизма $I2 = 1,12$;
- общее передаточное отношение $I = 2,84$;
- сила на штоке поршневого пневмоцилиндра $Q = 1083$ Н;
- диаметр штока $D = 19,57$ мм.

Таким образом, в результате решения поставленной задачи системой определен диаметр штока равный, 19,57 мм, который округляется далее до величины 20 мм, выбранной из ряда стандартных значений диаметров пневмоцилиндров.

Заключение. Разработанная система позволяет успешно решать задачи, связанные с расчетом параметров технологической оснастки на основе многофакторной оптимизации на семантической сети. Система имеет архитектуру, при которой нет необходимости для каждого рассчитываемого станочного приспособления строить свою семантическую сеть, так как математическая модель формируется автоматически после выбора агрегатного состава приспособления. Что позволяет использовать ее для решения широкого ряда задач в области проектирования технологической оснастки, применяемой при обработке деталей машин лезвийным инструментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашкевич, В.М. Использование семантических сетей для расчета станочных приспособлений / В.М. Пашкевич, М.Н. Миронова // Vědecky 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.
2. Ракович, А.Г. Основы автоматизации проектирования технологических приспособлений / А.Г. Ракович; под ред. Е.А. Стародетко. – Минск: Наука и техника, 1985. – 285 с.
3. 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.
4. Пospelов, Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Г.С. Пospelов. – М.: Наука, 1988. – 280 с.
5. Технологическая оснастка: учеб. для студентов машиностр. спец. вузов / М.Ф. Пашкевич [и др.]. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 320 с.
6. Станочные приспособления: справ.: 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 10.10.2008

INTELLECTUAL SYSTEM FOR DESIGN OF ADAPTATIONS FOR METAL-CUTTING MACHINE

M. MIRONOVA

Questions of designing of adaptations for metal-cutting machine tools are considered. The approach which is based on technologies of an artificial intellect, in particular, technologies of functional semantic networks which considers functional interrelations between parametres of processing and parametres of applied industrial equipment is used. Possibility of application of functional semantic networks for calculation of parameters of machine retaining devices is considered. The intellectual system intended for the decision of applied problems is described. The information model of adaptations projected by means of given system reflecting both element structure of a design, and structural interrelations in it is considered. The structure of system is shown and the example of calculation of a pneumodrive of machine retaining device is resulted. The decision of a problem by the mechanism of a logic conclusion of system on a basis before the generated program of the decision of a problem is described.

Заключение. При проведении исследований установлено:

- 1) инициирование реакции СВС может быть осуществлено при нагреве образцов со скоростью более 293 К/мин от 673 до 1073 К. Объемное нагревание смеси со скоростью 283 К/мин на позволяет инициировать протекание процессов СВС;
- 2) анализ фазового состава показал, что СВС-материалы, полученные в исследуемой системе, характеризуются наличием фаз магнезиальной шпинели, корунда, карбида кремния, алюминатов и алюмосиликатов кальция;
- 3) проведение механоактивации смеси исходных порошков в шаровой мельнице позволяет повысить скорость горения образцов в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров, В.С. Новые огнеупорные и теплоизоляционные материалы и технологии их производства / В.С. Владимиров // Новые огнеупоры. – 2002. – № 1. – С. 81 – 89.
2. Хорошавин, Л.Б. Магнезиальные огнеупоры / Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В.А. Кононов; под общ. ред. Л.Б. Хорошавина. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 575 с.
3. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие соединения / Г.В. Самсонов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 398 с.
4. Балкевич, В.Л. Техническая керамика: учеб. пособие для вузов / В.Л. Балкевич. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
5. Гончарик, В.Н. Огнеупор на основе стабилизированного доломита / В.Н. Гончарик, И.А. Белов, О.Г. Бацевичус // Архитектура и строительство. – 2005. – № 4. – С. 112 – 115.
6. Перепелицын, В.А. Плавленая шпинель – перспективный материал для производства новых огнеупоров / В.А. Перепелицын // Новые огнеупоры. – 2002. – № 1. – С. 89 – 95.
7. Гропянов, А.В. Перспективы применения огнеупоров, содержащих свободный CaO / А.В. Гропянов // Новые огнеупоры. – 2002. – № 4. – С. 32 – 37.
8. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Е.А. Левашов [и др.]. – М.: Бином, 1999. – 176 с.
9. Похил, П.Ф. Горение порошкообразных металлов в активных средах / П.Ф. Похил, А.Ф. Беляев, Ю.В. Фролов. – М.: Наука, 1972. – 294 с.
10. Мержанов, А.Г. Твердопламенное горение / А.Г. Мержанов. – Черноголовка: ИСМАН, 2000. – 224 с.
11. Амосов, А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 576 с.
12. Bernard, F. Mechanical alloying in SHS research / F. Bernard, E. Gaffet // International Journal of SHS. – 2001. – V. 10, No. 2. – P. 109 – 132.
13. Mechanoactivation of SHS systems and processes / E.A. Levashov [et al.] // International Journal of SHS. – 2007. – V. 16, No. 1. – P. 46 – 50.
14. Khina, B.B. On the physicochemical mechanism of the influence of preliminary mechanical activation on self-propagating high-temperature synthesis / B.B. Khina, B. Formanek // Solid State Phenomena. – 2008. – V. 138. – P. 159 – 164.
15. Khina, B.B. Effect of mechanical activation on SHS: physicochemical mechanism / B.B. Khina // International Journal of SHS. – 2008. – V. 17, No. 4. – P. 211 – 217.

Поступила 29.04.2009

PRODUCTION OF CERAMIC MATERIALS OF ALUMINUM – SILICON DIOXIDE – DOLOMITE SYSTEM BY SHS METHOD

A. VOLOCHKO, K. PODBOLOTOV, A. ZGURSKAY

The results of the research of formation process and magnesium – aluminum – spinel – based ceramic refractory materials properties in the course of self-propagation high-temperature synthesis in a mixture of dolomite, silicon dioxide, and aluminum are shown. The possibility of combustion velocity increase using mechanical activation as technological operation of batching was shown.