

УДК 004.89

Л.А. ГОРДИЕНКО<sup>1</sup>, А.Б. КУРЕНКО<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина<sup>2</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Украина

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ ЗНАНИЯМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ТПП

Жесткая конкуренция среди предприятий авиационного профиля накладывает на их функционирование целый ряд дополнительных требований, а именно: максимальное снижение сроков подготовки производства, автоматизация подготовки технологической документации, повышение качества выпускаемой продукции, экономия материальных ресурсов, накопление и сохранение интеллектуальных ресурсов (операционных знаний) предприятия. Эти цели достижимы посредством комплексной автоматизации предприятия, создания так называемого виртуального предприятия.

**инженерия квантов знаний, автоматизация ТПП, искусственный интеллект, листовая штамповка**

### Введение

Особенности самолетостроительного производства, которые проявляются в частой смене номенклатуры выпускаемых изделий, мелкосерийности, большой доле ручного труда и т.д., определяют специфику процессов принятия производственных решений и, следовательно, процессов формирования этих решений на основе интеллектуальных методов. Одним из типичных примеров, где проявляются указанные выше особенности, являются процессы поддержки принятия решений в технологической подготовке листоштамповочного производства.

Наряду с тем, что на рынке специализированного программного обеспечения присутствует целый ряд систем автоматизированного проектирования (САПР) для автоматизации технологической подготовки производства (ТПП), по-прежнему актуальна задача создания специализированных программных средств, специально ориентированных на интеллектуальную поддержку принятия производственных решений [1].

Это вызвано тем, что технологическая подготовка авиационного производства характеризуется большим количеством творческих задач принятия решений, традиционно решаемых технологами на основе накопленного многолетнего опыта работы и

профессиональной интуиции. Эти задачи, как правило, плохо формализованы и решаются на базе применения интеллектуальных технологий [2 – 4]. Одним из возможных методов решения слабоформализованных задач является квантовый подход к представлению и манипулированию знаниями [5 – 7]. В работе [6] рассмотрены вопросы извлечения и формализации технологических знаний и построения модифицированных квантовых моделей принятия решений в технологической подготовке листоштамповочного производства.

**Целью данной статьи** является описание алгоритмической базы для индуктивного построения квантовых баз знаний специального назначения, а также эффективного манипулирования имеющимися знаниями для логического вывода технологических решений.

**Постановка задачи.** Заданы разнотипные характеристики объекта принятия решений (ОПР), измеренные в различных шкалах, и набор примеров принятия решений для конкретной задачи.

Требуется разработать алгоритмы построения базы модифицированных квантов знаний (модели предметной области) и эффективного манипулирования построенными моделями, включая следующие алгоритмы: генерирования квантовой сети рассуждений, логического вывода по квантовой сети

рассуждений, формирования объяснений предложенного решения.

### Описание алгоритмов формирования и манипулирования знаниями

Для автоматизации принятия решений в технологической подготовке листоштамповочного произ-

водства необходимо выделить слабоструктурированные задачи в составе комплексной проблемы [8, 9]. Выделенные задачи и последовательность (этапы) их решения на основе метода точных разноразмерных алгоритмических квантов знаний показаны на рис. 1.

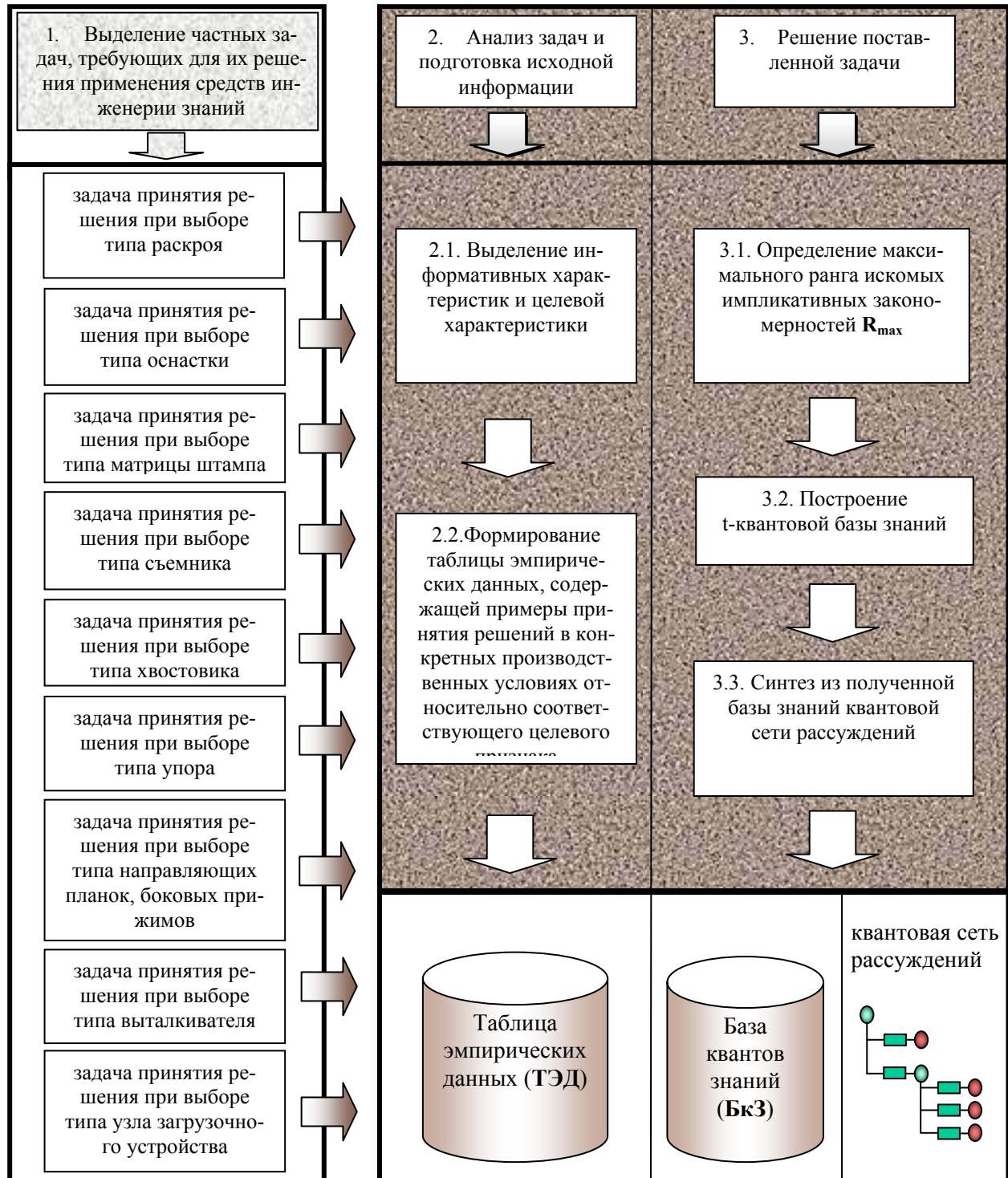


Рис. 1. Решение задачи поддержки принятия технологических решений при проектировании штампа в листоштамповочном производстве на основе tРАК3-метода

Первый этап выполняется инженером по знаниям на основе анализа текстологических источников сотрудничества с экспертами.

Второй и третий этап решается с помощью СППР для каждой из выделенных задач, причем задачи решаются в порядке, не противоречащем метазнаниям [9]. Для автоматизации второго и третьего этапа разработаны следующие алгоритмы.

1. Алгоритм генерирования минимизированной базы квантов знаний.

- Алгоритм формирования шаблонов комбинаций характеристик и их значений.

- Алгоритм добавления в базу знаний найденной закономерности (с проверкой поглощения этой закономерности уже имеющейся меньшего ранга).

2. Алгоритм синтеза сети рассуждений из базы квантов знаний.

- Алгоритм определения очередного действия.

3. Алгоритм проведения консультации пользователя.

- Алгоритм формирования объяснения предложенного решения.

**Алгоритм генерирования и минимизации базы точных квантов знаний (tk-знаний).** В соответствии с tPAK3-методом [5, 6], путем индуктивного вывода из системы обучающий квантов находят квант знаний второго уровня, описывающий БкЗ системой устойчивых характеристик идентифицируемых ОПР в форме обнаруженных закономерностей. В пространстве моделей объектов этим закономерностям отвечают «запретные» интервалы. «Запретный» интервал представляет собой характеристическое множество из элементов пространства моделей, отвечающее имплицативной связи между теми признаками ОПР, комбинации значений которых для данного класса объектов недопустимы.

Для формирования базы модифицированных квантов знаний в виде системы запретных закономерностей обучающую выборку анализируют на предмет не содержащихся в ней комбинаций характеристик и их значений, формируя шаблоны комбинаций

характеристик и шаблоны значений характеристик. Минимизация базы знаний осуществляется посредством склеивания и поглощения закономерностей.

Входными данными алгоритма являются математическое ожидание случайности используемых для формирования базы знаний закономерностей ( $M_s^*$ ) и обучающая выборка в виде таблицы эмпирических данных ( $tk_2 \Sigma_0$ ). Результатом работы данного алгоритма является минимизированная база запретов в форме кванта знаний второго уровня. ( $tk_2 \bar{\Sigma}_{bm}$ ).

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

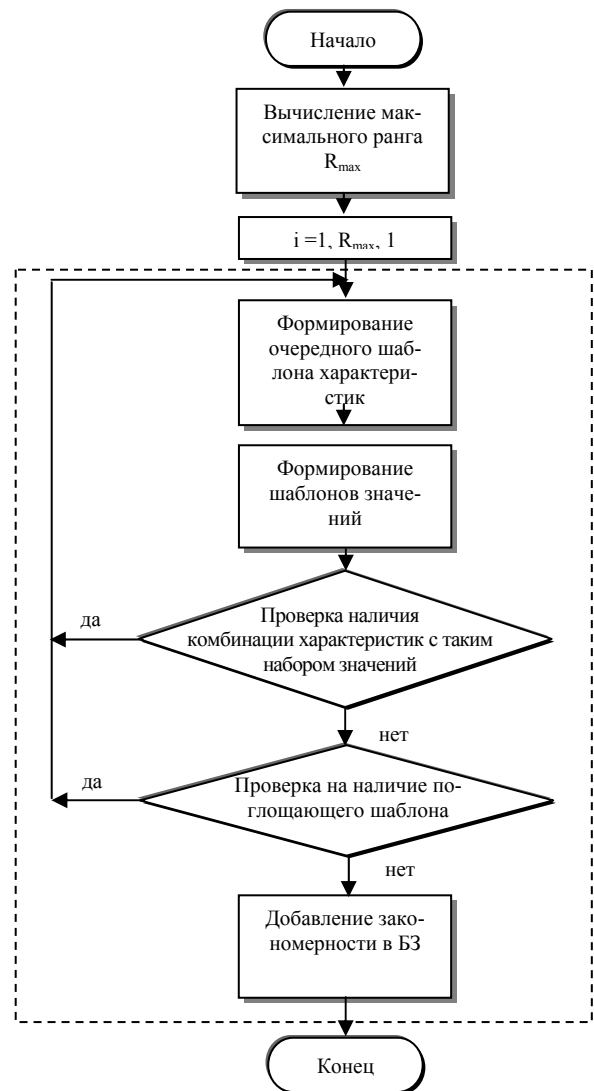


Рис. 2. Блок-схема алгоритма генерирования и минимизации базы точных квантов знаний

Оценка времени работы алгоритма. Наиболее часто выполняемой операцией алгоритма является формирование шаблона комбинации характеристик и их значений. Пусть количество характеристик равняется 15, размерностью доменов 3 и при значении максимального ранга равном 3. Количество проверяемых шаблонов равняется

$$C_{15}^2 \cdot 2^{3 \cdot 2} + C_{15}^3 \cdot 2^{3 \cdot 4} = 239680 \text{ шаблонам.}$$

Для ЭВМ с процессором не ниже Pentium-100 МГц, объемом оперативной памяти 32 Мб и не менее 10 Мб дискового пространства время выполнения алгоритма составит порядка десяти секунд.

Для проверки правильности функционирования алгоритма требуется вручную проверить сгенерированную базу знаний на наличие закономерностей, присутствующих в обучающей выборке или покрываемых имеющимися закономерностями более низких рангов.

*Алгоритм формирования шаблонов.* Для нахождения отсутствующих в ТЭД комбинаций значений характеристик используются шаблоны. Шаблоны представляют собой числа от 0 до  $N_{dom}$  в двоичной системе счисления. Для небинарного пространства вводится проверка отсутствия в ТЭД какого-либо значения характеристики (комбинации значений компонентов ее домена). Шаблон значений характеристики формируется в соответствии с размерностью ее домена. Для каждой характеристики количество шаблонов  $N_{Templ} = 2^{N_{dom}}$ , где  $N_{dom}$  – размерность ее домена. Импликативные связи между характеристиками находятся пошагово, проверяя наличие в ТЭД комбинаций значений по соответствующим шаблонам характеристик.

Входными данными алгоритма являются: внутренний ранг шаблона ( $R_x$ ), текущий уровень рекурсии ( $RecLev$ ), текущий ранг закономерностей ( $CurR$ ), шаблон комбинации характеристик ( $X\_Templ$ ), шаблон комбинации значений ( $Templ$ ). Выходными данными алгоритма – шаблон комбинации характери-

стик ( $X\_Templ$ ) и шаблон комбинации значений ( $Templ$ ).

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 3.

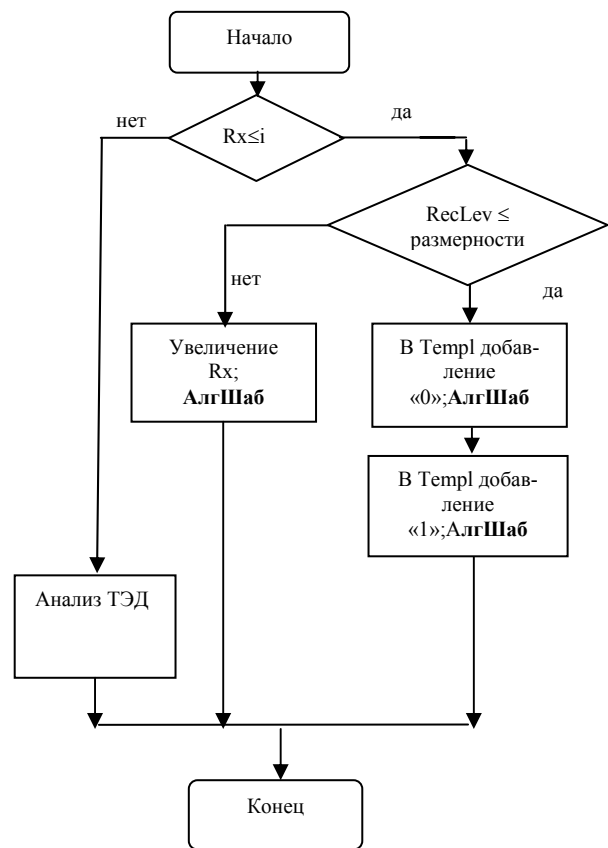


Рис. 3. Алгоритм формирования шаблонов АлгШаб

На первом шаге ищется связь между любыми двумя характеристиками, на следующем шаге – между любыми тремя характеристиками; на последнем шаге между  $R_{max}$  характеристиками. Очевидно, что в случае, когда  $R_{max} = 2$ , первый шаг совпадает с последним, т.е. связи ищутся только между возможными парами характеристик.

*Алгоритм добавления закономерности в базу знаний.* Входными данными алгоритма являются: текущая база квантов знаний ( $tk_2 \bar{\Sigma}_{bm}^*$ ), шаблон комбинации характеристик ( $X\_Templ$ ), шаблон комбинации значений ( $Templ$ ). На выходе алгоритма – минимизированная база квантов знаний ( $tk_2 \bar{\Sigma}_{bm}$ ). Блок-схема работы алгоритма представлена на рис. 4.

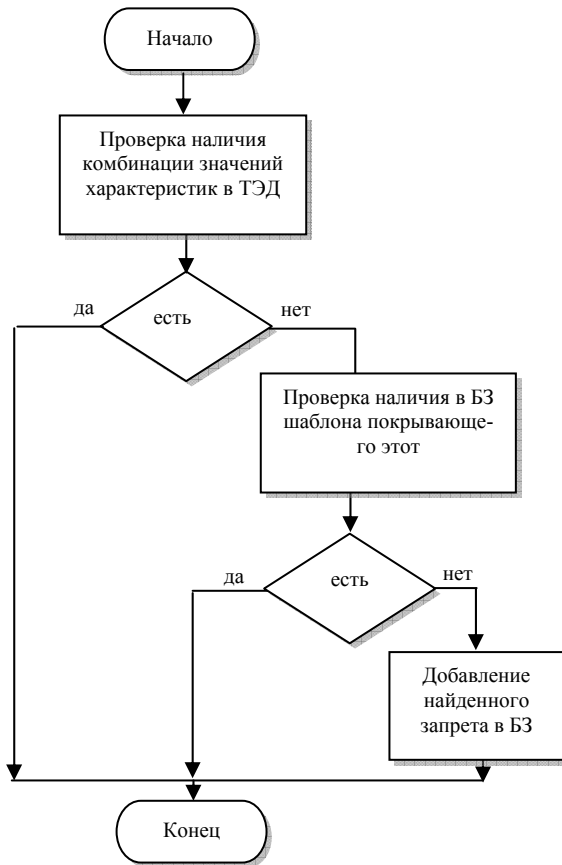


Рис. 4. Алгоритм добавления закономерности в БЗ

Найденная закономерность должна быть добавлена в базу квантов знаний только в том случае, если она отсутствует в обучающей выборке и не покрывается ни одним из запретов более низкого ранга.

**Алгоритм синтеза модифицированной квантовой сети рассуждений.** Искомое правило принятия решений в виде сети рассуждений определяется как квант новых знаний посредством дедуктивного вывода из минимизированной базы квантов знаний. Формирование сети рассуждений осуществляется путем последовательного определения характеристик в порядке убывания их информативности и упрощения базы квантов знаний посредством удаления из нее соответствующих строк и столбцов на каждой итерации алгоритма синтеза сети рассуждений.

Формирование сети принятия знаниеориентированных решений предусматривает минимизацию дерева путем объединения ветвей, ведущих к одинаковому значению целевой характеристики, при тех же значениях определяющих характеристик.

На вход алгоритма подаются: минимизированная база квантов знаний  $(tk_2 \bar{\Sigma}_{bm})$ , количество характеристик исследуемого ОПР без целевой  $(Nx)$ , количество объектов в обучающей выборке  $(Ny)$ .

Результат работы алгоритма – динамическая сеть рассуждений  $(Net)$ .

Блок-схема работы алгоритма представлена на рис. 5.

**Условие 1:** минор  $mtk_2 \bar{\Sigma}_i^*$  состоит из нескольких строк с конкретными значениями  $x_{ij} = 0, \dots, x_{ij} = 2^{P_n}$ .

Оценим время работы алгоритма синтеза сети рассуждений. Наиболее часто выполняемыми операциями алгоритма являются определение очередного действия и формирование новой вершины. Пусть количество характеристик равняется 15.

Максимальное количество формируемых вершин и соответственно определений действий над каждой сформированной вершиной равняется  $15! = 301771008000$ .

Для ЭВМ с процессором не ниже Pentium-100 MHz, объемом оперативной памяти 32 Мб и не менее 10 Мб дискового пространства время выполнения алгоритма будет исчисляться десятками секунд.

*Алгоритм определения очередного действия.* Действиями (шагами) алгоритма являются добавление новой внутренней вершины и формирование внешней вершины (ответа, выводимого по текущей цепочке рассуждений). На вход этого алгоритма подается текущая база квантов знаний  $(tk_2 \bar{\Sigma}_{bm}^*)$ .

Результатами работы алгоритма являются: текущая база квантов знаний  $(tk_2 \bar{\Sigma}_{bm}^*)$ , массив запретных значений целевой характеристики  $(Zn)$ , очередной шаг алгоритма  $(Step)$ .

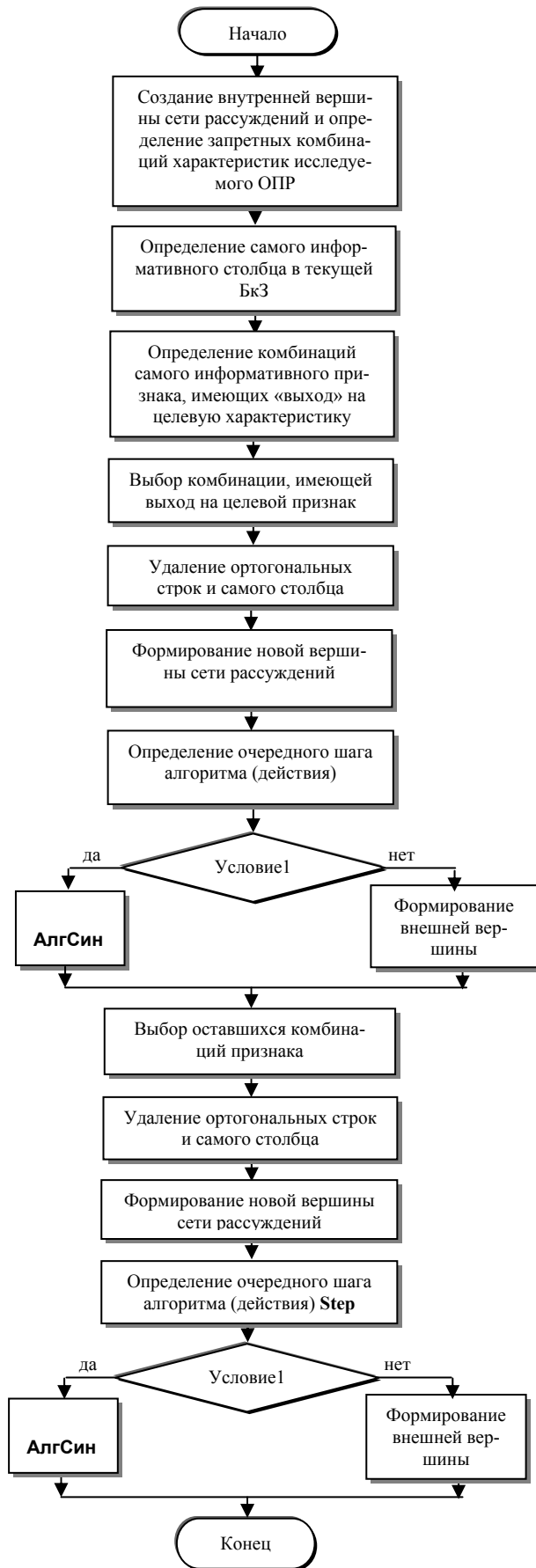


Рис. 5. Блок-схема рекурсивного алгоритма синтеза сети рассуждений

Блок-схема работы алгоритма определения очередного действия представлена на рис. 6.



Рис. 6. Блок-схема алгоритма определения очередного действия

Алгоритм включает в себя ряд проверок и используется для определения очередного шага в алгоритме синтеза сети рассуждений (АлгСин).

**Алгоритм логического вывода технологических решений по квантовой сети рассуждений.** Логический вывод осуществляется методом прохода

по сети рассуждений. В процессе логического вывода на основе текущих наблюдений за исследуемым объектом формируется предлагаемое решение в виде рекомендации. Входными данными алгоритма являются: семантика квантов ( $Sx$ ), количество характеристик исследуемого ОПР без целевой ( $Nx$ ), сеть рассуждений ( $Net$ ) и количество объектов в обучающей выборке ( $Ny$ ). На выходе алгоритма имеем: ответ сети в форме рекомендации ( $Vnesh$ ) и объяснение предложенного решения ( $ExplS$ ). Блок-схема работы алгоритма представлена на рис. 7.

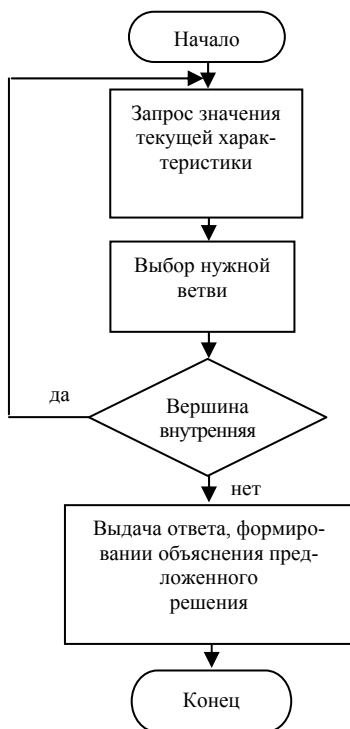


Рис. 7. Блок-схема алгоритма логического вывода

Оценим время работы алгоритма логического вывода. Наиболее часто выполняемой операцией алгоритма является запрос очередной характеристики. Пусть количество характеристик равняется 15. Максимальное количество запросов равно 14.

Для ЭВМ с процессором не ниже Pentium-100 MHz, объемом оперативной памяти 32 Мб и не менее 10 Мб дискового пространства время выполнения алгоритма будет исчисляться секундами.

Проверить правильность работы алгоритма можно просмотрев соответствие запрашиваемых харак-

теристик с вершинами отображенной сети рассуждений.

*Алгоритм формирования объяснения предложенного решения.* Входными данными для формирования предложенного решения являются: семантика квантов ( $Sx$ ), цепочка рассуждений ( $Expl$ ) и предложенное решение ( $Exs$ ). На выходе получаем объяснение предложенного решения ( $ExplS$ ).

Блок-схема алгоритма приведена на рис. 8.

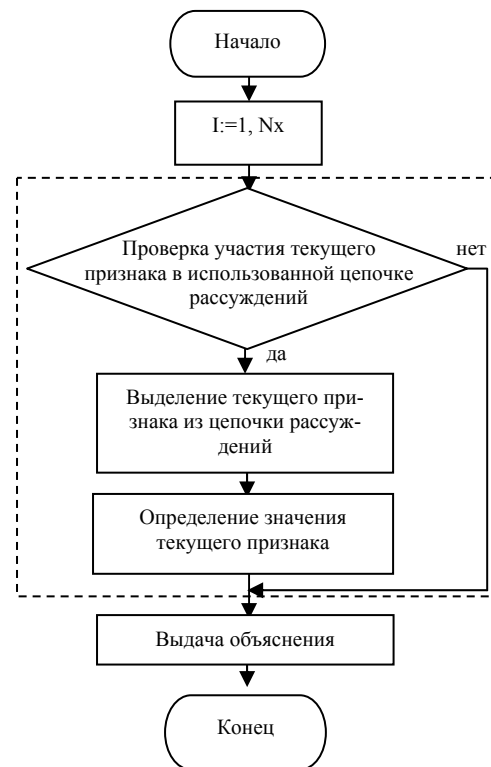


Рис. 8. Блок-схема алгоритма формирования объяснения предложенного решения

Объяснение предложенного решения представляет собой использованную для вывода решения цепочку в сети рассуждений.

## Заключение

В работе поставлена и решена задача алгоритмизации приобретения и манипулирования модифицированными квантами знаний для решения такой комплексной слабоструктурированной задачи, как поддержка принятия решений в технологической подготовке производства деталей листовой штамповкой.

Описанные в работе алгоритмы позволяют:

– автоматизировать выявление скрытых закономерностей посредством анализа репрезентативных выборок с целью получения знаний о предметной области, систематизировать полученные знания в виде минимизированной базы модифицированных квантов знаний,

– автоматически преобразовывать БкЗ в сетевидный граф (квантовую сеть рассуждений),

– выполнять логический вывод по квантовой сети для наблюдаемой ситуации и предоставлять объяснение предложенного решения.

Разработанная алгоритмическая база использована при создании интеллектуальной СППР «КВАНТ-Штамп». Система «КВАНТ-Штамп» разработана в рамках интеллектуальной интегрированной мультиагентной системы поддержки принятия технологических решений «КВАНТ+» и предназначена для поддержки принятия технологических решений при проектировании оснастки для технологической подготовки производства деталей листовой штамповкой [10].

Результаты решения тестовых и производственных задач на базе использования системы «КВАНТ-Штамп» подтвердили работоспособность и эффективность рассмотренного в работе комплекса алгоритмов.

## Литература

1. Гордиенко Л.А., Киричук Е.П. Проблема интеллектуальной поддержки принятия технологических решений в листовой штамповке // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – № 3 (11). – С. 83-89.

2. Люгер Джодж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.

3. Шостак И.В., Гордиенко Л.А., Киричук Е.П., Топал А.С. Проблемы разработки мультиагентной

интеллектуальной интегрированной системы поддержки принятия решений в авиационном производстве // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ". – 2003. – Вып. 43. – С. 14-22.

4. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – С.-Пб.: Питер, 2000. – 384 с.

5. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 428 с.

6. Сироджа И.Б., Гордиенко Л.А. Модифицированный метод инженерии квантов знаний для принятия идентификационных решений в условиях  $\alpha$ -неопределенности // *Открытые информационные компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов*. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т ХАИ. – 2004. – № 24. – С. 231-241.

7. Куренко А.Б. Знаниеориентированное принятие распознающих и прогнозных решений для особых случаев полета в условиях неопределенности // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2003. – № 4. – С. 102-110.

8. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

9. Гордиенко Л.А., Пьянков А.В. Методика получения знаний по проектированию оснастки для листовой штамповки // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2004. – № 2. – С. 62-66.

10. Гордиенко Л.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при проектировании оснастки для изготовления деталей листовой штамповкой // *Вестник науки и техники*. – 2004. – № 2 – 3 (17 – 18). – С. 65-72.

*Поступила в редакцию 22.12.2005*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.П. Пуятин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.