

АВІАЦІЙНА Й КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 004.8:004

А.А.Бабушкин

И.Б.Сироджа, д.т.н.

А.И.Бабушкин, д.т.н.

ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

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

Изложены результаты исследования и разработки знаниеориентированной информационной технологии в виде исследовательского прототипа ИСППР «СОЛА», предназначенной для компьютерной поддержки конструкторско-технологических решений при создании сборочных приспособлений в самолетостроении. Сформулированы и решены с помощью ИСППР «СОЛА» отдельные тестовые и производственные задачи принятия решений при создании СП ЛА с целью практической апробации и экспериментального подтверждения работоспособности и эффективности системы.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства самолетов, сборочное приспособление, инженерия квантов знаний, поддержка принятия решений, программное обеспечение.

Актуальность проблемы и состояние ее разрешения

Проблема принятия решений при создании сборочных приспособлений (СП) в самолетостроении, как сложных технических систем (СТС), заключается в том, чтобы из множества альтернативных путей достижения поставленной цели выбрать наиболее технически и экономически эффективные решения и создать высококачественные СП с минимальными трудовыми, временными и материальными затратами при их проектировании, конструировании и изготовлении.

Разрешение этой актуальной проблемы для самолетостроения, как показано в ранее опубликованных наших работах [3, 4, 5], может быть достигнуто современными информационными технологиями на основе использования знаниеориентированного метода разноуровневых алгоритмических квантов знаний (РАКЗ-метод) [1, 2] и разработанной авторами Концепции методологии построения знаниеориентированной компьютерной системы поддержки принятия решений (СППР) при создании СП [6]. Согласно концепции создания СППР-СП и разработанного графа знаний (КИГТЗ), представляющего собой главный сценарий формирования причинно-следственных решений при создании СП, поставлены и решены задачи: 1) формализации и синтеза t-квантовой модели функционирования и управления СППР-СП [7], 2) формализации и разработки t-квантового метода иерархической поддержки принятия решений при создании СП [8].

Эти теоретические разработки позволили создать функциональную схему и программное обеспечение исследовательского прототипа знаниеориентированной информационной технологии ИСППР «СОЛА», суть которой состоит в следующем.

Постановка задачи

Для создания ИСППР «СОЛА» разработать принципиальную функциональную схему и архитектуру с диалоговым интерфейсом и режимами функционирования системы, программное обеспечение (ПО), провести экспериментальное и производственное апробирование системы.

Назначение, архитектура, функциональная схема и режимы функционирования ИСППР «СОЛА»

Как интерактивный программный комплекс ИСППР «СОЛА» предназначен для компьютерной поддержки принятия достоверных решений в задачах распознавания и прогнозирования технологических, конструкторских и производственных ситуаций при создании сборочных приспособлений (СП).

Входные данные для ИСППР «СОЛА» формируются из сообщений экспертов и пользователей конкретной предметной области, баз данных из других источников в виде

входных файлов доменизированных матриц «объект-признак» [2, 6, 8], а также закономерности данной предметной области, которые представляют исходные tk-знания.

Выходная информация ИСППР «СОЛА»:

- новые знания-следствия, т.е. искомые решения в форме tk-знаний (tPAK3-моделей), выводимые посредством точной квантовой сети вывода решений (tКСВР-СП) из посылочной информации о t-квантах;
- выходной файл самой tКСВР-СП как системы обнаруженных при обучении устойчивых функциональных закономерностей.

Разработка ИСППР «СОЛА» выполнена на базе использования ПЭВМ типа «Pentium».

Архитектура ИСППР «СОЛА» полностью отвечает современной концептуальной модели ИСППР [2, 7, 8]. Она содержит типовые блоки: 1) интерфейс «пользователь-система», 2) база данных, 3) база tk-знаний, 4) блок логического вывода и принятия решений, 5) блок объяснений и представлена на рис.1.

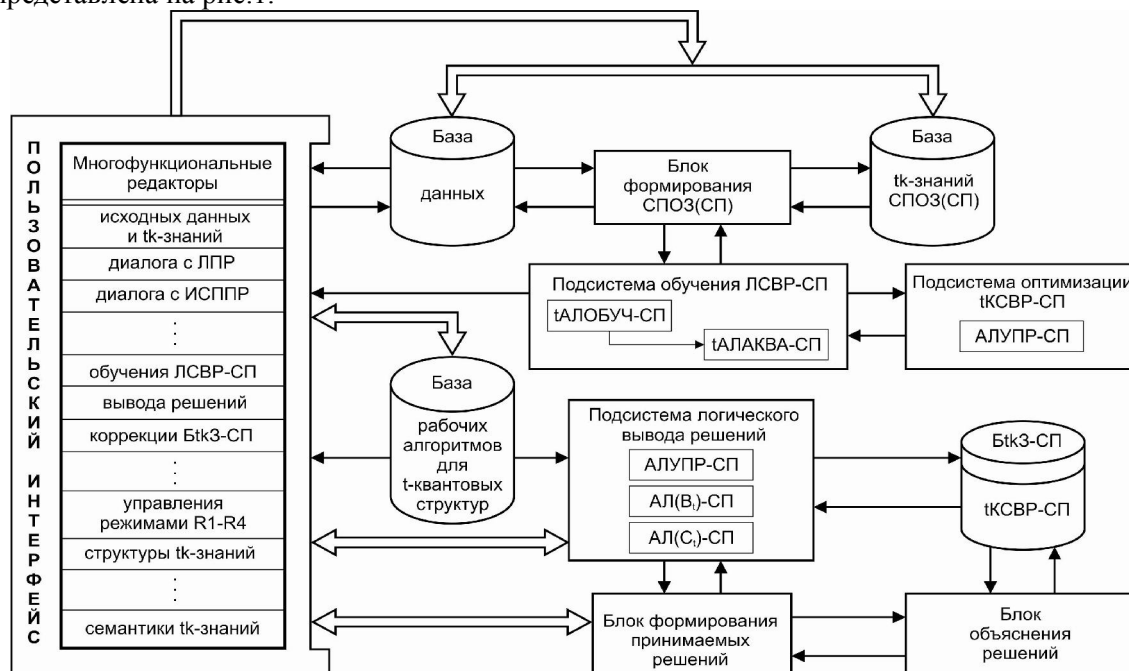


Рис.1 Общая архитектура и функциональная схема ИСППР «СОЛА»

⇔ – управление; → – функциональные связи

Многофункциональный пользовательский интерфейс представляет собой способную к расширению программу, позволяющую через систему ниспадающих меню выполнять широкий спектр функций редактирования исходных данных и tk-знаний, структуры и семантики t-квантов знаний, наблюдений за объектом принятия решения (ОПР), а также осуществлять обмен и управление информацией между «широким» пользователем и системой.

Основные режимы функционирования ИПК «СОЛА»: «штатный» (R1), дообучение (R2), «переобучение» (R3) и «так держать» (R4) описаны в работах [1, 2]. Выполнение указанных режимов обеспечивают блоки и подсистемы, составляющие архитектуру ИСППР (см. рис.1).

База данных во взаимодействии с блоком формирования сценарных примеров обучающих знаний (СПОЗ-СП) посредством интерфейса обеспечивают подготовку к автоматической генерации обучаемой логической сети возможных рассуждений (ЛСВР-СП).

Подсистемы обучения ЛСВР-СП и оптимизации совместными действиями выполняют генерацию ЛСВР-СП СПОЗ(СП) и ее трансформацию в оптимальную t-квантовую сеть вывода решений (t-КСВР-СП) с помощью соответствующих алгоритмов обучения, квантования и оптимизации (tАЛОБУЧ-СП, tАЛАКВА-СП и tАЛОПТ-СП) [1, 2].

На основе tКСВР-СП формируется база tk-знаний Бтк3-СП как механизм причинно-следственного вывода решений по наблюдениям за ОПР.

Подсистема логического вывода решений непосредственно реализует этот механизм посредством алгоритмов $АЛ(V_i)$ (вывод идентификационных решений) и $АЛ(C_i)$ (вывод

прогнозных решений) под управлением алгоритма управления (tАЛУПР-СП) и взаимодействием с базой рабочих машинных алгоритмов. Последняя служит для алгоритмического обеспечения t-квантов-событий, содержащих процедурные знания и графические файлы.

Блок формирования принимаемых решений организует выдачу сообщений о целевых заключениях в выходной файл. В выходном файле также содержатся текстовая формулировка с графическим пояснением окончательно принимаемых решений в заданном формате.

Блок объяснений обеспечивает ответ на вопрос «ПОЧЕМУ?» путем раскрытия содержания соответствующего t-кванта при движении суперпозицией ко входам tКСВР-СП по цепи вывода данного решения из заданных посылок.

Программная реализация основных функциональных модулей ИПК «СОЛА»

Инструментальные средства для разработки ИСППР «СОЛА» включают языки Borland Paskal 8.0 и Delphi 5.0, а также пакет Microsoft Visual Studio 2003. Выбор этих средств мотивируется тем, что указанные версии включают в себя простую и удобную диалоговую оболочку, позволяющую эффективно отлаживать программы на уровне исходных текстов и оптимизировать их, повышая производительность. Кроме того, эти средства позволили применить при разработке ИСППР прогрессивный объектно-ориентированный подход (ООП) к программированию, позволяющий повысить производительность труда программиста и сократить затраты на сопровождение программного обеспечения ИСППР. Поэтому все элементы ИСППР «СОЛА» реализованы в виде нескольких объектов. Иерархия объектов представлена структурной схемой на рис.1. При этом большинство используемых в программе объектов имеют один базовый тип TObject. Выбор этого типа в качестве базового рекомендован в описании библиотек Turbo Vision. Исходные данные поступают для обработки в ИСППР в виде трех текстовых файлов: *.SMK, *.FCT, *.ZPR (* – это любое имя файла).

Экспериментальное использование ИСППР «СОЛА» для решения тестовых задач

Для тестовой проверки компьютерной поддержки производственных решений при создании СП использована математическая теория инженерии квантов знаний (ИКЗ) [1, 2], наполненная инженерным содержанием знаниеориентированной методологии принятия решений в технологической подготовке производства самолетов.

В КИГТЗ (см.[6]) автором выделены три основные (узловые) блока компьютерного принятия комплексных решений: 1 – технологический; 2 – конструкторский; 3 – производственный, которые экспериментально проверялись с помощью ИСППР «СОЛА» на тестовых задачах правильности поддержки решений.

На схеме, изображенной на рис.2, приведен пример ЛСВР-СП при формировании комплексных решений для разработки основного документа «ТУ на проектирование СП». Несмотря на очевидную громоздкость содержательной трактовки этой ЛСВР-СП приведем описание семантики соответствующего комплексного решения. Вот его смысл: «ЕСЛИ разработано ТЗ на сборку рассматриваемой сборочной единицы (СЕ) (6) И профессионально выбран метод сборки СЕ (11) ИЛИ «от обшивки» (7), ИЛИ «от каркаса» (8), ИЛИ «по УФО» (9), ИЛИ «с помощью робототехники» (10), И в качестве методов преноса форм и размеров (16) принят эталонно-шаблонный (12), ИЛИ плазово-шаблонный (13), ИЛИ координатно-шаблонный (14), ИЛИ электронно-цифровой (15), И тип СП (21) ИЛИ стационарный (17), ИЛИ переналаживаемый (18), ИЛИ трансформируемый (19), ИЛИ сборно-разборный (20), И определен вид СП (26) ИЛИ колонно-балочный (22), ИЛИ ферменный (23), ИЛИ комбинированный (24), ИЛИ механизированный (25), И выбран технологический процесс сборки данной СЕ (31) с указанием И металлоемкости (27) СП, И его энергоемкости (28), И производительности (29), И экономических требований к СП (30), ТО перечисленные методы, типы и виды СП в совокупности с разработкой технологического процесса сборки СЕ составляют содержание создаваемого основного документа – «ТУ на проектирование СП для сборки данной СЕ».

На основе подобного подхода к формированию комплексного решения для определенного ОПР было сформулировано множество сценарных примеров обучающих знаний (СПОЗ) для экспериментальной проверки правильности алгоритмического построения указанной на рис.2

ЛСВР-СП в режиме обучения. Один из вариантов СПОЗ (СП), обладающих структурной полной относительно алгоритмического процесса обучения компьютера синтезу ЛСВР-СП для трансформации ее в tКСВР-СП относительно «ТУ на проектирование СП» имеет следующий вид:

1. ЕСЛИ имеется чертеж СЕ (1) И готово ТЗ (6) на сборку СЕ, И выбран требуемый метод сборки СЕ (11), И приняты методы переноса форм и размеров (16), И разработан технологический процесс сборки СЕ (31) с указанием допустимых показателей металлоемкости, энергоемкости, производительности и экономических требований к СП, ТО принять решение о чистовом оформлении ТУ (32) на проектирование СП.

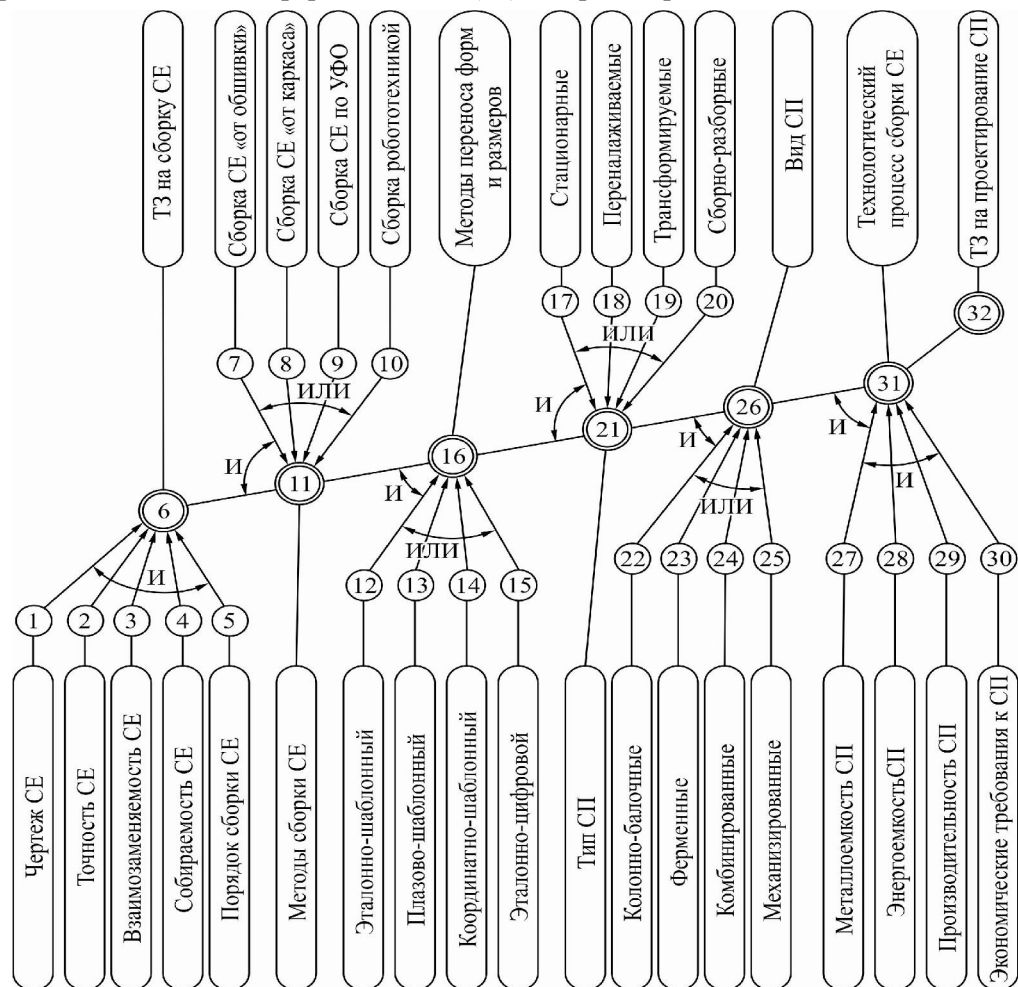


Рис.2. Логическая сеть возможных рассуждений (ЛСВР) при формировании комплексных решений относительно разработки ТУ на проектирование СП

2. ЕСЛИ известно ТЗ (6) на сборку СЕ И сборка СЕ по УФО (9) ИЛИ робототехникой (10), ТО принять промежуточное решение (11).

3. ЕСЛИ метод переноса размеров эталонно-шаблонный (12) ИЛИ координатно-шаблонный (14), ТО принять промежуточное решение (16).

4. ЕСЛИ тип СП стационарный (17) ИЛИ сборно-разборный (20), ТО принять промежуточное решение (21).

5. ЕСЛИ вид СП ферменный (23) ИЛИ колонно-балочный (22), ТО принять промежуточное решение (26).

6. ЕСЛИ определены требуемые показатели металлоемкости СП (27), И производительности СП (29), И экономических требований к СП (30), ТО принять промежуточное решение о готовности разработки технологического процесса сборки СЕ (31) для включения его в завершающий технологический документ ТУ (32). Конец.

Производственное использование ИСППР «СОЛА» с целью поддержки принятия решений на примере создания СП для сборки оконной панели фюзеляжа самолета Ту-134А (задача «ОПФС»). Производственная задача «ОПФС» в рассматриваемом примере ставится так.

Известны:

1) Разнотипные признаки (характеристики) посылочных ситуаций относительно исходных производственных объектов принятия решений (ОПР) при изготовлении СП для оконной панели фюзеляжа самолета. Количество исходных ОПР в задаче «ОПФС» составляет 46 штук: $(e_1 \div e_{46})$, которые описаны в КИГТЗ [6] и характеризуют 10 комплексных ОПР: (1) ТУ на сборку СЕ; (2) ТП сборки СЕ; (3) ТУ на проектирование СП для ОПФС; (4) Технические предложения на проектирование СП (ТехП); (5) Эскизный проект СП (ЭП); (6) Электронно-алгоритмический облик СП (ЭАО); (7) Рабочий проект СП (РП); (8) ТУ на изготовление СП; (9) Технологический процесс изготовления СП; (10) Готовое СП.

2) Промежуточные ОПР $C(1) - C(9)$ как промежуточные следствия со своими собственными СПОЗ(СП): $C(1) \leftarrow \text{ЕСЛИ } e_1 \text{ И } e_2 \text{ И } e_3 \text{ И } e_4 \text{ И } e_5$; $C(2) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(1) \text{ И } e_6 \text{ И } \dots \text{И } e_{10}$; $C(3) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(2) \text{ И } e_{11} \text{ И } \dots \text{И } e_{16}$; $C(4) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(3) \text{ И } e_{17} \text{ И } \dots \text{И } e_{22}$; $C(5) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(4) \text{ И } e_{23} \text{ И } \dots \text{И } e_{26}$; $C(6) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(5) \text{ И } e_{27} \text{ И } \dots \text{И } e_{32}$; $C(7) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(6) \text{ И } e_{33} \text{ И } \dots \text{И } e_{37}$; $C(8) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(7) \text{ И } e_{38} \text{ И } \dots \text{И } e_{41}$; $C(9) \leftarrow \text{ЕСЛИ } C(8) \text{ И } e_{42} \text{ И } \dots \text{И } e_{44}$.

3) Целевой ОПР (C_1) как искомое целевое решение относительно создания требуемого СП для сборки ОПФС с необходимым СПОЗ(СП):

ЕСЛИ СЕ=ОПФС И $C(1)$ И $C(3)$ И $C(6)$ И $C(7)$ И e_{45} И e_{46} ТО $C_1 = \text{СП}_{(\text{ОПФС})}$.

4) Контрольная выборка t_k -знаний T_k ($m_k = 50$, $N = 32$) наблюдаемых ситуаций с $n = 46$ посылками $e_1 \div e_{46}$ и $S = 1$ целевым следствием C_1 , а также критерий эффективности $K_s \leq 10\%$ ошибочных решений на контрольной выборке T_k .

5) Допустимая пороговая величина математического ожидания $M_F^* = 10^{-3}$ оценки сверху достоверности D_F гипотезы о существовании функциональных закономерностей в форме tКСВР-СП g -го ранга, судя по объему $(m \times N) = (120 \times 32)$ обучающих ситуаций.

Требуется определить, в соответствии с формулами (1) и (2), эффективное решение $z_{\text{эф}} \in Z$ задачи «ОПФС» по критерию K_s , определяемое с помощью пяти tКСВР-СП, полученных при обучении компьютера на пяти модификациях заданного СПОЗ(СП) в данной задаче.

Формула (модель) оценки эффективности альтернативных решений из [1] имеет вид:

$$\Phi(z) = Q \left[K_s \left(\bigvee_{i=1}^s F_i(\varphi(X), B_i) \right) \right], \quad (1)$$

где $\varphi(X)$ – бинарные предикаты, описывающие t -квантовые события в путях графа G_{tk} , т.е. в рассуждениях относительно принимаемых решений C_i в t-КСВР; B_i – кортеж параметров модели, описывающих количество вершин (t -квантов) в t-КСВР и логику в сети G_{tk} ; Q – оператор реализующий структуру модели и выбранную методику вычисления интервальных оценок критерия эффективности решений; K_s – критерий эффективности, который характеризует полезность комплекса целенаправленных решений $\{z_j\} = t\text{-КСВР}$.

В нашем случае при использовании достоверных t_k -знаний условия их неполноты, неточности, неизвестности информативных признаков ОПР с интервальными значениями, будем производить выбор эффективного решения $z_{\text{эф}} \in Z$ на основе обработки интервальных значений полезности решений согласно формуле:

$$z_{\text{эф}} = \arg \min_{z \in Z} Q[\Phi(z)], \quad (2)$$

где $z_{\text{эф}}$ – представляет собой рациональную t-КСВР, которая обеспечивает вывод системы S целевых следствий (решений) с минимальной вероятностью ошибочных решений на контрольной выборке.

Решение поставленной задачи «ОПФС» выполняем согласно методу иерархической поддержки принятия знаниеориентированных решений при создании СП ЛА средствами ИКЗ с использованием ИСППР «СОЛА».

Сначала убеждаемся, что объем выборочных обучающих tk-знаний $T_0(m, N) = (120 \times 32)$ соответствует максимальному рангу $r_{\max} = 6$, т.к. при подстановке в формулу (1) заданных значений $m=120$ наблюдений, $N=32$ значений признаков и $M_F^* = 10^{-3}$ выполняется оценка достоверности D_F при $r_1=2, r_2=3, r_3=4, r_4=5$ и $r_5=r_{\max}=6$. На этом основании в диалоге с экспертами при обучении компьютера на 5-ти модификациях заданного СПОЗ(СП) наилучшей модификацией по критерию K_s оказалась рациональная модификация СПОЗ(СП) вида:

$$\text{ЕСЛИ } CE \text{ И } C(1) \text{ И } C(3) \text{ И } C(7) \text{ И } C(9) \text{ И } e_{45} \text{ И } e_{46} \text{ ТО } C_1 = \text{СП}. \quad (3)$$

На основе использования модификации СПОЗ(СП) (3) с помощью алгоритма tАЛОБУЧ-СП синтезирована лучшая ЛСВР-СП, которая после трансформации посредством алгоритма tАЛАКВА-СП обеспечила получение самой эффективной по критерию K_s tКСВР-СП. Именно она и обеспечивает вывод эффективного решения $z_{\text{эф}} \in Z$ задачи «ОПФС» с минимальным числом ошибочных решений (8%) на контрольной выборке $T_k(50, 32)$.

Далее приводим фрагмент выходного файла $\Phi_{\text{tКСВР-СП}}$, сгенерированный действующей ИСППР «СОЛА» и содержащий символьное представление tk-знаний, которые описывают рациональное комплексное целевое решение $z_{\text{эф}} = C_1$ одним составным t-квантом 2-го уровня (матричным) с именем $tk_2C_1(\text{СП})$ по правилам записи [2]:

$$tk_2C_1(\text{СП}) = [tk_1CE, \emptyset : tk_1C(3), \emptyset : tk_1C(7), \emptyset : tk_1C_1^n, \emptyset : \emptyset : (\gamma_1^n; A(C_1^n); \emptyset)]. \quad (4)$$

Домены составного t-кванта (4) в свою очередь имеют следующее собственное содержательное наполнение в виде векторных tk_1 -знаний 1-го уровня:

$$tk_1CE = [\emptyset, \emptyset : Ш, \emptyset : b, \emptyset : CE^n, \emptyset : \dots] = [100, \emptyset : 010, \emptyset : 001, \emptyset : 1000, \emptyset : (\gamma_1^{11}; A(CE); \emptyset)];$$

$$tk_1C(3) = [C(1), \emptyset : C(2), \emptyset : C^n(3), \emptyset : \dots] = [10000, \emptyset : 01000, \emptyset : 10, \emptyset : (\gamma_1^{12}; A(3); \emptyset)];$$

$$tk_1C(7) = [C(3), \emptyset : C(4), \emptyset : C(5), \emptyset : C(6), \emptyset : C^n(7), \emptyset : \dots] = [10, \emptyset : 01, \emptyset : 01, \emptyset : 01, \emptyset : 10 : (\gamma_1^{13}; A(7); \emptyset)];$$

$$tk_1C_1^n = [C(7), \emptyset : C(8), \emptyset : C(9), \emptyset : e_{45}, \emptyset : C_1^n, \emptyset : (\gamma_1^{14}; A(C_1^n); \emptyset)] = [10, \emptyset : 10000, \emptyset : 010, \emptyset : 01, \emptyset : 10, \emptyset : (\gamma_1^{14}; A(\text{ОПФС}); \emptyset)].$$

Описание смыслового содержания приведенных доменов семантика составного целевого t-кванта $tk_2C_1(\text{СП})$ (4) имеет следующий вид:

«ЕСЛИ конструктивно-технологическая характеристика $CE=\text{ОПФС}$ И требуемые геометрические, И точностные параметры CE , И заданная последовательность сборочных операций, И принятая взаимозаменяемость деталей CE , И собираемость CE привели к написанию $C(1)=\text{ТУ}$ на сборку CE ; И на основании использования требуемых методов сборки CE , И необходимых средств сборки, И методов увязки форм и размеров в соответствии со схемой сборки, И соблюдении условий работы при сборке определен $C(2)=\text{ТПр}$ сборки CE ; И на основании известного назначения СП, И заданных требований к точности СП, И на основе рекомендуемого типа СП, И выбранного вида БФУ в СП, И соблюдении требований к удобству работы в СП, а также к безопасности и энергообеспечению СП разработаны $C(3)=\text{ТУ}$ на проектирование СП; И ЕСЛИ на основании чертежа CE и характеристик последовательности сборки, И конфигурации СП относительно положения CE в СП, И согласно проектным параметрам СП, а также структурному составу СП, И предварительной экономической оценке СП, И определенности закладки деталей составлены $C(4)=\text{Техн.предложения}$ на проектирование СП; И на базе использования геометрической конфигурации расположения элементов СП, И функциональной характеристики элементов СП, а также их конструкционных материалов, И, учитывая принципиальное видение проекта СП, разработан $C(5)=\text{эскизный проект}$ СП; И на основе использования аналитической модели сборки CE в СП И модели расчета точности

изготовления СП, а также моделей для вычислений мест расположения БФУ, силового нагружения СП, прочности и жесткости элементов СП, И модели увязки форм и размеров с учетом рекомендаций по выбору стандартных элементов СП сформирован $S(6)=ЭАО$ (электронно-алгоритмический облик) СП; И на основании использования выбранных стандартных элементов каркаса, БФУ, а также дополнительных устройств. И выбора типовых средств механизации, И, наконец, изготовления рабочих чертежей СП выполнен $S(7)=РП$ (рабочий проект) СП; И ЕСЛИ с учетом известных назначения и функций СП, И точности изготовления СП, а также монтажа, И условий монтажных работ, И взаимозаменяемости и ремонтпригодности СП составлены $S(8)=ТУ$ на изготовление СП; И с помощью выбранных средств изготовления и контроля элементов СП, а также монтажа и контроля всего СП, И требуемого материального обеспечения для изготовления СП для ОПФС разработан $S(9)=ТП$ (технологический процесс) изготовления СП, ТО выполняется монтаж и приемка готового СП для ОПФС в цехе-изготовителе с оформлением сопроводительной документации (паспорта СП), т.е. достигается комплексное целевое решение-следствие $C_1 = z_{эф} \in \{CE = ОПФС\}$, что соответствует завершению последнего производственного этапа изготовления СП для ОПФС согласно КИГТЗ.

Следует отметить, что благодаря отмеченной особенности tКСВР-СП допускает обновление устаревших tk-знаний посредством дообучения на новых СПОЗ(СП), длительное хранение наиболее устойчивых закономерностей и всегда обеспечивает надежный механизм дедуктивного причинно-следственного вывода по графу с порядковой функцией и логикой рассуждений.

Заключение

Предложенная ИСППР-СП позволит добиться значительного технико-экономического эффекта при подготовке производства новых типов самолетов за счет достижения повышенного качества СП (а следовательно и собираемых в них сборочных единиц самолета), значительного сокращения сроков проектирования и изготовления СП, уменьшения трудовых и материальных затрат на всех этапах жизненного цикла СП.

Список литературных источников

1. Сироджа И.Б. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке и нечеткости данных // И.Б.Сироджа, Т.Ю.Петренко. – К.: Наукова думка. 2000 – 247с.
2. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. / И.Б.Сироджа – Киев: Наукова думка. 2002. – 428с.
3. Бабушкин А.А. Автоматизированное проектирование стапельно-сборочной оснастки / А.А.Бабушкин // Сб. «Новые технологии в машиностроении» (по материалам международной конференции), Х.: ХАИ, 1994. – С.155 – 157
4. Бабушкин А.А. Концепция автоматизированного проектирования специальных сборочных приспособлений в самолетостроении. / А.А.Бабушкин // Труды харьковского авиационного института. – Х.: ХАИ. 1998. – С.47 – 48.
5. Бабушкин А.А. Методологические подходы при создании САПР сборочных приспособлений в самолетостроении. / А.А.Бабушкин // Труды харьковского авиационного института «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии». – Х.: ХАИ. 1999. – с225 – 232
6. Бабушкин А.А. Концепция знаниеориентированной методологии принятия решений при автоматизации проектирования сборочных приспособлений в самолетостроении. / А.И.Бабушкин, А.А.Бабушкин, И.Б.Сироджа // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сб. науч. тр. ХАИ. Вып. 42. 2009. – С.58-79.
7. Сироджа И.Б. Формализация функционирования и управления системой поддержки принятия решений при проектировании стапельно-сборочной оснастки летательных аппаратов. / И.Б.Сироджа, А.А.Бабушкин. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Науково-техн. журнал. №4(31) – 2008. – С.75-86.
8. Сироджа И.Б. Формализация компьютерной поддержки принятия решений при проектировании стапельно-сборочной оснастки летательных аппаратов. / И.Б.Сироджа, А.А.Бабушкин // Авиационно-космическая техника и технология, Научно-техн. журнал. №1(58). 2009. – С.89-96.