

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ

На правах рукопису

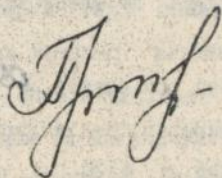
Прудников Геннадій Вікторович

ЗНАННЯОРІЄНТОВАНІ МОДЕЛІ І АЛГОРИТМИ ЦЛЯ  
ПРИНЯТТЯ ВИРОБНИЧИХ РІШЕНЬ МЕТОДОМ  
БАГАТОРІВНЕВИХ АЛГОРИТМІЧНИХ КВАНТИВ ЗНАНЬ

05.13.02 - математичне моделювання в  
наукових дослідженнях

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Харків - 1995

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформатики і програмного забезпечення автоматизованих систем Харківського авіаційного інституту.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
Сіподжа Ігор Борисович

Офіційні опоненти :

1. доктор технічних наук , професор  
Федорович Олег Євгенович;
2. кандидат технічних наук, доцент  
Корольов Анатолій Вікторович.

Провідна організація : Харківський державний технічний  
університет радіоелектроніки  
Міністерства освіти України,  
м. Харків.

Захист відбудеться "18" 10 1995 р. о 14 годині в ауд.  
№ 1112 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.18.02  
в Інституті проблем машинобудування НАН України за адресою:  
310046, м. Харків, вул. Дм. Пожарського, 2/10.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту  
проблем машинобудування НАН України за адресою: 310046,  
м. Харків, вул. Дм. Пожарського, 2/10.

Автореферат розісланий 05 09 1995 р.

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради, к. ф.-м. н., с.н.с. *В. В. Беретельник* Беретельник В. В.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00779419 (.)

Б ім. В. Стефаника  
АН України

### ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

актуальність теми. Задача прийняття рішень полягає у виборі найкращого варіанту із усіх можливих в умовах деякої невизначеності. Особливостями невизначеності, що досліджуються в роботі, є: заздалегідь невідомі інформативні, з точки зору цільових критеріїв, характеристики об'єктів прийняття рішень (ОПР) та їх кількість; невідома категорія, чи клас ОПР; неявно задані цільові функції та критерії. Наприклад, в цих умовах доводиться приймати рішення в задачах технічної і медичинської діагностики, соціально-економічного менеджменту, прогнозуванні погоди, в управлінні і розробці різних систем. Автоматизація розв'язування таких задач неможлива без використання засобів обчислювальної техніки та інженерії знань.

Значний вклад в цю справу внесли іноземчі та вітчизняні вчені: Е. Фейгенбаум (продукційна модель уявлення знань), М. Мінський (фреймова модель), І. Сіроджа (знанняорієнтовані структурно-аналітичні моделі знань), А. Закревський (скінченно-предикатні моделі), Т. Бінцук (аналіз і синтез мови), М. Шлезінгер (багатовимірні граматичні моделі зображень) та інші.

Для традиційних методів і систем (фреймових, продукційних і др.) прийняття рішень характерні такі обмеження: не ефективні при використанні в умовах указаної невизначеності; в режимі "питання - відповідь" сповільнюється отримання рішення; відсутня здібність навчатися та накопичувати знання шляхом навчання; непридатні для багатьох галузей, де відсутні експерти; достатньо ускладнена формалізація знань.

В дисертації, на відміну від традиційних підходів, розглядається знанняорієнтований метод прийняття рішень, який

дозволяє подолати вказані обмеження за допомогою побудови більш універсальних формальних моделей (квантів знань), що мають якості наслідування, допускають алгебраїчні перетворення разом з логічним виводом шляхом векторно-матричних операцій.

Автор виконував дисертаційну роботу в період 1989 - 1995 р.р. на кафедрі інформатики і програмного забезпечення автоматизованих систем Харківського авіаційного інституту (ХАІ) у відповідності до Державної науково-технічної програми 1992р. Б. Інформатика, автоматизація та приладобудування; п. Б.2.4 Перспективні інформаційні технології. Розпізнавання образів. Державного Комітету з науки і технологій України; згідно до теми N ДР 0194U011129 "Створення методології, інформаційного базису та інструментальних засобів планування, розробки, розвитку і оперативного управління технічними та соціально-економічними процесами на промислових підприємствах" за планом ВАІ з НДР в 1993-1995 р.р., а також згідно г/д теми "Створення моделі інтелектуалізованої обробки аерокосмічної інформації" (Фізико-Механічний інститут НАН України, м. Львів) в межах НДР "Зондування-1" Національного космічного агентства України в 1993 р. Все викладене вище свідчить про актуальність теми дисертації.

Метою роботи є розробка знанняорієнтованих моделей в формі багаторівневих алгоритмічних квантів знань (БАКЗ-моделей), алгоритмів і програм для автоматизації прийняття виробничих рішень в умовах вказаної невизначеності. Запропоновані програмні засоби відрізняються допустимою зартістю простотю, реалізуються на сучасних ПЕОМ середньої потужності і мають високий "інтелектуальний" рівень за

рахунок можливості одбування різнотипових знань - закономірностей шляхом машинного навчання.

Для досягнення поставленої мети в дисертації розроблено теорію та алгоритмізацію БАКЗ-методу прийняття рішень в умовах невизначеності, що ґрунтується на новій формалізації даних як  $k$ -знань та реалізує індуктивний пошук імплікативних закономірностей в предметній галузі з побудовою бази  $k$ -знань (БкЗ) і дедуктивний вивід необхідного рішення, спираючись на результати спостережень і БВЗ, а також інтерактивний програмний комплекс на базі ПЕОМ для автоматизації прийняття виробничих рішень.

Наукова новизна результатів дисертації, які винесені на захист, полягає в:

1) новій формалізації і чіткому визначенні багаторізнених  $k$ -знань в термінах теорії алгоритмів шляхом спеціальної структуризації різнотипових даних про об'єкти та постановки базових А-задачі (прогнозування) і В-задачі (розпізнавання) знаньорієнтованого прийняття рішень в умовах невизначеності;

2) побудові і обґрунтуванні методу синтезу класу БАКЗ-моделей прийняття рішень як процедур маніпулювання  $k$ -знаннями шляхом векторно-матричних операторів перетворення і логічного виводу квантів знань різних рівнів;

3) формулюванні і доведенні теорем, обґрунтованих алгоритми маніпулювання  $k$ -знаннями;

4) формулюванні і обґрунтуванні індуктивного та дедуктивного принципів БАКЗ-методу прийняття рішень;

5) синтезі ефективних алгоритмів значноорієнтованого прийняття рішень, загальної МІ-методики побудови БкЗ, а також МА-методики і МВ-методики для розв'язку базових А-,

В-задач;

б) розробці та впровадженні інтерактивного програмного комплексу (ІПК) "Інтелект" як дослідницького прототипу знанняорієнтованої системи прийняття рішень (ЗСПР) для автоматизації підтримки прийняття виробничих рішень на базі ПЕОМ;

в) розв'язку з допомогою ІПК "Інтелект" реальних задач прийняття виробничих рішень при:

а) визначенні геометричних і технологічних параметрів в процесах пресування принципової схеми штамповки вибухом і маршрутної технології імпульсної обробки металів;

б) ідентифікації і прогнозуванні ситуацій моніторингу навколишнього середовища за даними аерокосмічних вимірювань;

в) аналізі, ідентифікації та інтерпретації сцен на аерокосмічних зображеннях.

Особистий внесок. Усі результати дисертаційної роботи отримано за особистою участю автора. У працях, написаних у співавторстві, дисертантові належать: [2,5] - формулювання базових задач знанняорієнтованого прийняття рішень та основна процедура БАЗ-методу, [6,11] - нова формалізація знань у вигляді квантів знань різних рівнів; [7-10] - особливості алгоритмізації індуктивного і дедуктивного виводу  $k$ -знань, а також програми реалізації функцій ІПК "Інтелект".

Практична цінність дисертації полягає в доведенні теоретичних результатів до конкретних інженерних методик, а також в розробці діючого ІПК "Інтелект" на базі застосування ПЕОМ, що забезпечує можливість безпосереднього його використання в проектних, конструкторських, науково-дослідних та промислових організаціях для автоматизації прийняття виробничих рішень. При цьому речникає багаторазове (у 5-6 разів) підвищення ефективності застосування ПЕОМ,

яке досягається за рахунок зниження трудозатрат на шляху від постановки задачі до отримання результату розв'язку, а також збільшення якості прийняття рішень в 3-4 рази.

Методика дисертаційних досліджень ґрунтується на використанні теорії алгоритмів, розпізнавання образів, методів інженерії знань, математичної логіки - статистики. Обчислювальні експерименти проводились на ПЕОМ IBM PC/AT в системі об'єктно-орієнтованого середовища BORLAND PASCAL - 7.0.

Вірогідність результатів дисертаційної роботи підтверджується застосуванням теоретично обґрунтованих методів, контрольних завдань, а також надійним збігом результатів моделювання з результатами експериментів. Крім цього, впровадження ІПК "Інтелект" в Фізико-механічному інституті (ФМІ) НАН України (м. Львів) і проблемній лабораторії імпульсних джерел енергії ХАІ (м. Харків) виявило повну відповідність чисельних результатів прийняття рішень реальним ситуаціям моніторингу навколишнього середовища і технології штаповки вибухом.

Впровадження. Розроблені в дисертації БАЗ-моделі, алгоритми та окремі програмні модулі ІПК "Інтелект" впроваджені в 1995 р. в ФМІ НАН України (м. Львів). Методика прийняття рішень та ІПК "Інтелект" впроваджені в 1994-95 р.р. в проблемній лабораторії імпульсних джерел енергії ХАІ (м. Харків) Міністерства освіти України, а також в учбовий процес ХАІ в 1993-1995 р.р.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 14 наукових робіт, в тому числі 13 статей і 1 теза доповіді.

Апробація роботи. Основні положення дисертації докладалися і обговорювалися на Першій і Другій Всеукраїнських міжнародних конференціях "Обробка сигналів і

зображень та розпізнавання образів" (Київ, 1992 р., 1994 р.); науково-технічній конференції "Передача, обробка і відображення інформації" (Теберда-Харків, 1992 р.); Міжнародному симпозиумі "Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів" (Тернопіль, 1993 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Розвиток національних систем науково-технічної інформації країн СНД, Центральної та Східної Європи в нових суспільно-політичних і соціально-економічних умовах" (Київ, 1993 р.); Другій і Третій міжнародних конференціях "Передові технології в машинобудуванні" (Україна, Рибаче, 1993 р., 1994 р.).

Структура і обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, 4 глави, висновок, бібліографію з 94 найменувань, 5 малюнків, 4 таблиці, 26 сторінок додатку, всього 166 сторінок.

#### ЗМІСТ ПРАЦІ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної праці, формулюються мета роботи і положення, які виснесено на захист.

У першій главі освітлено стан проблеми та завдання дисертаційних досліджень. Визначено конструктивні умови можливості, виправданості та доцільності розробки ЗСПР для виділеного класу ОПР, які можна описати кінцевим набором характеристик (ознак), вимірених у різнотипових (кількісних та якісних) шкалах, достатніх для постановки задачі знаходження правила прийняття рішень у термінах штучного інтелекту в умовах невизначеності.

Невизначеність полягає в тому, що явно не задані цільові функції і критерії, початково невідомі інформативні ознаки об'єкту, їх кількість, категорія та неможливість приходу до висновку через відсутність самого правила

прийняття рішення.

Внаслідок проведеного огляду та аналізу використання експертних систем (ЕС), як перших представників ЗСПР, встановлено відсутність вітчизняних розробок ЕС, складність, високу вартість та недоцільність використання закордонних зразків ЕС виробничого користування в Україні.

Виходячи з цього, визначено мету праці та сформульовано завдання дисертаційних досліджень, які зводяться до розробки знанняорієнтованих моделей багаторівневих алгоритмічних квантів знань (БАКЗ-моделей), алгоритмів та простого і дешевого програмного комплексу для прийняття рішень в умовах невизначеності. Сформульовано дві базові задачі прийняття виробничих рішень: екстраполяція (або прогнозування) результатів спостережень (А-задача) і розпізнавання (або ідентифікація) об'єкта за результатами спостережень (В-задача).

А-задача: необхідно побудувати алгоритми маніпулювання квантами знань для екстраполяції висновків відносно результатів часткових спостережень за деякими ОПР, тобто індуктивно синтезувати базу  $k$ -знань і визначити до ній з заданою надійністю значення  $(n-1)$  невідомих характеристик ОПР при відомих знаннях і характеристик.

В-задача: розробити алгоритми маніпулювання  $k$ -знаннями, що дозволяють спиратись на попередньо побудовану БКЗ та результати спостережень, визначити з заданою надійністю невідоме значення цільової характеристики розпізнаваного об'єкту.

Друга глава присвячена розробці теорії знанняорієнтованих моделей багаторівневу алгоритмічних квантів знань (БАКЗ-моделей) прийняття рішень. Знання - це визначені алгоритмічні структури (кванти), які містять у

собі річотипну інформацію про об'єкт і забезпечувть безпосереднє маніпулювання нею з метов логічного виводу правил прийняття рішень у вигляді нових  $k$ -знань.

Суть методу багаторівневих алгоритмічних квантів знань (БАКЗ-методу) полягає у структурізації  $k$ -знань, чітко визначених в термінах теорії алгоритмів, і формальному маніпулюванні ними. При цьому формалізується система початкових навчальних квантів  $k$ -знань молодших рівнів (0-го, 1-го), згідно якої шляхом індуктивного виводу знаходять кванти знань старших рівнів, що описують базу  $k$ -знань як систему стійких заборонених зв'язків між ознаками ОПР, тобто виявлених імплікативних закономірностей. Ці закономірності відіграють роль аксіом у процесі дедуктивного виводу невідомих висновків на другому етапі прийняття рішень шляхом векторно-матричних перетворень БкЗ і спостережень.

Прийняття рішень визначається критеріальною оцінкою з урахуванням ступеня довіри початковим значенням і прийнятими гіпотезам про існування закономірностей природи об'єкта ідентифікації.

Початковим матеріалом для алгоритмічного конструювання багаторівневих  $k$ -знань є термінальні кванти  $k_0, \alpha$  та  $k_1, \beta$ , які визначаються так.

Нехай спостерігаємі об'єкти описуються скінченним числом різноманітних оцінок (характеристик)  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (в тому числі і цільових), що приймають значення із скінченних множин.

$$Y^{(1)} = (\alpha_1^{(1)}, \dots, \alpha_n^{(1)}), \dots, X^{(n)} = (\alpha_1^{(n)}, \dots, \alpha_n^{(n)}). \quad (1)$$

Якщо кожній із масивів (1)  $\lambda^{(j)}$   $j=1, n$  поставити у відповідність одновірні числові масив.  $d^{(j)}$  (довжин та

наділити їх семантикою (інформаційною р-цією), то отримаємо векторний квант знань 0-го рівня:

$$k_0 \gamma = (d^{(1)} : d^{(2)} : \dots : d^{(n)}) = (\alpha_1^{(1)}, \dots, \alpha_{\rho_1}^{(1)}, \alpha_1^{(2)}, \dots, \alpha_{\rho_2}^{(2)}, \dots, \alpha_1^{(n)}, \dots, \alpha_{\rho_n}^{(n)}), \quad (2)$$

де двома крапками розділяються домени. Вибірочий квант знань 0-го рівня  $k_0 \alpha$  будувється аналогічно з примітивно-рекурсивною функцією вибору аргумента в теорії алгоритмів:

$$k_0 \alpha = V_k^{(p)}(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p) = \alpha_k. \quad (3)$$

Характеристичний квант 1-го рівня  $k_1 \beta$  утворюється за допомогою характеристичної функції  $H_{Y^{(j)}}$  множини  $Y^{(j)}$ :

$$k_1 \beta = H_{Y^{(j)}}(\alpha_k^{(j)}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \alpha_k^{(j)} \in Y^{(j)} \\ 0, & \text{якщо } \alpha_k^{(j)} \notin Y^{(j)} \end{cases}, \quad (4)$$

де  $Y^{(j)} = \{\alpha_k^{(j)}\}$  - множина значень  $j$ -ої характеристики  $x_j$ , що саме зафіксована під час спостережень за ОП.

Багаторівневі  $k$ -знання утворюються з термінальних квантів за допомогою відомих операторів суперпозиції (П-оператора)

$$h_1(x_1, \dots, x_n) = f[g_1(x_1, \dots, x_n), \dots, g_m(x_1, \dots, x_n)] \quad (5)$$

та рядкової конкатенації

$$\text{CON} \langle e_i \rangle_{i=1}^m = e_1 e_2 \dots e_m, \quad (6)$$

або матричної конкатенації

$$\text{CON} [e_i]_{i=1}^m = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_m \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де  $(e_i)_{i=1}^m$  - послідовність чисел або символів.

Визначення 1. Алгоритмічні конструкції, отримувані з термінальних квантів знань  $k_0 \gamma$  (1),  $k_0 \alpha$  (2) і  $k_1 \beta$  (3), а

також з довільних квантів 1-го та 2-го рівнів шляхом скінченного числа застосувань  $\Pi$ -оператора (5),  $\text{CON}(\cdot)$ -оператора (6) та  $\text{CON}[\cdot]$  - оператора (7), називаються багаторівневими  $k$ -знаннями. Вони є стандартною формою зображення інформації в знанняорієнтованих системах прийняття рішень БАКЗ-методом.

На відміну від класичних засобів уявлення знань (фрейми, продукції та ін.) в класі БАКЗ-моделей ОПР можна описати векторним квантом знань  $k_0 y$  (1) у просторі ознак або моделей досліджуваних ОПР:  $X^n = X^{(1)} \times X^{(2)} \times \dots \times X^{(n)}$

З іншого боку, той же ОПР можна описати квантом знань 1-го рівня як точки (бінарного доменизованого вектора) модифікованого простору моделей об'єктів  $B^n = B^{(1)} \times B^{(2)} \times \dots \times B^{(n)}$ , що відповідає просторові  $X^n$  з точністю до заданої семантики і утворюється з  $X^n$  шляхом застосування до нього елементів характеристичного кванта знань  $k_1 y$  (3). Ці описи зв'язані, відповідно, БАКЗ-моделями 0-го і 1-го рівня для досліджуваного ОПР.

Навантажуючи елементи і підмножини  $B^n$  певною семантикою, дістаємо  $k$ -анти знань, які відповідають фактам та імплікативним закономірностям предметної галузі. Під імплікативною закономірністю рангу  $r$  розуміється зв'язок між  $r$  ознаками ОПР при загальній їх кількості  $n$  ( $r \leq n$ ), зображений заороною коча б однієї комбінації їх значень із числа  $C_n^r$  можливих.

Крім множинної (точка простору  $B^n$ ) та векторно-матричної (кванти) форм опису, БАКЗ-моделі можна представити аналітично скінченим предикатом у вигляді елементарної кон'юнкції  $\bigwedge_{j=1}^r (x_j^i, x_j^j \in X^{(j)}, X^{(j)} \subset X^n$ .

Наприклад, якщо векторний квант знань  $k_1 y = \{101:110:101\}$ , що описує факт, являє собою кон'юнкт, то йому відповідає елементарна кон'юнкція

$$(x_1 \in \{\alpha_1^{(1)}, \alpha_3^{(1)}\}) \wedge (x_2 \in \{\alpha_1^{(2)}, \alpha_2^{(2)}\}) \wedge (x_3 \in \{\alpha_1^{(3)}\}) = k_1 \&, \quad (8)$$

яку можна представити предикатним рівнянням

$$k_1 Y = (x_1 = 1,3) (x_2 = 1,2) (x_3 = 1) = 1. \quad (9)$$

з семантикою: "для спостережуваного ОПР наявні 1-е і 3-є значення ознаки  $x_1$ , 1-е і 2-ге значення  $x_2$  та 1-е значення  $x_3$ ". З іншого боку, тим же кон'юнктивним квантом  $k_1 Y$  у предикатній формі можна описати імплікативну закономірність  $k_1 Z$ :

$$k_1 Z = (x_1 = 1,3) (x_2 = 1,2) (x_3 = 1) = 0 \quad (10)$$

з семантикою: "ОПР даного класу не може характеризуватися 1-м і 3-м значенням ознаки  $x_1$ , 1-м і 2-м -  $x_2$  та 1-м -  $x_3$ ".

Таким чином, різні факти та імплікативні закономірності огісуються у формі деменізованих векторів та аналітичних відповідників їм предикатними рівняннями (9), (10).

Визначено логічні операції (кон'юнкція, диз'юнкція, заперечення, умовна дедукція, суміжність) над квантами знань, а також сформульовано та доведено теореми, що обґрунтовують правила маніпулювання к-знаннями.

Визначення 2. Будь-який квант к-знань логічно випливає з кванту А, тобто: (засновок)  $A \rightarrow B$  (висновок), тільки у разі виконання відношення:  $E(B) \subseteq E(A)$ , де  $E(B)$  і  $E(A)$  - характеристичні множини відповідних квантів.

На основ. цих визначень у роботі алгоритмічно будується маніпулювання квантами знань (редукції, традиції та перевірки системи простих заборонних квантів на загальнозаборонність)

Зміст оператора редукції  $RED(\Sigma; A) = \Sigma^0$ : виділення к-знань  $\Sigma$  та спрощення тільки тих заборонних квантів, які

мають відношення до спостереження  $k_1 A$  за ОПР  $A$ , тобто виявлення деяких нових знань  $\Sigma^0$  про об'єкт  $A$ , локалізованих у інтервалі  $\bar{A} \subseteq \mathbb{E}^n$ , що відповідає кванту  $k_1 A$ .

Оператор трансляції (Т-оператор)  $T(p; a; s) = p \xrightarrow{\frac{T}{a}} s$  заключного кванту  $k$ -знань  $s$  із засновкового  $p$  будується за певним алгоритмом  $a$ , згідно якого реалізується логічний висновок  $s$  (за визначенням 2).

Заборонні кванти  $k$ -знань  $k_1 A$  або  $k_2 ||A||$  зуться загальнозаборонними, якщо відповідні їм предикати тотожно рівні 1 (тобто заборонено усе).

Оператор ПОЗ для перевірки простих заборонних квантів на загальнозаборонність будується на основі визначення загальнозаборонних квантів і є основним засобом векторно-матричної реалізації логічного виводу  $k$ -знань.

В основу побудови БкЗ покладено індуктивний принцип вилучення загальних закономірностей з часткових, суть якого полягає в наступному.

Нехай  $\Sigma_0$  - множина допустимих та  $\Sigma_u$  - множина усіх можливих моделей ЖР, п'яжності яких знаходяться у відношенні  $|\Sigma_0| \ll |\Sigma_p| \ll |\Sigma_u|$ .

Наші судження ґрунтуються на знаннях про імплікативні зв'язки між ознаками ОПР, які носять характер гіпотез і знаходяться з вибірових знань  $\Sigma_0$ .

Тоді формальна трактовка індуктивного принципу БАКЗ-методу така: якщо існує імплікативна закономірність, яка представлена заборонним квантом  $k_1 Y$  рангу  $r$ , то існує відповідний заборонний інтервал  $Y \in \Sigma_D$  рангу  $r$  і виконується співвідношення  $k_1 Y \cap \Sigma_0 = 0$ ,  $k_1 Y \cap \Sigma_0 = 0$ ,  $\Sigma_0 \subseteq \Sigma_D \subseteq \Sigma_u$

Теорема 1 (Сіроджа І.Б.). Вірогідність гіпотези про існування імплікативної закономірності  $r$ -го рангу, оціню-

вана через імовірність  $P_g(m, n, r)$  поділі  $S(m, n, r)$ , яка вказує на неіснування імплікативного зв'язку між  $r$  ознаками ОПР, виходячи з вибірових  $k$ -знань  $\Sigma_0$  розміром  $m \times n$ , визначається величиною математичного сподівання  $M_g(m, n, r)$  числа заборонних квантів рангу  $r$ , що не перетинаються з  $\Sigma_0$ , за формулою:

$$P_g(m, n, r) = M_g(m, n, r) = \frac{n! 2^{r(1-m)} (2^r - 1)^m}{r!(n-r)!} \leq M_g^*$$

де  $m$  - кількість елементних квантів у разв'язчій вибірці  $\Sigma_0$ ;  $n$  - число ознак  $O_i$ ;  $M_g^*$  - задане допустиме значення вірогідності.

База  $k$ -знань (БкЗ) - це система  $\Sigma_{\text{вн}}$  відомих або вилучених імплікативних закономірностей, за допомогою експертів, науки, чи емпірично згідно поставленим цілям шляхом індуктивного виводу з кванту  $\Sigma_0$  у формі  $k$ -знань.

Теорема 2. Нехай задані БкЗ  $\Sigma_{\text{вн}}$ , спостереження за ОПР  $u$  у вигляді кванту

$$k_1 Y_u = \{\beta_{\rho_1}^{(1)} \dots \beta_{\rho_1}^{(1)} \dots \beta_{\rho_j}^{(j)} \dots \beta_{\rho_j}^{(j)} \dots \beta_{\rho_n}^{(n)} \dots \beta_{\rho_n}^{(n)}\},$$

що містить цільову характеристику  $x_j$  з невідомими значеннями  $\beta_{\rho_j}^{(j)}$  ( $k=1, \rho_j, j=1, n$ ). Нехай квант

$$k_1 \beta_u^{(j)} = \{1_{\rho_1}^{(j)} \dots 1_{\rho_1}^{(j)} 0_{\rho_1}^{(j)} \dots 1_{\rho_k}^{(j)} \dots 0_{\rho_j}^{(j)} 1_{\rho_n}^{(j)} \dots 1_{\rho_n}^{(j)}\}$$

свідчить, що  $x_j$  приймає значення  $\beta_{\rho_k}^{(j)}$ . Тоді це свідчення відхиляється ( $x_j \neq \beta_{\rho_k}^{(j)}$ ), якщо виявиться загальнозаборонним квант  $k_2 \beta_{\rho_k}^{(j)}$ , одержаний шляхом редуції в рекурсивній процедурі дедуктивного виводу (DED-оператор)

$$(\Sigma_{\text{вн}} \xrightarrow{\text{DED}} k_1 Y_u; \text{RED}(\Sigma_{\text{вн}} | k_1 Y_u) \xrightarrow{\text{DED}} k_2 \beta_{\rho_k}^{(j)}; \text{RED}(k_2 Y_u | k_1 \beta_{\rho_k}^{(j)}) \xrightarrow{\text{DED}} k_2 \beta_{\rho_k}^{(j)})$$

Теорема 3. Якщо задана БкЗ  $\Sigma_{\text{вн}}$  і спостереження за ОПР  $u$  у вигляді кванту  $k_1 Y_u$ , то можливі комбінації значень усіх  $n$  характеристик  $x$  визначаються мінімальним квантом  $k_1 R_u$ , який містить  $k$ -знання заборонних квантів системи  $\Sigma_u^*$  зід

редукції:  $\Sigma_u^* = \text{RED}(\Sigma_{EM} | k_1 Y_u)$  і будується шляхом обчислення значень невідомих характеристик  $x_j$  згідно теореми 2. Теореми 1, 2, 3 обґрунтовують подальшу розробку інформаційної БАЗ-технології для розв'язування базових А-, В-задач.

У третій главі розроблено алгоритми та оптимізаційні процеси знанняорієнтованого прийняття рішень на основі використання БАЗ-моделей.

Використовуючи теорему 1, побудовані алгоритми AL1 і AL1\_Z для індуктивного виводу  $\Sigma_{BM}$  шляхом обробки вибіркового k-знання  $\Sigma_0$ . Алгоритмічна процедура

$$\text{INDI}(\Sigma_0; \text{AL1}; \text{AL1\_Z}; \Sigma_{BM}) = k_2 \|\Sigma_0\| \xrightarrow{\text{AL1, AL1\_Z}} k_2 \|\Pi_B\|, \quad (11)$$

що реалізує зивід матричного кванту  $\Sigma_{BM} = k_2 \|\Pi_B\|$  як мінімізовану систему простих заборонних закономірностей шляхом обробки  $\Sigma_0$  алгоритмами AL1 і AL1\_Z, називається оператором індуктивного виводу імплікативних k-знань (INDI-оператор). Простими називаються заборонні кванти, які не є наслідками один одного.

Для здійснення дедуктивних висновків (наслідків) на основі використання теорем 2, 3 синтезовані алгоритми AL2, AL3, AL4, що відтворюють три модифікації DED-оператора пошуку необхідних рішень (DED1, DED2, DED3) в єдиній формі типу (11). Наприклад, алгоритмічна процедура

$$\text{DED1}(\Sigma_{BM}; k_1 Y_u; \text{AL2}; \Sigma_u^*) = k_2 \|\Pi_B\| \xrightarrow{k_1 Y_u; \text{AL2}} k_2 \|Y_u^*\|, \quad (12)$$

що реалізує знаходження k-знань  $k_2 \|Y_u^*\|$  про можливий стан ОПР  $u$ , опираючись на базові  $\Sigma_{BM}, k_2 \|\Pi_B\|$  і поточні  $k_1 Y_u$  v-знання, шляхом обробки  $\Sigma_{BM}$  відносно  $k_1 Y_u$  алгоритмом AL2, називається оператором дедуктивного виводу 1-ї модифікації k-знань (DED1-оператор).

Згідно зі вказаними алгоритмами побудовано загальну

схему системної реалізації БАЗ-моделей прийняття рішень, яку докладено в основу розробки інтерактивного програмного комплексу (ІПК) "Інтелект" для знанняорієнтованого прийняття рішень на базі ПЕОМ.

Далі подється формальна трактовка базових А-, В-задач, зміст яких викладено в п.1.3. дисертації. Для їх розв'язання розроблено загальні МА- та МВ-методику а також МІ-методика синтезу БАЗ.

На конкретному прикладі показано ефективність розроблених методик, що дозволяють швидко знайти необхідні рішення, або обгрунтовано відмовитись від них.

Четверту главу при зячено практичному використанню БАЗ-моделей та розробці ІПК "Інтелект" на базі ПЕОМ для автоматизації знанняорієнтованого прийняття виробничих рішень в умовах невизначеності.

Докладно описано архітектуру, інтерфейс, режими та модулі функціонального наповнення ІПК, які виконано об'єктно-орієнтованому середовищі BORLAND PASCAL 7.0. Тексти основних програмних модулів зведено в додаток. Чітко викладено постановки та розв'язки реальних виробничих задач прийняття знанняорієнтованих рішень в процесі проектування маршрутноі технології імпульсноі обробки металів, ідентифікації і прогнозування ситуацій моніторингу навколишнього середовища за аерокосмічними даними та інтерпретації аерокосмічних зображень. Наведені результати порівнянь запропонованих методик з існуючими та обгрунтовано створення ювої БАЗ-технології прийняття рішень, яка забезпечує припустиме розв'язання важливих виробничих задач там, де використання існуючих технологій не ефектване. Так

України та в учбовий процес ХАІ.

### Основні результати і висновки.

1. З позицій доцільності, виправданості і можливостей обгрунтовано і розроблено метод синтезу класу БАКЗ-моделей знанняорієнтованого прийняття рішень, які відрізняються від існуючих нових формалізацій знань у вигляді алгоритмічних структур-квантів, вибором імплікативних закономірностей в предметній галузі для побудови бази знань, що забезпечує створення відносно простих, дешевших від закордонних інтелектуальних ЕСПР.

2. Виділено клас об'єктів прийняття рішень ( ОНР ) в конкретних умовах невизначеності досліджуваних засобами інженерії знань, поставлено і розв'язано загальну задачу чіткої формалізації БАКЗ-моделей, базові А-задачу (прогнозування) та В-задачу ( ідентифікації-розпізнавання ) з урахуванням різнотиповості аналізованих характеристик ОНР і переваг над існуючими через можливість навчатися без експертів.

3. На основі теорії алгоритмів і скінченних предикатів розроблено єдина формалізація уявлення багаторівневих знань (k-знань), яка забезпечує реалізацію способів маніпулювання k-знаннями та логічного виводу їх шляхом векторно-матричних перетворень і операторів.

4. На основі сформульованого індуктивного принципу БАКЗ-методу обгрунтовано і створено загальну методичку побудови бази k-знань (БКЗ) як системи імплікативних закономірностей предметної галузі, що вилучаються не тільки експертами, але й шляхом автоматизованої обробки різнотипової емпіричної інформації.

5. Сформульовано і доведено теореми, що обґрунтують алгоритми маніпулювання  $k$ -знаннями та оператори логічного виводу квантів знань.

6. Синтезовано алгоритми  $AL1$  і  $AL1_Z$  для побудови і мінімізації БЗ шляхом реалізації оператора індуктивного виводу (INDI-оператор) та алгоритми  $AL2$ ,  $AL3$ ,  $AL4$ , що реалізують оператор дедуктивного виводу  $k$ -знань (DED-оператор). Вказані оператори забезпечують одночасну обробку символічної та семантичної інформації при маніпулюванні  $k$ -знаннями, що дає перевагу за ефективністю над відомими алгоритмами.

7. Розроблено загальні МІ-методику побудови БЗ, МА-методику і МВ-методику розв'язування лазових А, -В-задач знанняорієнтованого прийняття рішень, що відрізняються високим рівнем інтелектуальності і можливістю реалізації на недорогих ПЕОМ середньої потужності.

8. Спираючись на викладену теорію БАКЗ-моделей алгоритмів, розроблено і впроваджено у виробництво ІПК "Інтелект" для автоматизації знанняорієнтованого прийняття рішень у виробничих умовах з частковою визначеністю, зокрема в процесах проектування маршрутної технології імпульсної обробки металів, ідентифікації і прогнозування ситуацій моніторингу навколишнього середовища за аерокосмічними даними та інтерпретації аерокосмічних зображень.

ІПК є стержневим засобом створеної нової інформаційної БАКЗ-технології розв'язування погано структурованих задач там, де використання існуючих технологій не ефективно.

Основні наукові результати опубліковано у таких працях:

1. Henadij Prudnikov. Knowledge-oriented Models and Algorithms for Manufacturing Decision Making Using Method of

Multilevel Algorithmical Knowledge Quanta // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів: Праці / Друга Всеукраїнська міжнародна конференція, Україна, Київ, 20-24 грудня 1994 р. Київ, 1994. - с. 294-296.

2. Сироджа І., Прудников Г., Резниченко О. Нова технологія розпізнавання образів та прийняття рішень, що ґрунтується на побудові бази багаторівневих алгоритмічних «квантів знань (БАКЗ-технологія) // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів: Праці / Друга всеукраїнська міжнародна конференція, Україна, Київ, 20-24 грудня 1994 р. - Київ, 1994. - с. 33-37.

3. Прудников Г.В. Основы новой информационной технологии принятия решений в условиях неопределенности, основанной на модели многоуровневых алгоритмических квантов знаний // Proceedings Third International Conference "New Leading-Edge Technologies In Machine Building", Rybachie, Ukraine, September 20-23, 1994. - Kharkov-Rybachie, 1994. - с. 143.

4. Прудников Г.В. Компьютерная система принятия производственных решений на основе МАКЗ-метода // Proceedings Second International Conference "New Leading-Edge Technologies In Machine Building", Rybachie, Ukraine, September 18-22, 1993. - Kharkov-Rybachie, 1993. - с. 102-104.

5. Сироджа И.Б., Лелица В.А., Нечитайло В.А., Прудников Г.В., Николаенко И.Н., Резниченко О.В. Концепция МАКЗ-метода для синтеза знаниеориентированных систем принятия решений // Сборник материалов научно-техн. конф. "Передача, обработка и отображение информации", май 1992 г. Теберда-Харьков, 1992. - с. 102-104.

6. Сироджа И.Б., Лелица В.А., Прудников Г.В., Резниченко О.В., Нечитайло В.А., Николаенко И.Н. Использование веро-

лтности их оценок для вывода нечетких знаний на базе МАКЗ-метода // Інформаційні технології та розпізнавання образів: збірка наукових праць міжнародного симпозіуму "Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і пол'я", том III, частина 1. - Львів - Харків - Тернопіль, 1993. - с. 36-39.

7. Сироджа И.Б., Прудников Г.В., Цыбенко С.И. Особенности реализации пользовательского интерфейса в знаниеориентированной системе принятия решений на базе использования многоуровневых алгоритмических квантов знаний (МАКЗ-метод) // Proceedings: Third International Conference "New Leading-Edge Technologies In Machine Building", Rybachie, Ukraine, September 20-23, 1994. - Kharkov-Rybachie, 1994. - с. 142.

8. Сироджа И.Б., Прудников Г.В., Крашаница Р.Ю. Поиск закономерностей и построение базы знаний, основанной на модели многоуровневых алгоритмических квантов знаний // Proceedings: Third International Conference "New Leading-Edge Technologies In Machine Building", Rybachie, Ukraine, September 20-23, 1994. - Kharkov-Rybachie, 1994. - с. 137.

9. Сироджа И.Б., Прудников Г.В., Голобородский О.А. Минимизация базы знаний посредством метода многоуровневых алгоритмических квантов знаний (МАКЗ-метод) // Proceedings: Third International Conference "New Leading-Edge Technologies In Machine Building", Rybachie, Ukraine, September 20-23, 1994. - Kharkov-Rybachie, 1994. - с. 14.

10. Сироджа И.Б., Прудников Г.В., Голичка В.Н. Некоторые особенности дедуктивного вывода многоуровневых алгоритмических квантов знаний // Proceedings: Third International Conference "New Leading Edge Technologies In Machine Building", Rybachie, Ukraine, September 20-23,

1994. -Kharkov-Rybachie. 1994. -с. 136.

11. Лелиця В., Нечитайло В., Ніколаско І., Прудников Г., Резниченко О., Сіроджа І. Інтелектуальна система прийняття рішень на основі використання розпізнавання образів, орієнтованого на знання // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів: Праці / Перша Всеукраїнська конференція, Україна, Київ, 17-21 листопада 1992 р. - Київ, 1992. - с. 23-24.

12. Прудников Г.В. Построение Базы знания в экспертной системе анализа и интерпретации сцен изображений // Інформаційні технології та розпізнавання образів: збірка наукових праць міжнародного симпозиуму "Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів", том III, частина 1. - Львів - Харків - Тернопіль, 1993. - с. 44-48.

13. Прудников Г.В. Задача контроля односвязности при семантической сегментации изображений // Проблемы информатики в создании автоматизированных систем : Сб. науч. тр. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1990. - с. 37-39.

14. Прудников Г.В. Применение МАКЗ-метода в системе интерпретации аэрокосмических изображений // Межд. научно-практ. конф. "Развитие национальных систем научно-технической информации стран СНГ, Центральной и Восточной Европы в новых общественно-политических и социально-экономических условиях": Тес. докл. и сообщений, 19-20 мая 1993, г. Киев, Украина, часть 2. - Киев, 1993. - с. 65-67.

#### S U M M A R Y

Prudnikov G.V. Knowledge-oriented models and algorithms for manufacturing decisions making by method of multilevel algorithmical knowledge quanta.

The thesis is a manuscript for a Technical Science Candidate's degree, speciality 05.13.02 - mathematical modelling in science research, Institute for Problems in Machinery of the Ukrainian National Academy of Sciences, Kharkov, 1995.

In the thesis are presented a new algorithmical knowledge model formalization and the method of Multilevel Algorithmical Knowledge Quanta (MAKQ-method) of decision making in the uncertainty circumstances which allows by means of vector-matrix operations to create inductively a Knowledge-base as a system of implicative rules and to draw a conclusion on the base of facts using deductive inference methods. On the base of MAKQ-method usage is created an interactive software system "Intellect" which is available to a wide rank of users for knowledge-oriented decision making automatization with the help of a computer and has a high intellectuality level because of reasonable cost and learning abilities.

#### А Н Н О Т А Ц И Я

Прудников Г.В. Знаниеориентированные модели и алгоритмы для принятия производственных решений методом многоуровневых алгоритмических квантов знаний.

Диссертация является рукописью, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук (специальность 05.13.02-математическое моделирование в научных исследованиях), Институт проблем машиностроения Национальной академии наук Украины, Харьков, 1995.

В диссертации предложена новая алгоритмическая формализация модели знаний и разработан метод многоуровневых

алгоритмических квадрантов знаний (МАКЗ-метод) принятия решений в условиях неопределенности, позволяющий средствами векторно-матричных операторов строить индуктивно базу знаний в форме системы имплицитивных закономерностей и, опираясь на это, дедуктивно выводить искомые заключения по фактам наблюдений. На основе использования МАКЗ-моделей создан интерактивный программный комплекс "Интеллект", доступный широкому пользователю для автоматизации знаниеориентированного принятия производственных решений с помощью ПЭВМ и отличающийся высокой степенью "интеллектуальности" за счет способности к обучению и приемлемой стоимости.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** модель уявлення знань, кванти знань, база k-знань, індуктивний і дедуктивний вивід k-знань, інженерія знань.

Відповідальний за випуск: к. ф. - м. н. доц. Корнієнко О. Г

Підписано до друку: 10.07.95 Формат 60x90 1/16

Ум. друк. арк. 1.00 Папір друк. № 1

Обл.-вид. арк. 0.96. Тираж 100 пр.

Зам. № 57

Харьковский авиационный институт  
310070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17  
Ротапринт типографии ХАИ  
310070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17