

М. Ф. ПАШКЕВИЧ, В. М. ПАШКЕВИЧ, доктора технических наук,
 М. Н. МИРОНОВА
 (ГУВПО "Белорусско-Российский университет", г. Могилев),
 e-mail: MarinaMN@tut.by

Моделирование конструктивных схем и проектирование средств технологической оснастки на основе функциональных семантических сетей

Рассмотрена возможность применения функциональных семантических сетей для проектирования средств технологической оснастки. Показана структура системы и приведен пример выбора оптимальной структуры станочного приспособления для установки призматической заготовки при обработке концевым инструментом.

Ключевые слова: моделирование, конструктивные схемы, технологическая оснастка, функциональные семантические сети, металлорежущие станки.

The possibility of use of functional semantic networks for the design of tooling is considered. Structure of the system is presented, and an example of choosing the optimal structure of machine tools to install a prismatic workpiece at processing by the terminal tool is shown.

Keywords: modeling, design schemes, tooling, functional semantic networks, machine tools.

Интенсифицировать создание технологической оснастки можно новыми методами проектирования, основанными на моделировании с применением информационных технологий, один из которых предполагает использование искусственного интеллекта и позволяет найти оптимальное решение или выделить область субоптимальных решений, в пределах которой находится требуемое решение.

Выбор структуры и расчет станочных приспособлений предлагается осуществлять с применением функциональных семантических сетей, позволяющих выполнять многофакторную оптимизацию. Функциональная семантическая сеть состоит из множества параметров, представляющих собой параметры решаемых задач, исходные данные и множество отношений, определяющих функциональные зависимости между параметрами [1].

Под отношением R функциональной семантической сети, определенным на k своих параметрах P_1, \dots, P_k , понимается некоторое

подмножество декартова произведения доменов D_j (множеств возможных значений параметра P_j) [1]: $R(P_1, \dots, P_k) \subseteq D_1 \times \dots \times D_k$, где $P_j \in D_j, j = 1, 2, \dots, k$.

Отношение R указывает на существование определенных зависимостей между параметрами сети в пространстве, определяемом декартовым произведением их доменов. Любой кортеж, удовлетворяющий отношению R , является его элементом, что эквивалентно условию $(P_1, \dots, P_j, \dots, P_k) \in R$.

Поиск решения на функциональной семантической сети может быть описан следующим образом. Выделим в кортеже какой-либо параметр P_j , обозначив его через y . Отношение будет функциональным, если для всего множества кортежей будут различными $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$. В этом случае кортежу $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$ соответствует не более одного значения $P_j = y$ так, 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 $y = F^{(P_j)}(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$, которая называется разрешением функционального отношения для параметра $P_j = y$.

Решение в данном случае заключается в поиске кортежа $(P_1, \dots, P_{j-1}, P_{j+1}, \dots, P_k)$.

При решении конкретной задачи с использованием семантической сети определяется минимально замкнутая подсистема отношений для поставленной задачи. Для этих отношений осуществляется поиск кортежей относительно их разрешений. При этом в отношениях, входящих в минимально замкнутую систему, выявляются входные и выходные параметры, что приводит к преобразованию отношений в соответствующие функции:

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

Функциональную семантическую сеть удобно изображать в виде двудольного графа с двумя типами вершин. При проектировании технологической оснастки первый тип вершин представляет собой параметры установочных и зажимных элементов станочного приспособления, а также параметры используемого привода. Второй тип описывает отношения, определяющие функциональные зависимости между этими параметрами.

На рис. 1 изображено станочное приспособление, используе-

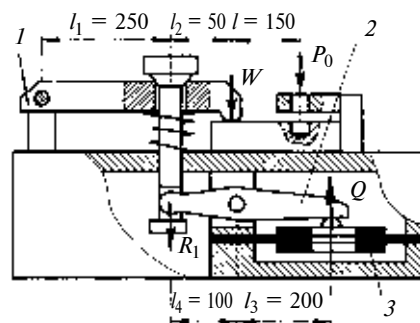


Рис. 1. Схема проектируемого станочного приспособления

мое при обработке заготовок концевым инструментом и предназначенное для полного базирования заготовок по трем плоскостям и закрепления силами, направленными по нормали к опорной плоскости. Закрепление заготовки осуществляется с помощью мембранного пневмоцилиндра 3. Усилие зажима передается на прихват 1 через рычажный механизм 2.

Построим функциональную семантическую сеть для силового расчета данного станочного приспособления. Для этого определим требуемую силу закрепления заготовки, с учетом которой в дальнейшем рассчитываются параметры зажимных механизмов. Сила закрепления при данной схеме базирования определяется формулой [2] $W = KM/(0,001lf)$, где K — коэффициент запаса; M — момент сил резания; l — расстояние между осью обрабатываемого отверстия до точки приложения силы закрепления; f — коэффициент трения.

При расчете зажимных механизмов определяют силу Q привода, достаточную для обеспечения требуемого зажимного усилия W . Для любого простого механизма можно определить передаточное отношение сил [2] $i = W/Q$, где W — требуемая сила закрепления заготовки; Q — сила, развиваемая силовым механизмом приспособления.

Для прихвата 1 передаточное отношение сил имеет вид [2]: $i_1 = l_1\eta/(l_1 + l_2)$, где l_1 — расстояние от опоры прихвата до точки приложения силы R_1 к прихват; l_2 — расстояние от линии действия силы R_1 на прихват до точки приложения силы W закрепления заготовки; η — коэффициент, учитывающий потери на трение в шарнире прихвата.

Для рычажного механизма 2 передаточное отношение сил определяется выражением [2]: $i_2 = \eta l_3/l_4$, где l_3 — расстояние от опоры рычажного механизма до линии действия силы Q ; l_4 — расстояние от опоры рычажного механизма до линии действия силы

R_1 ; η_1 — коэффициент, учитывающий потери на трение в шарнире рычага 2.

Общее передаточное отношение сил $i = i_1 i_2$.

Для обеспечения необходимого воздействия зажимных элементов на закрепляемую заготовку в станочном приспособлении используется пневматический мембранный привод, сила на штоке которого определяется выражением [2]: $Q = (0,696 - 0,06 \frac{D}{d}) p D^2$,

где D — диаметр мембраны; d — диаметр опорной шайбы; p — давление в цилиндре.

В результате получены математические зависимости, которые для формирования функциональной семантической сети необходимо преобразовать в вид $R = \{f(P_1, \dots, P_j) = 0\}$:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \left\{ \frac{KM}{0,001lf} - W = 0 \right\}; \\ R_2 &= \left\{ \frac{\eta l_1}{l_2 + l_1} - i_1 = 0 \right\}; \\ R_3 &= \left\{ \frac{\eta_1 l_3}{l_4} - i_2 = 0 \right\}; \\ R_4 &= \{i_1 i_2 - i = 0\}; \\ R_5 &= \{Qi - W = 0\}; \\ R_6 &= \left\{ \left(0,696 - 0,06 \frac{D}{d}\right) p D^2 - \right. \\ &\quad \left. - Q = 0 \right\}. \end{aligned} \right\} (1)$$

Определим параметры, входящие в выражения (1):

$$\left. \begin{aligned} R_1(k, M, l, f, W) &= \\ &= \left\{ k, M, l, f, W \geq 0 \mid \frac{KM}{0,001lf} - \right. \\ &\quad \left. - W = 0 \right\}; \\ R_2(l_1, l_2, \eta, i_1) &= \\ &= \left\{ l_1, l_2, \eta, i_1 > 0 \mid \frac{\eta l_1}{l_2 + l_1} - i_1 = 0 \right\}; \\ R_3(l_3, l_4, \eta_1, i_2) &= \\ &= \left\{ l_3, l_4, \eta_1, i_2 > 0 \mid \frac{\eta_1 l_3}{l_4} - i_2 = 0 \right\}; \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} R_4(i_1, i_2, i) &= \\ &= \{i_1, i_2, i > 0 \mid i_1 i_2 - i = 0\}; \\ R_5(Q, W, i) &= \\ &= \{Q, W, i > 0 \mid Qi - W = 0\}; \\ R_6(D, d, p, Q) &= \\ &= \left\{ D, d, p, Q > 0 \mid \left(0,696 - 0,06 \frac{D}{d}\right) p D^2 - \right. \\ &\quad \left. - Q = 0 \right\}. \end{aligned} \right\}$$

Для наглядного изображения связи между параметрами проектируемой системы функциональную семантическую сеть представляют в виде двудольного неориентированного графа, в котором вершины-кружки являются параметрами проектируемой системы, а вершины-прямоугольники отражают отношения между ними.

На рис. 2 представлена функциональная семантическая сеть силового расчета станочного приспособления, представленная на рис. 1, на основании которой в зависимости от исходных данных можно решать множество задач, связанных с определением оптимальных параметров проектируемой системы.

Для практической реализации моделирования технологической оснастки посредством функциональных семантических сетей была создана интеллектуальная система, осуществляющая проектирование и расчет станочных приспособлений. База знаний системы имеет трехуровневую структуру и состоит из компонентов знаний на техническом, математическом и программном уровнях. Компоненты знаний на техническом уровне включают в себя различные виды структурных элементов станочных приспособлений. На математическом уровне этим структурам соответствуют математические выражения, а на программном уровне — модули [3].

В ходе проектирования станочных приспособлений с помощью разработанной системы можно определять как оптимальные параметры элементов, так и

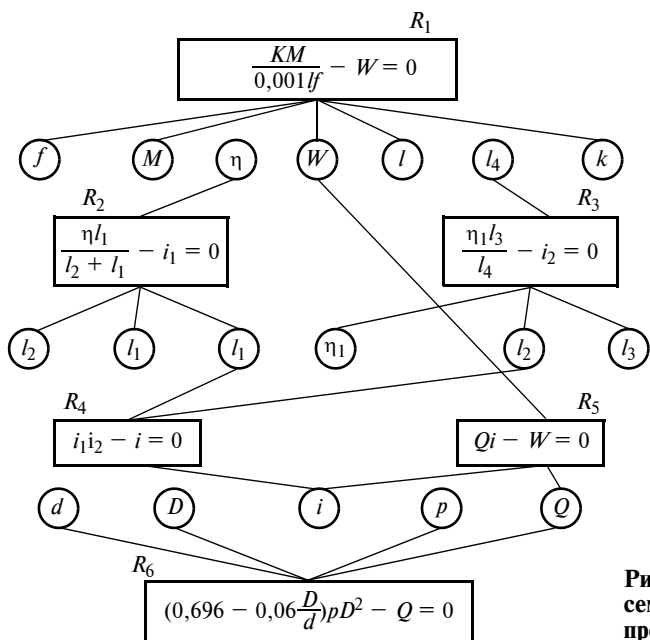


Рис. 2. Функциональная семантическая сеть для проектируемой системы

оптимальную структуру проектируемого приспособления. При определении оптимальных параметров элементов станочных приспособлений задается структура объекта исходя из его функционального назначения и реальных имеющихся элементов, а также накладываются ограничения на параметры системы, значения которых не должны отличаться от заданных [3].

В основу данной системы положен метод синтеза, так как конструкции станочных приспособлений отличаются большим многообразием, многокомпонентностью и иерархичностью структур, сложной геометрией их составляющих и широкими диапазонами разме-

ров. Синтез структуры проходит в несколько этапов, каждый из которых соответствует построению одной из функциональных групп конструктивных элементов приспособления и состоит из трех частей: 1) выбирается и анализируется информация, определяющая схему установки или зажима; 2) выбирается схема конструкции функциональной группы; 3) устанавливается конструктивное воплощение выбранной схемы.

При выборе конструкции функциональной группы определяется совокупность наименований конструктивных элементов, отвечающих за определенные рабочие функции. Например, схема функциональной группы устано-

вочных элементов (схема установки) может состоять из цилиндрических и ромбических пальцев и плоскости приспособления. Примером схемы зажима может служить зажим заготовки отводным прихватом с прижимом боковыми винтами.

На первом этапе синтеза конструкции станочного приспособления указывается схема базирования заготовки в приспособлении. Конкретной схеме базирования ставится в соответствие некоторое множество допустимых схем установки заготовки, т. е. устанавливается совокупность данных: {П, СБ, УЭ}, где П — базовые поверхности заготовки; СБ — схема базирования; УЭ — установочные элементы. На рис. 3 представлена совокупность данных для выбора схемы установки заготовки в приспособлении при обработке концевым инструментом.

Второй этап — синтез зажимных механизмов приспособления, рассматривается совокупность данных: {ТЗЭ, ЗЭ_i}_{i=1}^p, где ТЗЭ — тип *i*-го зажимного механизма; ЗЭ_{*i*} — *i*-й зажимной механизм; *p* — число зажимных механизмов, входящих в состав конструкции приспособления.

Третий этап — указывают тип применяемого привода и его размеры.

В данной системе для синтеза структуры используют фреймы-прототипы элементов, объединенные в единую структуру. При выборе узлов приспособления



Рис. 3. Совокупность данных для выбора схемы установки заготовки в приспособлении при обработке концевым инструментом

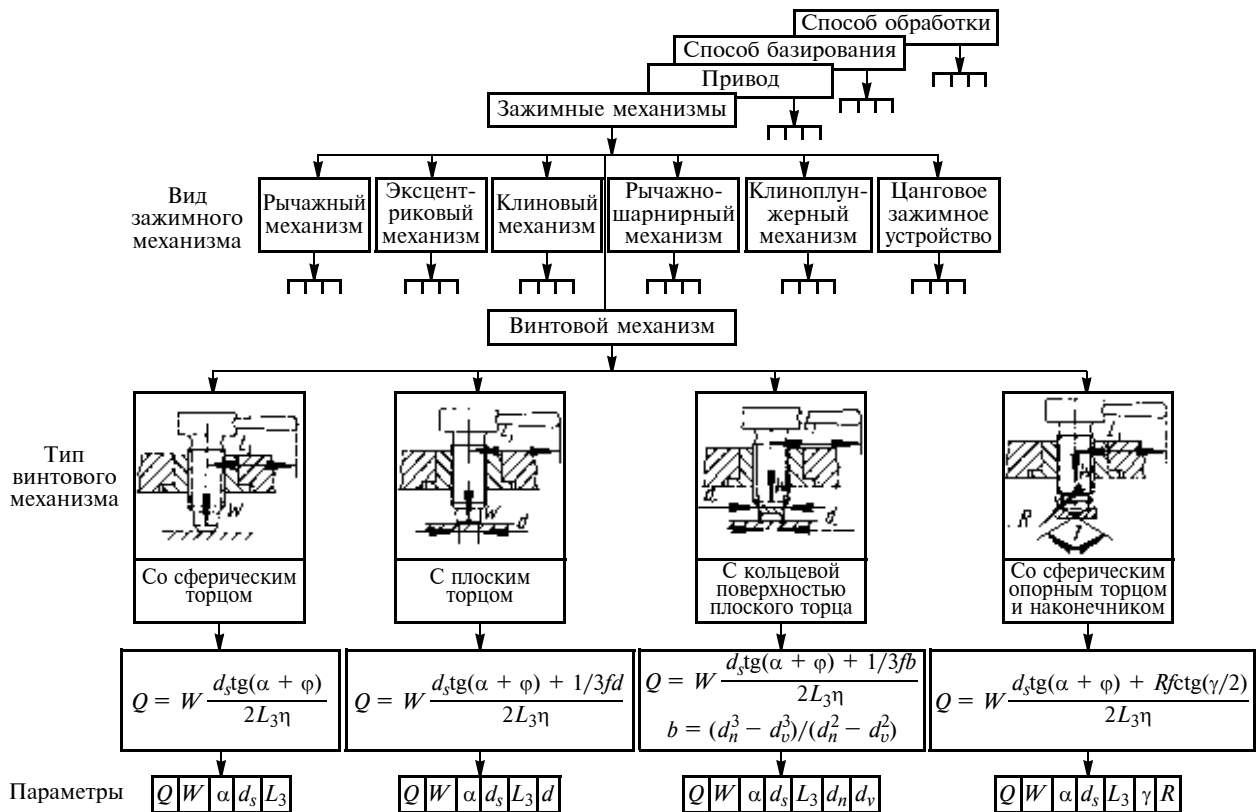


Рис. 4. Структура предметного уровня знаний для выбора зажимных механизмов

фреймы-прототипы преобразуют в фреймы-экземпляры и объединяют в сеть фреймов, которая и представляет собой техническую модель. На рис. 4 приведена структура предметного уровня знаний для выбора зажимных механизмов, состоящая из фреймов-прототипов. Структура представляет собой граф "И/ИЛИ", описывающий различные варианты зажимных механизмов. Приведены механизмы и соответствующие им расчетные выражения и их параметры.

По окончании синтеза конструкции автоматически формируется математическая модель в виде функциональной семантической сети, для работы с которой необходимо задать исходные данные и наложить ограничения на параметры системы, значения которых не должны отличаться от заданных.

При решении оптимизационной задачи система путем анализа выражений находит такие, ко-

торые позволяют получить необходимые параметры элементов станочных приспособлений. Они преобразовываются в соответствующие функции, на основе которых механизм логического вывода осуществляет решение поставленной задачи.

Задача нахождения оптимальной структуры решается при условии, что параметры проектируемой системы заданы, требуется найти из множества вариантов структуру, обеспечивающую экстремум критерия оптимальности. Для этого выполняется расчет различных вариантов структурных схем и выбирается схема с наилучшими проектными характеристиками.

Были выявлены следующие критерии выбора оптимальной структуры станочных приспособлений: точность установки заготовки в приспособлении; сила закрепления заготовки, развиваемая силовым механизмом; коэффици-

ент усиления силового механизма; сила, развиваемая приводом.

Критериями выбора оптимальной схемы установки заготовки в приспособлении являются точностные показатели — погрешности базирования и закрепления. При этом погрешность установки должна быть минимальной: $\varepsilon_y \rightarrow \min$.

Оптимальное сочетание разных силовых механизмов с различными

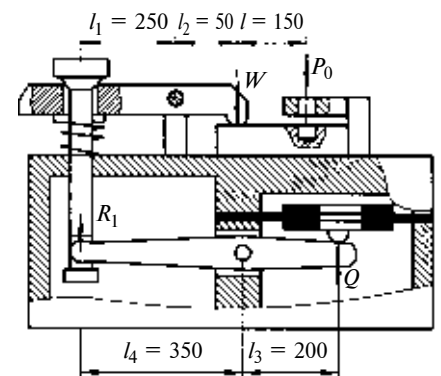


Рис. 5. Схема проектируемого станочного приспособления

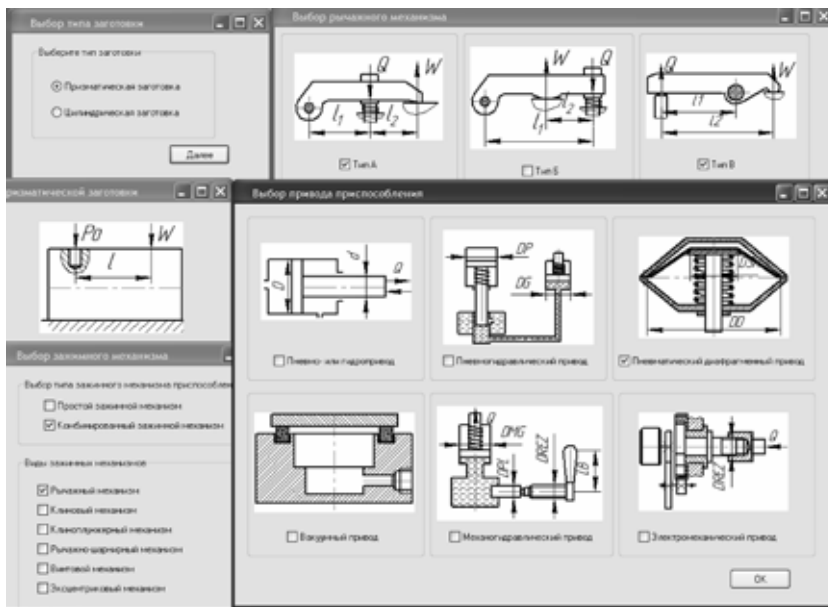


Рис. 6. Диалоговое окно выбора зажимных механизмов первого приспособления

типами привода определяется на основе второго критерия выбора структуры станочного приспособления: одна и та же сила закрепления может обеспечиваться множеством силовых механизмов в сочетании с различными приводами. Для этого системой определяются: сила $W_{тр}$ закрепления заготовки в зависимости от сил резания; коэффициент i усиления рассматриваемого силового механизма; сила Q , развиваемая приводом; сила W_p , закрепления заготовки со стороны силового механизма. Сочетание силового механизма с приводом определяется из условия $W_{тр} \leq W_p = iQ$ при $W_p - W_{тр} \rightarrow \min$.

Для определения оптимальной структуры силового механизма сравниваются коэффициент усиления рассматриваемых схем с коэффициентом усиления, обеспечивающим надежное закрепление заготовки при обработке на заданном режиме с заданными параметрами привода приспособления. Функция анализатора — выполнение условия надежного закрепления заготовки: $i_p \geq i_{тр} = W_{тр}/Q$ при $i_p - i_{тр} \rightarrow \min$, где $i_{тр}$ — требуемый коэффициент усиления.

В результате формируется информационная модель, отражаю-

щая элементный состав конструкции, которая основана на определении конструкции как множества метрически определенных конструктивных элементов.

Обозначив информационную модель конструкции \bar{K} , запишем: $\bar{K} = \{K\bar{\mathcal{E}}_1, K\bar{\mathcal{E}}_2, \dots, K\bar{\mathcal{E}}_n\} = \{K\bar{\mathcal{E}}_i\}_{i=1}^n$, где $K\bar{\mathcal{E}}_i$ — метрическая определенность i -го конструктивного элемента; n — число элементов в конструкции приспособления.

Метрическая определенность i -го конструктивного элемента определяется выражением $K\bar{\mathcal{E}}_i = (K\mathcal{E}_i, \bar{v}_i)$, где $K\mathcal{E}_i$ — код i -го конструктивного элемента приспособления; $\bar{v}_i = (v_1, \dots, v_q)$ — вектор размерных параметров i -го конструктивного элемента (q — число размерных параметров, характеризующих i -й конструктивный элемент приспособления).

Рассмотрим выбор оптимальной структуры станочного приспособления для установки призматической заготовки при обработке концевым инструментом, критерий выбора — коэффициент усиления силовых механизмов. Выбираем из схем, представленных на рис. 1 и 5, исходные данные: диаметр инструмента $D_{ин} = 15$ мм; подача инструмента $S = 0,14$ мм/об; предел прочности

обрабатываемого материала $\sigma_B = 750$ МПа; размеры: $l = 150$ мм, $l_1 = 250$ мм, $l_2 = 50$ мм, $l_3 = 200$ мм, для первого приспособления (см. рис. 1) $l_4 = 100$ мм, для второго приспособления (см. рис. 5) $l_4 = 350$ мм; давление в пневмоцилиндре $p = 0,63$ МПа; диаметр мембраны пневмоцилиндра $D = 60$ мм. Для этого в систему вводим описание технической модели и формулируем задачу, т. е. пользователь в диалоговом режиме указывает вид обработки, тип заготовки, перечисляет агрегатный состав проектируемой системы. На рис. 6 показано диалоговое окно выбора зажимных механизмов для первого станочного приспособления (см. рис. 1).

Расчетом были определены: коэффициент усиления ($i_{тр} = 1,06$) и развиваемые коэффициенты i_p усиления силовых механизмов для первого и второго приспособлений соответственно 1,2 и 2,06, которые больше требуемого, $i_p \geq i_{тр}$. Причем для первой схемы разница меньше, $i_p - i_{тр} = 0,14$. Таким образом, оптимальной конструктивной схемой приспособления является схема, представленная на рис. 1.

Предложенное моделирование средств технологической оснастки позволяет находить оптимальные варианты конструктивных схем станочных приспособлений, обеспечивая наиболее высокие их показатели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. **Поспелов Г. С.** Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. 280 с.
2. **Технологическая** оснастка / М. Ф. Пашкевич, Ж. А. Мрочек, Л. М. Кожуро, В. М. Пашкевич. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. 320 с.
3. **Пашкевич В. М., Миронова М. Н.** Расчет станочных приспособлений на основе использования семантических сетей // Вестник Бел.-Рос. ун-та. 2007. № 4. С. 98—106.