

УДК 621:531:004.942:519.171.2

Пипкин Ю. В., Коцюбинский В. Ю.Донбасский государственный технический университет***E-mail: tmsizam@yandex.ru*

ФРЕЙМ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К СОСТАВЛЕНИЮ ПОЛЮСНЫХ ГРАФОВ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

В статье представлен подход к построению полюсных графов с точки зрения теории фреймов. Выделено три уровня фрейм-ориентированного подхода: графический «рамочный», графовый «скелетный» и табличный. На примере фрезерного станочного приспособления показано получение фрейм-образного представления полюсного графа механической системы.

Ключевые слова: фрейм, полюсный граф, механическая система, станочное приспособление.

Проблема моделирования на основе полюсных графов. Полюсные графы являются математическим обобщением эквивалентных схем с сосредоточенными компонентами систем разнообразной физической природы: электрических, гидравлических, механических и других [1]. На основе полюсных графов рекомендуется составлять математические модели технических систем на макроуровне в системах автоматизированного проектирования [2]. Практика разработки математических моделей различных производственных и технологических механизмов показала применимость, методическую ценность и структурированность инструментария полюсных графов. Однако применение математического аппарата полюсных графов не получило широкого распространения. Такую ситуацию можно объяснить отличительной особенностью полюсных графов по сравнению с другими видами графов. Эта особенность заключается в том, что вершины большинства графов обозначают собой объекты системы (переменные и коэффициенты уравнений, детали механизмов и узлов, пункты назначения и пр.), а дуги — связи (или в общем виде — отношения) между этими объектами (для переменных и коэффициентов уравнений — математические действия, для деталей — способ и последовательность их сопряжения, для пунктов назначения — расстояние или время ожидания). У полюсных графов,

наоборот, дуги компонент являются объектами, а вершины — точками сопряжения компонент-объектов (т. е. связями). По существу, полюсный граф объединяет в себе два графа системных переменных: поперечных (их еще называют последовательными, для механических систем это силы) и продольных (их еще называют параллельными, для механических систем это перемещения и скорости) [3]. Еще одной причиной ограниченного применения полюсных графов при построении математических моделей является то, что во многих случаях при исследовании механических систем выполняют переход от эквивалентных схем к записи дифференциальных уравнений [4]. Возникающие при применении полюсных графов трудности можно устранить автоматизацией процесса построения и анализа полюсных графовых моделей.

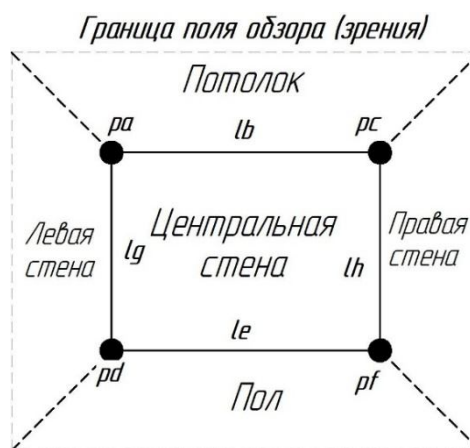
Разработка систем автоматизации процесса построения полюсных графов относится к сфере задач управления знаниями в интеллектуальных системах, так как его основное приложение — построение математических моделей систем, которые отражают знание исследователя о системе и проблемной ситуации. При формировании баз знаний интеллектуальных систем графы находят применение в семантических и фреймовых моделях [5].

Целью данной работы является развитие фрейм-ориентированного подхода

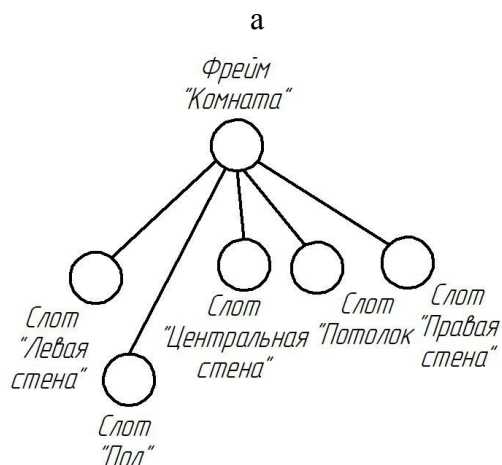
применительно к построению полюсных графовых моделей механических систем, элементы которого были выявлены при составлении таких моделей.

Общие положения о фрейм-ориентированном подходе. Фрейм-ориентированный подход состоит в применении понятия фрейма как «структуры данных для представления стереотипной ситуации», введенного Марвином Минским [6]. По оценке японских специалистов [7], «фреймовая модель, или модель представления знаний, основанная на фреймовой теории М. Минского, представляет собой систематизированную в виде единой теории психологическую модель памяти человека и его сознания». Наиболее часто для объяснения понятия фрейма используют пример образа «Комната» [6, 7]. При этом приводится несколько разных вариантов (рис. 1–3). Наиболее общий подход к описанию «Комнаты» приводится в работе [6] (рис. 1). В пределах границ поля обзора (поля зрения) можно выделить достаточно четкие и в то же время обязательные структурные элементы, взаимосвязи между которыми описываются в виде граф-дерева (рис. 1, б), а записи в базе знаний — таблицей 1.

Таким образом, можно выделить три уровня фрейм-ориентированного подхода: графический «рамочный» (рис. 1, а), графовый «скелетный» (рис. 1, б) и табличный (табл. 1).



pa, pc, pf, pd — точки (points);
lb, lh, le, lg — линии (lines)



б

Рисунок 1 — Образ «комната» и элементы его структуры: а) фрейм как «рамка»; б) фрейм как «скелет» (или «каркас»)

Таблица 1

Запись базы знаний о фрейме «Комната»

Имя фрейма: «Комната»			
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения	Дополнительная информация
«Левая стена»	{(pa, pd); (lg)}	Пересечение плоскостей	
«Пол»	{(pd, pf); (le)}	Пересечение плоскостей	
«Потолок»	{(pa, pc); (lb)}	Пересечение плоскостей	
«Центральная стена»	{(pa, pc, pf, pd); (lb, lh, le, lg)}	Пересечение плоскостей	
«Правая стена»	{(pc, pf); (lh)}	Пересечение плоскостей	

Выбор того или иного уровня зависит от формы исходных данных. При моделировании механических систем удобнее всего использовать язык чертежей и рабочих эскизов, т. е. предпочтителен «рамочный» вариант представления фреймов.

Обобщая, можно принять, что фрейм-ориентированный подход заключается в рассмотрении визуальных графических и соответствующих им мыслительных образов в виде рамки, окна (комнаты или оболочки) или любой формы с замкнутыми границами в качестве фрейма знаний с последующим определением его структуры и правил применения.

Полюсный граф механической системы станочного приспособления как фрейм.

Станочные приспособления, в соответствии с системой стандартов технологической оснастки (в частности ГОСТ 31.0000.01-90 и ГОСТ 31.010.01-84), представляют собой технологическую оснастку для изготовления деталей машин и механизмов на металлорежущих станках.

Совершенствованию станочных приспособлений уделяется значительное внимание, так как они являются частью технологической системы механической обработки («деталь — инструмент — приспособление — станок» — ДИПС) и оказывают влияние на точность, производительность и себестоимость технологических операций.

При разработке систем автоматизированного проектирования всё многообразие конструкций станочных приспособлений рассматривают как технические системы, которые имеют соответствующие характеристики: связь с окружающей средой, структуру, функцию работы, набор характерных свойств.

Структура конструкции приспособления имеет такой же характер, как и большинство изделий машиностроения. Это многокомпонентная иерархическая структура (рис. 2), которая имеет на самом нижнем уровне геометрические элементы (точки, отрезки, дуги окружностей и др. — элементы рабочих и сборочных чертежей). На более

высоких уровнях — поверхности, группы поверхностей, детали, сборочные единицы, функциональные группы элементов. Кроме логических связей между элементами различных уровней, определяемых структурой рисунка 2, существуют также функциональные связи между элементами одного или разных уровней, которые связывают элементы структуры в конструкцию (Z на рис. 2).

В структуре технической системы станочного приспособления выделяют такие элементы, как: «заготовка (деталь)», «установочные элементы», «зажимные элементы», «зажимной механизм», «привод», «корпус», «направляющие элементы» (рис. 3). Наличие всех элементов, кроме направляющих, является необходимым минимумом для определения станочного приспособления. Важным моментом является то, что для объединения всех элементов в конструкцию требуется наличие силового замыкания.

Для построения полюсного графа выбрана произвольная расчетная схема фрезерного станочного приспособления (рис. 4).

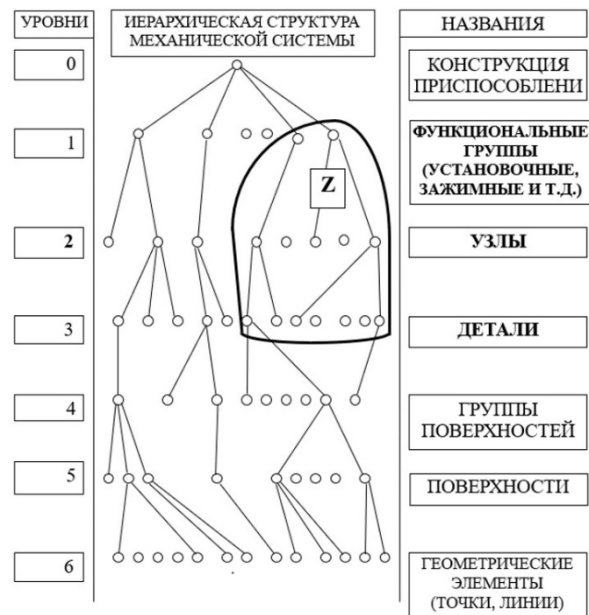


Рисунок 2 — Уровни структурной иерархии машиностроительных конструкций на примере станочных приспособлений

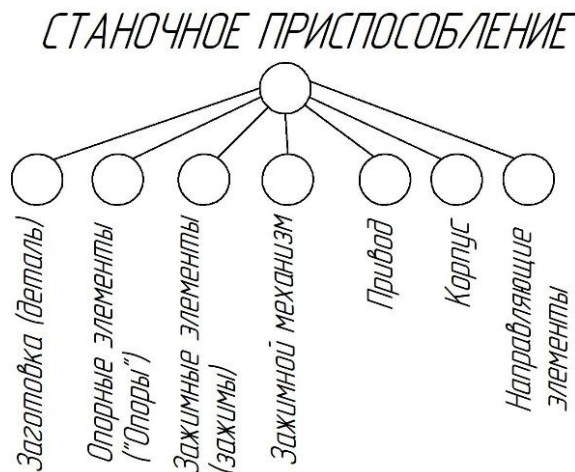
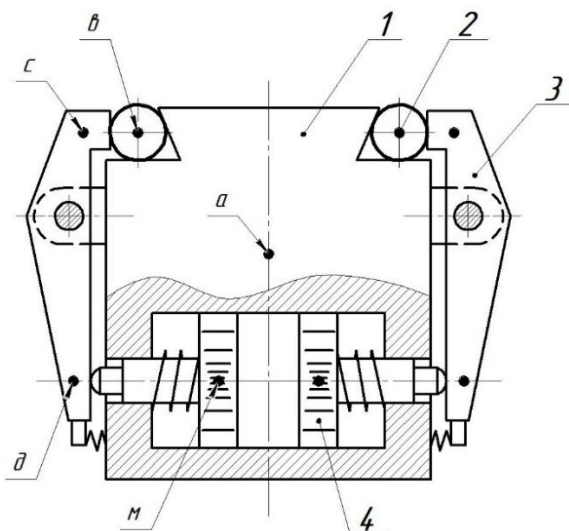


Рисунок 3 — Структура станочного приспособления

Она включает в себя элементы: корпус 1, двуплечие зажимные рычаги 3 (передаточный элемент), установленные на корпусе, двоянный пневмоцилиндр (привод), камера которого выполнена в корпусе и в ней двигаются два штока 4, а также обрабатываемую заготовку 2, устанавливаемую на призмы корпуса (установочные элементы) и прижимаемую к призмам плоской пятой верхнего плеча рычага (зажимной элемент).



1, 2, 3, 4 — номера позиций элементов
а, в, с, д, м — характерные точки

Рисунок 4 — Расчетная схема фрезерного станочного приспособления

В соответствии с рекомендациями [1, 2] выполним построение полюсного графа механической системы в следующей последовательности:

1. Для каждого элемента структуры зададим характерные точки:

- точка *a* — точка корпуса (как точка начала отчета измерений и перемещений);
- точка *b* — точка заготовки (как центр симметрии);
- точка *c* — точка верхнего плеча рычага (так, что направление зажима идет по отрезку *bc*);
- точка *d* — точка нижнего плеча рычага (так, что направление зажима от пневмоцилиндра идет по направлению отрезка *dm*);
- точка *m* — точка поршня пневмоцилиндра (на оси симметрии, т. е. оси перемещения поршня).

2. Для каждой комбинации характерных точек устанавливаем вид взаимодействия элементов системы, отраженных на эквивалентной схеме (рис. 5):

- комбинация точек (*a, b*) — двухполюсник упругости (пружина), упругий контакт заготовки с опорной призмой на корпусе приспособления K_{ba} ;
- комбинация точек (*b, c*) — двухполюсник упругости (пружина), упругий контакт заготовки с зажимным элементом K_{bc} ;
- комбинация точек (*a, m*) — двухполюсник упругости (пружина), пружина для возврата поршня K_{ma} ;
- комбинация точек (*d, m*) — двухполюсник упругости (пружина), упругое взаимодействие через шток и упругий контакт K_{dm} .

3. Для точек приложения и передачи сил в приводе устанавливаем двухполюсники источников энергии: источник силы F_{am} к поршню в точке *m*.

4. Для устройства, преобразующего направление сил, вводим зависимые источники силы F_d (сила зависит от силы в точке *d* и передаточного отношения рычага) и перемещения V_c (перемещение зависит от перемещения в точке *c* и передаточного отношения), т. е. устанавливаем связь гираторного типа между верхней и нижней ветвями модели.

Заменяя компоненты эквивалентной схемы дугами, получаем полюсный граф (рис. 6).

Сравнивая полученный полюсный граф со структурой фрейма на рисунке 2, можем видеть сходство: имеется вершина графа, с которой связаны все другие его вершины. Для полюсного графа такая вершина всегда будет иметь место, так как для анализа и моделирования механических систем с сосредоточенными компонентами она играет роль начала отсчета системы.

Далее можно выполнить обратный переход от «скелетной» структуры фрейма к «рамочной». Для этого вершину a представим в виде рамки — «границы поля зрения» (рис. 7). При этом получаем фрейм-образный вид полюсного графа.

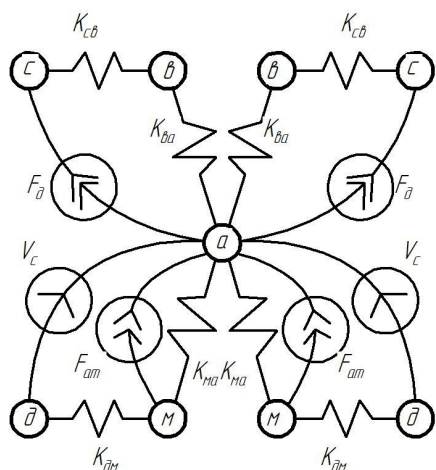


Рисунок 5 — Эквивалентная схема механической системы

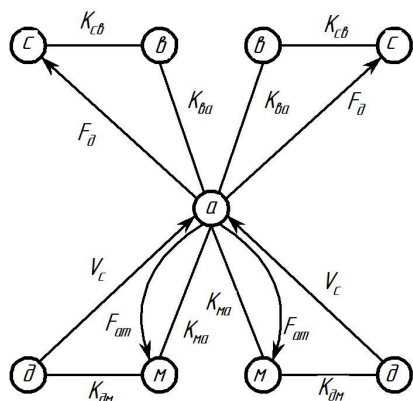


Рисунок 6 — Полюсный граф механической системы

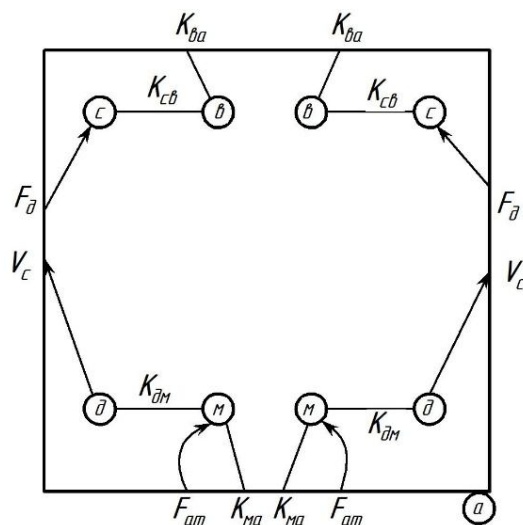


Рисунок 7 — Фрейм-образный вид полюсного графа

Рассматривая фрейм-образный вид полюсного графа можно видеть его особенность — все вершины связаны между собой некоторым путем, т. е. замкнутой последовательностью дуг. Граф с таким видом замыкания называют связным графом. «Скелетная» структура фрейма этого графа должна получиться без замыкания (рис. 8). Слотами фрейма «Полюсный граф» можно определить наличие в «поле зрения» вершин, связанных дугами с границей (началом отсчета) и друг с другом, причем через каждую вершину проходит замкнутый путь. Однако, чтобы граф считать полюсным, кроме связности, необходимо также знание и рассматриваемых переменных — параллельных (продольных) и последовательных (поперечных). Кроме того, по [1, 2] дуги полюсного графа могут представлять пассивные или активные (источники) компоненты системы, т. е. быть пассивными или активными.

Таким образом, «скелетная» структура произвольного полюсного графа (рис. 8) будет отличаться от вида на рисунке 6.

Удобной особенностью фрейм-образного вида полюсного графа (рис. 7) является то, что в свободном поле «границы поля зрения», как бы внутри системы отсчета, можно разместить непосредственно расчетную схему (чертеж, эскиз) (рис. 9).

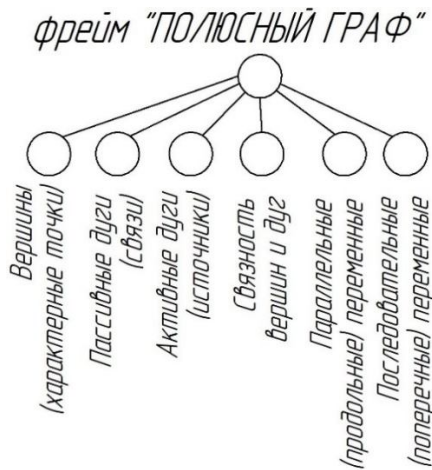


Рисунок 8 — «Скелетная» структура фрейма «Полюсный граф»

Следует отметить, что форма фрейм-образного полюсного графа, совмещенная с эскизом расчетной схемы, соответствует распространенной форме графического интерфейса — оконному интерфейсу. Следовательно, разработка автоматизированной системы построения полюсных графов на основе фрейм-ориентированного подхода соответствует основным тенденциям развития информационных технологий.

Список источников

1. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера. К. : Техніка, 1975. 768 с.
2. Трудоношин В. А., Пивоварова Н. В. Системы автоматизированного проектирования в 9-ти кн. Кн. 4. Математические модели технических объектов : учеб. пособ. для вузов / под. ред. И. П. Норенкова. М. : Высшая школа, 1986. 160 с.
3. Ильинский Н. Ф., Цаценкин В. К. Приложение теории графов к задачам электромеханики. М. : Энергия, 1968. 200 с.
4. Пантелеев А. В., Якимова А. С., Босов А. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения в примерах и задачах : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 2001. 376 с.
5. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
6. Минский М. Фреймы для представления знаний / пер. с англ. О. Н. Гринбаума ; под ред. Ф. М. Кулакова. М. : Энергия, 1979. 151 с.
7. Представление и использование знаний : пер. с япон. / под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. М. : Мир, 1989. 220 с.

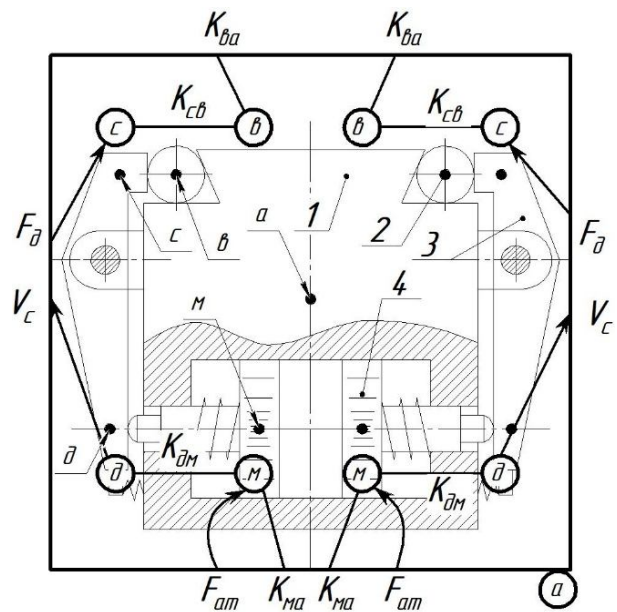


Рисунок 9 — Фрейм-образный полюсный граф с вложенной расчетной схемой

Выводы. Впервые предложен фрейм-ориентированный подход к построению полюсных графов механических систем на примере станочных приспособлений и получена фрейм-образная форма полюсного графа системы.

© Пипкин Ю. В., Коцюбинский В. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. ТМиИК ЛГУ им. В. Даля Витренко В. А., к.э.н., доц., зав. каф. ТОМП ДонГТУ Зинченко А. М.

Статья поступила в редакцию 30.11.2023.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пипкин Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент каф. технологии и организации машиностроительного производства
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия,
e-mail: tmsizam@yandex.ru

Коцюбинский Виктор Юрьевич, инженер НИЧ
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

***Pipkin Yu. V., Kotsyubinsky V. Yu.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia, *e-mail: tmsizam@yandex.ru)

FRAME-ORIENTED APPROACH TO FORMATION POLE GRAPHS OF MECHANICAL SYSTEMS WITH LUMPED COMPONENTS

The article presents an approach to constructing pole graphs from the point of view of frame theory. Three levels of the frame-oriented approach are identified: graphic "framework", graph "skeletal" and tabular. Using the example of a milling workholding fixture, we show how to obtain a frame-shaped representation of the pole graph of a mechanical system.

Key words: frame, pole graph, mechanical system, workholding fixture.

References

1. Sigorskij V. P. *Mathematical apparatus of an engineer [Matematicheskij apparat inzhenera]*. K. : Tekhnika, 1975. 768 p. (rus)
2. Trudonoshin V. A., Pivovarova N. V. *CAD systems in 9 books. Book 4. Mathematical models of technical objects: study letter. for universities. Eds. I. P. Norenkov [Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya v 9-ti kn. Kn. 4. Matematicheskie modeli texnicheskix ob'ektov: ucheb. posob. dlya vuzov]*. M. : Vysshaya shkola, 1986. 160 p. (rus)
3. Il'inskij N. F., Cacenkin V. K. *Applying Graph theory to electromechanical problems [Prilozhenie teorii grafov k zadacham e'lektromexaniki]*. M. : Energiya, 1968. 200 p. (rus)
4. Panteleev A. V., Yakimova A. S., Bosov A. V. *Ordinary differential equations in examples and problems: study letter [Obyknovennyye differencial'nye uravneniya v primerah i zadachah: ucheb. posobie]*. M. : Vysshaya shkola, 2001. 376 p. (rus)
5. Gavrilova T. A., Horoshevskij V. F. *Knowledge bases of intelligent systems [Bazy znaniy intellektual'nyh sistem]*. St. Petersburg : Piter, 2000. 384 p. (rus)
6. Minsky M. *Frameworks for representing knowledge. Translated from English by Greenbaum O. N. Eds. F. M. Kulakova [Frejmy dlya predstavleniya znaniy]*. M. : Energiya, 1979. 151 p. (rus)
7. *Knowledge representation and use. Translated from Japanese. Eds. H. Ueno, M. Isidzuka [Predstavlenie i ispol'zovanie znaniy]*. M. : Mir, 1989. 220 p. (rus)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pipkin Yury Vladimirovich, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Technologies and Organizations of Mechanical Engineering Production
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia
e-mail: tmsizam@yandex.ru

Kotsyubinsky Viktor Yurievich, engineer of Research Department
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia