

УДК 004. 8

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

*И.Б. Сироджа, д-р техн. наук*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Рассмотрены преимущества использования квантовых моделей и методов инженерии знаний для создания интеллектуальных систем поддержки принятия технологических решений в условиях неопределённости. Разработана методология создания интеллектуальной информационной технологии поддержки принятия решений технолога в машиностроении на базе использования метода вероятных алгоритмических квантов знаний (ВАКЗ-метод).

\* \* \*

Розглянуто переваги застосування квантових моделей і методів інженерії знань для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття технологічних рішень в умовах невизначеності. Розроблено методологію створення ефективної інтелектуальної інформаційної технології підтримки прийняття рішень технолога в машинобудуванні, що ґрунтується на використанні методу імовірних алгоритмічних квантів знань (ІАКЗ-метод).

\* \* \*

Advantages of quantum models and methods of engineering knowledge used for creating intelligent system of making technological decisions in uncertain conditions are concerned. Effective information technology of making technological decisions in machine building, based on using the method of probable algorithmic quantum of knowledge (PAQK-method) is proposed.

### Введение

На современном этапе автоматизации производства, базирующейся на применении новых ЭВМ, микропроцессорной техники, искусственного интеллекта и телекоммуникационных систем, остро встали проблемы непосредственного использования и переработки знаний как **информационного ресурса** [1,2]. Последний стал **основным ресурсом** человечества, главной ценностью современной цивилизации. Новым мощным средством использования и превращения знаний в информационный ресурс оказались стремительно развивающиеся **информационные технологии (ИТ)**. Установлено [2], что **эффективность информационных технологий** определяется **интеллектуальным совершенством** компьютеров, степенью их включения в процессы мыслительной деятельности человека. Она возрастает с переходом от машинной обработки **данных** к обработке **знаний** [2,5]. Существует **проблема** создания эффективных интеллектуальных ИТ (ИИТ) третьего поколения (с обучением) на основе использования баз знаний и современных экспертных систем (ЭС), где человек с его творческими возможно-

стями органически включен в компьютеризованную систему использования, переработки и накопления информационного ресурса [1-7].

Цель этой статьи состоит в аргументированном изложении теоретических и конструктивных основ построения ИИТ для поддержки принятия решений технолога в машиностроении на базе использования предложенных автором **квантовых средств инженерии знаний**, в частности, метода вероятных алгоритмических квантов знаний (ВАКЗ-метод) [7]. В работе приведены архитектура и функциональная схема интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) «КВАНТ+» для технологической подготовки производства машиностроительных изделий путем механообработки, аргонодуговой наплавки, листовой и объемной штамповки с компьютерной генерацией соответствующей технологической документации.

ИСППР «КВАНТ+» разрабатывается под руководством автора на кафедре №603 – программно-го обеспечения компьютерных систем (ПОКС) Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» в рамках госбюджетной

темы «**Методологические основы синтеза перспективных конструкций летательных аппаратов на базе современных технологий и материалов**» Министерства образования и науки Украины, выполняемой совместно коллективами ряда кафедр под научным руководством ректора университета профессора Кривцова В.С. В основе разработки лежит **САРЕ-концепция** (Concurrent Art-to-Product Environment), суть которой состоит в построении **единой электронной среды создания изделия от идеи до реализации** путем **интеграции** автоматизированных систем проектирования (**САПР**), технологической подготовки производства (**АСТПП**) и управления (**АСУ**) с использованием знаниеориентированных информационных технологий.

Благодаря единой информационной среде, системности, модульности и гибкости интегрирование указанных систем в единую **САПР / АСТПП / АСУ / ИСППР** – систему позволит принципиально изменить технологию проектирования и производства изделий, существенно сократить сроки их изготовления, снизить затраты на весь жизненный цикл изделий, повысить их качество и обеспечить жизнеспособность предприятия в условиях жесткой рыночной конкуренции. Это достигается за счет повышения точности изготовления изделий и обеспечения взаимозаменяемости процессов, возможности создавать оснастку до полного окончания проектирования, исключения промежуточных носителей геометрии и ручной доводки, а также использования средств искусственной интеллектуализации процесса принятия решений. Особая роль здесь отводится ИИТ, призванным помогать конструктору и технологу принимать решения в условиях многокритериальности выбора и различных неопределенностей, обусловленных неполнотой и нечеткостью данных, преобладанием качественных характеристик производственных ситуаций, недостаточной логической и вероятностной определенностью последствий принимаемых решений и другими факторами. Подоб-

ные проблемы, по определению Г.Саймона [3], называются **слабоструктуризованными** либо **плохо формализуемыми**, для решения которых особую важность приобретает человеческая интуиция. Рассматриваемая в данной работе задача автоматизации проектирования технологических процессов является типичным примером **плохо формализованной проблемы принятия технологических решений**, где не известны надёжные количественные модели и закономерности, описывающие связь конкретной производственной ситуации с соответствующим принимаемым решением. В таких случаях лишь интуиция, опыт и умение технолога как знатока в своей области (эксперта) позволяют найти приемлемое решение. Догадки знающего технолога, основанные на его прошлом опыте, на «чутье», на явных и неявных знаниях, позволяют ему решать плохо формализованные задачи, как известно, на удивительно хорошем уровне. Именно этот факт побудил автора достичь в работе заманчивой цели – **запечатлеть и реализовать умение опытных технологов вместе с достижениями науки в искусственной базе знаний с возможностью передать это умение компьютеру и менее опытным пользователям-технологам**. Иными словами, задача заключается в разработке ИСППР «**КВАНТ+**» как **интеллектуальной ИТ** для автоматизации принятия технологических решений путем имитации умений технолога в рамках создания указанной интегрированной компьютерной **САПР / АСТПП / АСУ / ИСППР** – системы.

## 1. Постановка задачи

Эффективность машиностроительного производства определяется в основном качеством и оперативностью принятия решений в процессах технологической подготовки и управления производством, что непосредственно зависит от эффективности использования существующих **технологических знаний**. Развитие производства и технологической

науки привело и приводит к накоплению значительного объема знаний (информационного ресурса), сосредоточенных в обширной литературе, проектах и технической документации. Однако эффективность использования этих знаний в традиционных автоматизированных системах технологической подготовки производства (ТПП) крайне низка из-за несовершенства современных форм представления, хранения и обработки знаний средствами компьютерной техники. Поэтому наша **задача** в общем сводится к разработке обоснованной **методики знаниеориентированной поддержки принятия технологических решений** с соответствующей **алгоритмизацией**, а также к созданию программного обеспечения (ПО) **новой информационной технологии в виде ИСППР «КВАНТ+»** на базе использования теоретических положений ВАКЗ-метода [7] и результатов экспертного анализа конкретной предметной машиностроительной области.

Синтезируемая ниже методика **интеллектуальной поддержки принятия технологических решений (ИППТР)** обосновывается **содержанием** и общими правилами проектирования основных этапов разработки технологических процессаналогов, типовых, групповых, индивидуальных технологических процессов конкретного производства, а также результатами экспертного анализа производства с учетом отечественного и зарубежного опыта. Собственно разработка **методики ИППТР** базируется на результатах изучения **правил и закономерностей организации технологических процессов**, а также на выявлении **факторов и параметров**, от которых существенно зависит интенсификация производства и повышение качества изделий. Синтез методики **ИППТР** осуществим, соблюдая следующие **принципы**:

1) **эвристической декомпозиции** технологических задач на **формализованные** и **плохо формализованные** с выделением сценариев творческих действий технолога;

2) **обучения** синтезируемой **базы квантов знаний (БкЗ)** на сценарных примерах технологических ситуаций и (или) таблицах эмпирических данных (ТЭД);

3) **алгоритмической имитации** причинно-следственного вывода решений технолога посредством предварительно синтезируемой **БкЗ**.

Алгоритмизация способа обучения **БкЗ** на **сценарных примерах обучающих знаний (СПОЗ)** и процессов принятия технологических решений выполняется согласно **методике ИППТР** средствами инженерии знаний ВАКЗ-метода [7].

Таким образом, **задача** сводится по существу к разработке системы **моделей квантов знаний, алгоритмов** и соответствующего **программного обеспечения (ПО)** для ПЭВМ в целях реализации интеллектуальной поддержки принятия технологических решений посредством «КВАНТ+». Разработка **ПО ИСППР «КВАНТ+»** осуществляется путем реализации синтезированных алгоритмов на ПЭВМ класса «Pentium» средствами объектно-ориентированного программирования.

С другой стороны, наша **проблема** состоит в решении совокупности следующих **трудоемких взаимосвязанных научно-технических задач**:

-синтез **методики ИППТР** в конкретной предметной области;

-построение **квантовых моделей представления знаний** и **методов** алгоритмического **манипулирования** ими;

-создание **способов приобретения** и **извлечения** технологических знаний;

-синтез **алгоритмов обучения на СПОЗ** **искомой БкЗ**, а также **операторов логического причинно-следственного вывода** принимаемых решений посредством **БкЗ**;

-разработка **архитектуры, функциональной схемы** ИСППР «КВАНТ+» и соответствующего программного обеспечения.

## 2. Синтез методики интеллектуальной поддержки принятия технологических решений (ИППТР)

В основу синтеза методики ИППТР положим использование **знаний** о традиционных методах проектирования технологических процессов и эвристических суждений, базирующихся на интуиции и опыте технолога с использованием справочных данных и нормативных материалов. По существу методика носит характер **правил и рекомендаций** со сложными логическими взаимосвязями действий технолога на всех этапах его работы, связанных с поиском информации, стандартными расчетами, творческими логическими многоступенчатыми рассуждениями и принятием решений с машинной генерацией технологической документации.

Синтез методики ИППТР является сложным, трудоемким творческим процессом выработки **правил, рекомендаций и действий** по организации **типовых, групповых, единичных технологических процессов и операций-аналогов**, а также **индивидуального проектирования**, которое осуществляется при отсутствии типового или группового, либо технологического процесса-аналога. Особую **трудность** при этом составляют **творческие действия технолога**: представление детали как комплекса взаимосвязанных элементов и поверхностей, определение технологических процессов обработки каждой поверхности, а затем формирование на их основе операций с указанием их очередности и соблюдением стандартов Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). При формировании технологических операций и их последовательности на различных этапах необходимо учесть влияние большого числа факторов, например, технологические возможности применяемого оборудования и оснастки, форма и размеры детали, величина партии выпускаемых деталей, традиции завода, особенности цеха и т.п. Это вызывает разделение **синтеза технологического маршрута** на ряд задач, дифференцированно учитывающих указан-

ные факторы. Иными словами, для реализации **синтеза методики ИППТР** предлагаем выполнять следующие действия:

- 1) **провести** направленный экспертный анализ данной предметной области, связанный с целью технологической подготовки к выполнению конкретного производственного задания (штамповка, механообработка и т.п.);
- 2) по результатам проведенного анализа **сформировать** входную информацию относительно ТПП (конструкторская документация на изделие: чертежи, технические условия, плановое задание на изготовление), необходимые целевые установки, критерии и **составить (описать) полный сценарий действий технолога (ПСДТ)**, необходимых для выполнения данного производственного задания;
- 3) согласно 1-му принципу синтеза методики с учётом целевых установок **выполнить** эвристическую декомпозицию ПСДТ на предопределённые (**формализуемые**) и творческие (**плохо формализуемые**) действия (последние относятся к ситуациям, когда требуется принимать технологические решения в условиях неопределённости);
- 4) в **предопределённых** ситуациях **осуществить** традиционную алгоритмизацию действий технолога, а в **творческих** ситуациях **выделить** предметные подобласти и **сформулировать** соответствующие частные задачи знаниеориентированной поддержки принятия технологических решений в рамках идеологии РАКЗ-методов инженерии знаний [6,7] с соблюдением 2-го и 3-го принципов синтеза **методики ИППТР**;
- 5) каждая частная задача решается по методике ВАКЗ-метода [7]: сначала **выбирают** посылочные (**входные**) и заключительные (**целевые**) ситуации, затем с помощью экспертов **формируют** соответствующие СПОЗ, по которым **обучают** логическую сеть, например, **вероятных рассуждений (ЛСВР)**, и после автоматического квантования с оптимизацией **получают** v-квантовую сеть вывода

решений (**v-КСВР**),используемую одновременно в качестве частной **БкЗ** и **механизма вывода**;

б) **сформировать** секционированную **БкЗ** путём объединения всех частных **БкЗ** для излагаемой ниже общей методики решения поставленной задачи.поддержки принятия технологических решений при выполнении производственного задания в рамках

**3. Общая методология решения поставленной задачи**

Созданная автором общая методология квантового моделирования и алгоритмизации знание-ориентированного принятия решений в условиях неопределенности [6,7] базируется на построении введенного обобщенного класса

$M = \{M_t, M_\pi, M_v\}$  различных **РАКЗ-моделей**, удовлетворяющих специфическим ограничениям в подклассах:  $M_t$  – точных **тк-знаний**,  $M_\pi$  – приближенных **пк-знаний** и  $M_v$  – вероятностных **vk-знаний**. В отличие от существующих подходов появилась возможность создания эффективных **РАКЗ-моделей** и **РАКЗ-методов** представления и компьютерного манипулирования квантами знаний (**к-знаниями**) в строго формализованном классе **M** алгоритмических квантовых структур разноуровневой сложности. **Общность методики** обусловлена **общим принципом** автоматического векторно-матричного квантования различных уровней информации с **доменным** представлением характеристики объектов принятия решений (**ОПР**), **единой**

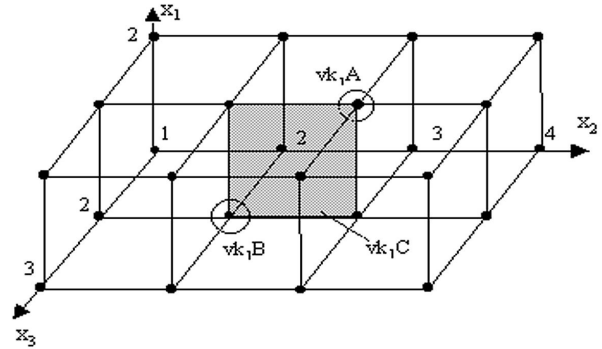


Рис. 1. Квантовое пространство РАКЗ-моделей 2x4x3-размерности для трех признаков  $x_1, x_2, x_3$  ОПР

**структурой** пространства РАКЗ-моделей, показанного на рис. 1, единым их аналитическим **конечно-предикатным представлением**, а также общей индуктивно-дедуктивной логической схемой вывода искомых решений.

Общая индуктивно-дедуктивная логическая схема причинно-следственного вывода искомых решений иллюстрируется на рис.2.

Квант знаний 1-го уровня представляет собой осмысленную, поименованную структуру данных в виде конечного вектора, домены которого разделены двоеточием «:» и отвечают разнотипным признакам ОПР, а компоненты доменов – значениям признаков так, что *i*-я компонента *j*-го домена должна содержать «1», если наблюдается *i*-е значение *j*-го признака, иначе *i*-я компонента равна «0». Согласно **семантике** кванта, т.е. содержанию описанной им технологической ситуации, его домены логически связаны **конъюнкцией** (символ «:»), а соответствующие компоненты в домене – **дизь-**

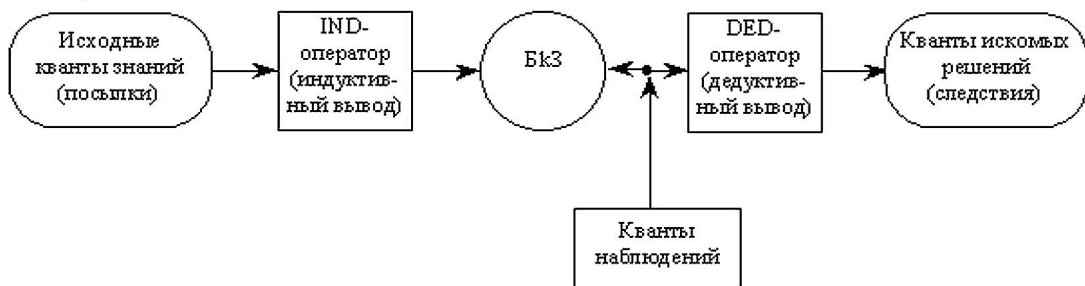


Рис. 2. Общая схема причинно-следственного вывода решений

**юнкцией** (символ «,»). Если каждый домен **кванта 1-го уровня** содержит строго по одной «1», то он называется **элементным**, в противном случае – **интервальным** векторным квантом.

Например, точкам А и В пространства РАКЗ-моделей на рис.1 соответствуют точные (обведенные кругами) **элементные векторные кванты 1-го уровня** с указанными символьными семантическими кодами  $tk_1A$  и  $tk_1B$  и именами А и В соответственно:

$$tk_1A = \left[ \overbrace{01}^{x_1} : \overbrace{0010}^{x_2} : \overbrace{010}^{x_3} \right], \quad (1)$$

$$tk_1B = [10 : 0100 : 010]. \quad (2)$$

Заштрихованному интервалу С отвечает точный **интервальный** векторный квант 1-го уровня  $tk_1C$  с именем С:

$$tk_1C = \left[ \overbrace{11}^{x_1} : \overbrace{0110}^{x_2} : \overbrace{010}^{x_3} \right], \quad (3)$$

который можно представить **матричным вероятным** квантом ( $v$ -квантом) **2-го уровня** с 4-мя **элементными векторными**  $v$ -квантами **1-го уровня**

$$vk_2C = \left[ \begin{array}{l} \overbrace{[0,1|p_2^1 : 0,0,1|p_3^2,0 : 0,1|p_2^3,0]}^{x_1} \\ [1|p_1^1,0 : 0,0,1|p_3^2,0 : 0,1|p_2^3,0] \\ \overbrace{[0,1|p_2^1 : 0,1|p_2^2,0,0 : 0,1|p_2^3,0]}^{x_2} \\ [1|p_1^1,0 : 0,1|p_2^2,0,0 : 0,1|p_2^3,0] \end{array} \right], \quad (4)$$

где символика « $1|p_i^j$ » означает **вероятность** **i-го** значения **j-го** признака технологического ОПР.

На основе использования алгебраических формализмов вида (1) – (4) поставлены и решены **базовые задачи квантовой формализации знаний: (A<sub>r</sub>-,A<sub>π</sub>-,A<sub>v</sub>-задачи)**, а также выполнена алгоритмизация построения **БкЗ** в режиме обучения и вывода по схеме рис.2 идентификационных (**В-**

**задача**) и прогнозных (**С-задача**) решений соответственно для **tk**-знаний, **πk**-знаний и **vk**-знаний [7]. Принятие **приближенных идентификационных (В<sub>π</sub>-задача)** и **прогнозных решений (С<sub>π</sub>-задача)**, а также **вероятных идентификационных (В<sub>v</sub>-задача)** и **прогнозных решений (С<sub>v</sub>-задача)** осуществляется с помощью **π-квантовых** сетей вывода решений (**π-КСВР**) и **v-квантовых** сетей вывода решений (**v-КСВР**) соответственно, которые обучаются на **СПОЗ**. В работах [6,7] даны строгие определения **π-КСВР**, **v-КСВР**, **СПОЗ** и обоснованы методы их построения соответствующими **IND** – и **DED** – операторами с применением предложенных алгоритмов обучения (**АЛОБУЧ**), автоматического квантования (**АЛАКВА**), оптимизации (**АЛОПТ**) и управления (**АЛУПР**).

На базе использования ПЭВМ средней мощности, предложенной квантовой методологии принятия решений с помощью **БкЗ**, средств объектно-ориентированной среды Borland Pascal 7.0 и Delphi 5.0 на кафедре №603–ПОКС в ХАИ уже созданы интерактивные программные комплексы (ИПК) «П-КВАНТ», «V-КВАНТ», которые внедрены в учебный процесс ХАИ и ряда университетов Украины, а также в авиационное производство «АВИАНТ» и АНТК «АНТОНОВ» (г. Киев). На основе совершенствования предыдущего опыта развёрнуты работы по созданию ИСППР, ориентированной на автоматизацию технологической подготовки аэрокосмического производства. Разработан исследовательский прототип ИПК «КВАНТ+», архитектура и функциональная схема которого отражены на рис.3. Особенностью архитектуры является наличие секционированной **БкЗ** для принятия решений при штамповке (листовой и объемной), механообработке, наплавке, а также системы мониторинга производства, включающей в себя динамическую экспертную систему (ДЭС) с интеллектуальным агентом, которые обеспечивают поддержку принятия технологических решений в режиме реального времени.

Секционированная **БкЗ** допускает расширение путем добавления новых секций в зависимости от увеличения объема частных задач технологической подготовки производства благодаря наличию подсистем обучения и дообучения на знаниях. Интеллектуальный агент режима реального времени (РВ) выполняет функции, которые делегирует ему

ДЭС в целях принятия технологических решений в динамических ситуациях конкретного производства.

Система мониторинга производства имеет собственную базу данных (БД), которая посредством специального интерфейса взаимодействует с производственной БЗ ДЭС при динамическом формировании решений.

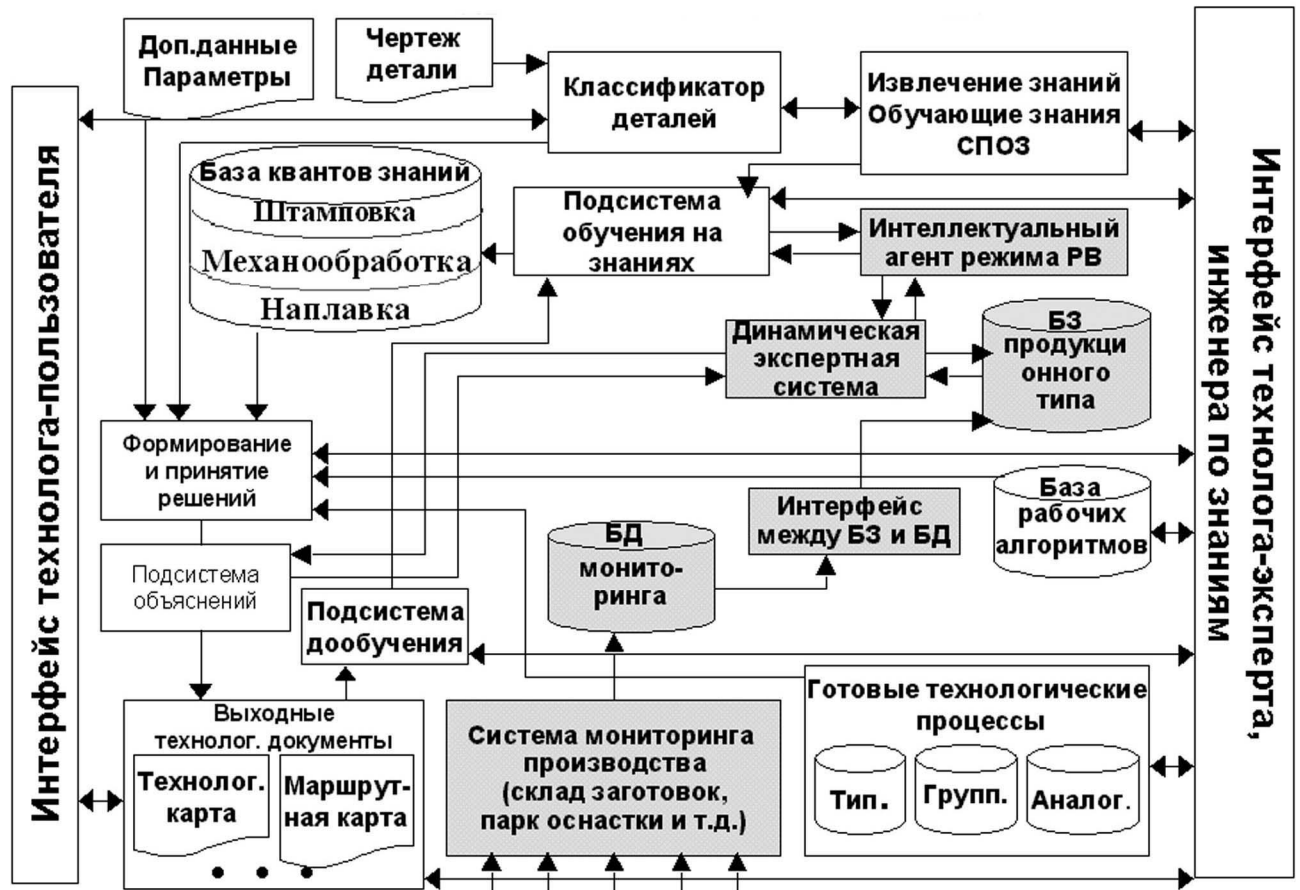


Рис. 3. Функциональная схема интеллектуальной системы поддержки принятия решений «КВАНТ+» для технологической подготовки авиационного производства

Схема интеграции прототипа ИСППР «КВАНТ+» с CAD/CAM-системами и ДЭС при технологической подготовке машиностроительного производства показана на рис.4. Указанная интеграция состоит в организации взаимоувязанных процессов сбора, приобретения, извлечения необходи-

мой информации (знаний), ее хранения и переработки на соответствующих пяти уровнях, включая процесс принятия технологических решений с участием интеллектуального агента и автоматической генерацией выходных технических документов.

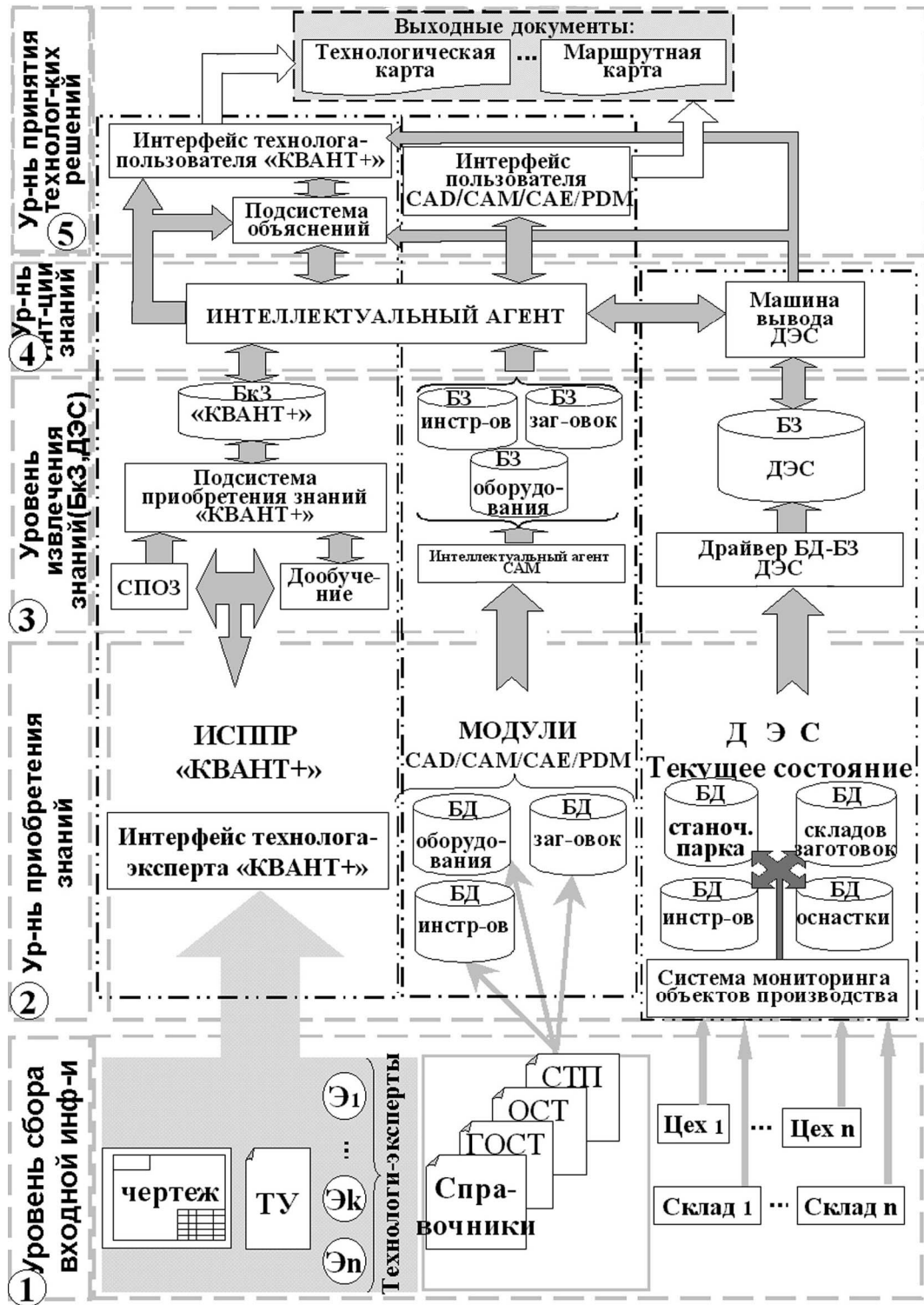


Рис. 4. Схема интеграции ИСППР «КВАНТ+», CAD/CAM и ДЭС для ТПП



### Заключение

Развиваемые в ХАИ ИПК «**П-КВАНТ**», «**V-КВАНТ**» и «**КВАНТ+**» составляют ядро новой информационной технологии инженерии знаний, которая, в отличие от известной нейросетевой технологии, строится проще путем синтеза **логических сетей** нечётких или вероятных рассуждений, способных оперативно обучаться по сценарным примерам производственных ситуаций и трансформироваться в **базы квантов знаний** с адаптирующимися структурами для эффективного вывода решений в условиях неопределённости. С помощью указанных ИПК при решении ряда тестовых и практических задач получены результаты сравнения с известными аналогами предложенных **пРАКЗ** – и **vРАКЗ** – моделей, показавшие высокую адекватность и эффективность последних [6,7]. Преимущества **РАКЗ-метода** принятия решений состоят в **уменьшении** среднего риска **на порядок**, **увеличении** скорости процесса обучения в **2,5** раза и **сокращении** объема памяти **БкЗ** в **1,5** раза благодаря применению введенных машинных алгебр над **квантами знаний**.

### Литература

1. Громов Г.Р. Национальные информационные ресурсы: проблемы промышленной эксплуатации – М.: Наука, 1985. – 235 с.
2. Каныгин Ю.М., Калитич Г.И. Основы теоретической информатики. – К.: Наук. думка, 1990. – 230 с.
3. Саймон Т. Наука об искусственном. – М.: Мир, 1972. – 384 с.
4. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. – М.: Наука – Физматлит. 1996. – 208 с.
5. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: СИНТЕГ, 1998.– 376 с.
6. Сироджа И.Б., Петренко Т.Ю. Метод разноразмерных алгоритмических квантов знаний для

принятия производственных решений при недостатке или нечеткости данных. – К.: Наук. думка, 2000. – 247 с.

7. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 490 с.

*Поступила в редакцию 15.01.03*

**Рецензенты:** д-р техн. наук, профессор Пуятин Е.П., ХНУРЭ, г. Харьков; д-р техн. наук, профессор, Кулик А.С., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков.