

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ**  
**ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

На правах рукопису

**КАРГІН Анатолій Олексійович**

УДК 658. 012. 011. 56

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ**  
**РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ДЛЯ ГНУЧКИХ**  
**АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Спеціальність 05. 13. 03 "Системи та процеси управління"

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
доктора технічних наук

Харків - 1997



Дисертація є рукопис

Робота виконана на кафедрі кібернетики та обчислювальної техніки Донецького державного університету.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
ВОЛКОВИЧ Віктор Леонідович,  
доктор технічних наук, професор  
ЗАГАРІЙ Геннадій Іванович,  
доктор технічних наук, професор  
ШОСТАК Володимир Федорович.

Провідна установа: Національний технічний університет  
"Київський політехнічний інститут".

Захист відбудеться "24" *квітня* 1997 р. о 13<sup>00</sup> годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.25.04 при  
Харківському державному технічному університеті радіоелектроніки  
за адресою: 310726, Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці університету.

Автореферат розісланий "21" *серпня* 1997 р.

Вчений секретар  
Спеціалізованої ради,  
доктор технічних наук, доцент

ЛЕВИКІН В.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

**Актуальність теми.** Ефективність впровадження гнучких роботизованих виробничих систем забезпечується комплексним рішенням ряду задач, одна з яких - вибір рівня організації (упорядкування) робочого середовища. Найбільший ефект досягається в умовах повної організації, але це пов'язане із суттєвими економічними витратами. Компроміс знаходиться при частковій організації середовища, де за рахунок гнучкості обладнання, розвиненої сенсорно-вимірювальної системи і засобів управління компенсуються виробничі збурювання. Взагалі, це завдання управління рівня гнучких автоматизованих виробничих дільниць (ГВД), гнучких виробничих роботизованих модулів (ГВМ) і окремих робототехнічних одиниць обладнання. Рівень розвитку технологій вимірювальної, сенсорної і комп'ютерної техніки визначають кордони, в яких за допомогою цих засобів досягається компенсація збурювань. Існують виробництва, для яких, поряд з розвинутою системою контролю і використання точної інформації в управлінні, залишається часткова невизначеність щодо деяких станів параметрів виробничої системи. Наприклад, для виробництв нанесення гальванопокриття, роботизованої збірки і зварки вибухонепроникливих корпусів шахтної автоматики існують параметри, які по причинах високої вартості чи складності їх технічної реалізації не контролюються; товщина покриття, чистота обробки поверхні, точність спряження поверхній та інші. Ці фактори обумовлюють недетермінованість матеріального струму на дільницях, деяку нечіткість виробничих ситуацій. Логіко-програмне і адаптивне управління в ГВД і ГВМ на основі тільки точних моделей, без обліку об'єктивно існуючих нечітких фрагментів, пов'язане з втратами якості продукції і ефективності. Застосування засобів штучного інтелекту для управління в умовах частково невизначених виробничих ситуацій визнано перспективним.

Зважаючи на сказане вище, приходимо до висновку, що розробка інтелектуальних систем, які комплексно вирішують задачі управління в реальному часі на основі неоднорідної (точної та нечіткої) інформації є актуальною народогосподарською проблемою

підвищення якості продукції та ефективності гнучких автоматизованих виробництв.

Головне завдання теорії штучного інтелекту (ШІ), яке визначає ефективність її додатків - це створення та дослідження моделей подання і обробки знань. Логічні, фреймові, сетеві, продукційні, нейронні, а також гібридні моделі знань глибоко вивчені і знаходять широке застосування при вирішенні багатьох практичних завдань. Можливості класичних моделей, як відзначається в багатьох роботах, обмежені. Основна тенденція теорії штучного інтелекту - створення спеціалізованих моделей, які адекватно описують певний клас задач. Розвиток класичних моделей - це узагальнення знань про логіку людини, псевдофізичні логіки, побудова моделей міркувань, формалізація продукційних систем на основі багатосортної алгебри, категорійного апарату, нечітка логіка, нечіткі засоби прийняття рішень - це пов'язане з відродженням "людиноорієнтованої" парадигми і має важливе значення для теорії і практики ШІ. Можливо виділити напрямок досліджень, який орієнтований на задачі управління, а саме: інтелектуальні промислові регулятори і системи управління, в тому числі інтелектуальне ситуаційне управління великими системами; інтелектуальні системи управління реального часу, дослідженню і розробці яких в останній час приділяється велика увага. Незважаючи на широке охоплення предметної області, на сьогоднішній день не досліджені завдання комплексного управління в реальному часі на основі гібридної (точної і нечіткої) структурованої інформації, в тому числі управління групою роботизованого обладнання.

Вищезгаданого достатньо для обґрунтування наукової актуальності розробки теорії утворення інтелектуальних керуючих систем реального часу.

**Мета роботи** складається в узагальненні і розвитку теорії створення інтелектуальних керуючих систем реального часу, що:

А). Динамічно і автоматично формують модель ситуації оточення на основі різномірної інформації, що надходить з оточення.

Б). Керують у реальному часі станом оточення.

В). Поповнюють знання про правила управління у "незнайомих ситуаціях" у режимах навчання та самонавчання.

На основі теорії розробити високоефективні інтегровані системи управління гнучкими автоматизованими дільницями і роботизованими модулями.

Конкретізація цієї мети привела до наступних завдань, що були поставлені і вирішені в роботі.

1. Одержати формальний апарат на базі нечітких множин для опису ситуацій та їх перетворень. На його основі збудувати модель "інтелектуальна ситуаційна керуюча система-оточення".

2. Описати модель інтелектуальної управляючої системи, яка заснована на правилах продукційного типу з неоднорідними знаннями. Дослідити властивості бази знань і стратегій рішення завдань на неоднорідних даних і знаннях.

3. Розробити апарат автоматичного динамічного надання структурійованих ситуацій. Ввести моделі надання і обробки гібридних структурійованих декларативно-процедурних баз знань.

4. Розробити апарат для автоматичного формування знань (правил) у гібридних неоднорідних продукційних системах. Вивчити людиноорієнтовані засоби навчання і самонавчання на прикладах. Одержати умови для формування коректних баз знань для цих режимів.

5. Розробити інструментальний програмний комплекс для створення прикладних інтелектуальних інформаційно-керуючих систем з неоднорідними знаннями.

6. Створити інтегровані прикладні інтелектуальні системи ситуаційного управління і технологічної підготовки для гнучких автоматизованих дільниць і роботизованих модулів виробництва гальванопокриття, збірки і зварки, обробки деталей типу тіл обертання.

**Наукова новизна і основні положення, які виносяться на захист.** Автор захищає такі наукові положення:

1. Підхід до комплексного управління гнучкими роботизованими автоматизованими дільницями, для яких характерне недетермінований матеріальний потік, високий рівень обурювальних факторів і часткова невизначеність виробничих

ситуацій. В основі підходу лежить ситуаційне управління в реальному часі.

2.Формальний опис системи ситуаційного управління, що відбиває безпосередній зв'язок з оточенням у реальному масштабі часу. Формалізація подана нечіткими множинами і операціями безумовної і умовної зміни нечітких множин.

3.Модель подання структурійованих частково невизначених (точні і нечіткі факти і знання) ситуацій; механізм автоматичного подання ситуацій на підставі інформації, що надходить у реальному часі із оточення. Модель базується на нечітких множинах і відносінах, заданих на фрагментах нечітких множин.

4.Модель подання і обробки в реальному часі структурійованих декларативно-продукційних точних і нечітких знань для задач управління в реальному часі в умовах частково невизначеної ситуації.

5.Стратегія і алгоритм обчислення в реальному часі глобальної продукції гібридної декларативно-продукційної бази знань. Стратегія заснована на динамічній фрагментації в реальному часі бази знань відповідно до поточної ситуації.

6.Методика дослідження властивостей і побудови коректних баз знань для інтелектуальних керуючих систем реального часу.

7.Підхід і формальний апарат придбання знань засобом навчання і самонавчання на прикладах для інтелектуальних систем реального часу; формування на прикладах правил продукційного типу в реальному часі обчислення глобальної продукції бази знань.

8.Засоби проектування керуючих систем реального часу інтегровано з підсистемою автоматизації технологічної підготовки виробництва, що враховує особливості інтелектуалізації; засоби збільшення технологічної і оперативної гнучкості за рахунок інтелектуалізації і інтеграції підсистем ГВД.

**Наукова та практична цінність.** В роботі в рамках єдиного підходу розглянута наукова проблема подання, обробки та придбання неоднорідних (точних і нечітких) структурійованих декларативно-процедурних знань для інтелектуальних систем ситуаційного управління в реальному часі з безпосереднім зв'язком з об'єктом.

Сформульовані концепції і положення, наведені докази і одержані висновки дозволяють: строго і системно вивчати властивості інтелектуальних керуючих систем реального часу, такі як повнота і зв'язаність бази знань, коректність і несуперечливість знань, властивості відкритої бази знань, яка сформована механізмом самонавчання; створити методику побудови інтелектуальних систем управління і формування баз знань.

Інструментальний комплекс автоматизації розробки прикладних інтелектуальних керуючих систем реального часу (КОБЗА) подає нові інформаційні технології, які засновані на теоретико-множинному підході опису предметної області, для розробки конкретних додатків. Це скорочує строки і звільняє від трудомісткого програмування задач.

Впровадження прикладних інтегрованих інтелектуальних систем дозволили скоротити витрати на упорядкування середовища і підготовку виробництва, підвищити якість продукції, вирішити народногосподарську проблему управління якістю і підвищенням ефективності гнучких роботизованих виробництв.

**Участь у цільових програмах.** Робота виконувалась :

- по державній замові державної науково-технічної програми СРСР "Перспективные информационные технологии" (напрямок "Системы искусственного интеллекта, включая профессионально-ориентированные комплексы и сети баз и банков данных и знаний"; проект N 16 "Разработка математического, информационного, лингвистического и программного обеспечения иерархической продукционной системы принятия решений и управления, как типовой основы интегрированного производственного комплекса гибкого автоматизированного участка") в 1989-1992 рр.
- по державній програмі України "Системи та засоби створення інформаційного середовища України" (напрямок "Перспективні інформаційні технології, приклади комплексної автоматизації, системи зв'язку"; тема 93-1вв/42 "Розробка моделей та технологій подання та обробки знань і даних для інформаційних систем) в 1993-1996 рр.

**Вірогідність і практична значимість.** Вірогідність результатів, одержаних в дисертації, досягнута за рахунок використання сучасного математичного апарату теорії нечітких множин, вибору адекватної моделі взаємодії інтелектуальної системи з оточенням, обґрунтування мереж застосування результатів теорії, строго математичного доказу положень, одержаних в роботі.

Вірогідність результатів обґрунтовується також їх практичним застосуванням в більш ніж п'ятнадцяти прикладних інтелектуальних системах, які впроваджено та використовуються в гальвановиробництві, складанні і зварюванні вибухонепроникних оболонок, механообробці.

**Апробація роботи.** Основні наукові результати дисертаційної роботи докладалися та обговорювалися на: всесоюзній нараді "Автоматизация и роботизация производства" (Москва, 1985); всесоюзній нараді "Автоматизация, интеллектуализация и роботизация производства (Москва, 1985); міжнародній конференції "Control-85" (Кембридж, 1985); республіканській конференції "Функционально-ориентированные вычислительные системы" (Харків, 1986); всесоюзному семінарі "Гибкие производственные системы" (Москва, 1986); всесоюзній конференції "Опыт разработки и внедрения автоматизированного гальванического производства" (Рівно, 1986); всесоюзній нараді "Сборка-86" (Павлодар, 1986); всесоюзній конференції "Роботизация и ГАП" (Чернівці, 1986); всесоюзному семінарі "Программное обеспечение гибких автоматизированных систем" (Калінін, 1986); всесоюзному семінарі "Гибкие автоматизированные производства" (Москва, 1986); республіканському семінарі "Сварочные работы и вопросы роботизации производства сварочных конструкций" (Київ, 1986); всесоюзній конференції "Внедрение новых технологий в разработку и функционирование АСУ. АСУТП. Системы управления ГАП" (Свердловськ, 1987); всесоюзній конференції "Агрегатно-модульное построение техники/роботы, робототехнические комплексы, ГАП" (Іркутськ, 1987); ІУ всесоюзній нараді по робототехнічних системах (Київ, 1987); конференції "Разработка и внедрение робототехнических комплексов и ГПС" (Йошкар-Ола, 1988); республіканській конференції "Информатика и автоматизация"

(Вінниця, 1988); всесоюзній конференції "Пути совершенствования разработки программных средств и автоматизированных систем" (Свердловськ, 1989); другій міжнародній конференції по автоматизації збірки (Пловдів, 1989); всесоюзній конференції "Микропроцессорные комплексы для управления технологическими процессами" (Грозний, 1989); II всесоюзній нараді по автоматизованому проектуванню програмного забезпечення систем управління рухомими об'єктами (Харків, 1989); республіканській конференції "Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении" (Ворошиловград, 1989); X міжнародній конференції "Интертехно-89" (Ботівград, 1989); всесоюзній нараді "Искусственный интеллект в автоматизированном управлении технологическими процессами" (Грозний, 1989); всесоюзній конференції "СБОРКА-98" (Кишиньов, 1989); 10 Intern Fachtagung Galvanotechnik (Дрезден 1990); всесоюзній школі "Автоматизация создания математического обеспечения и архитектуры систем реального времени" (Іркутськ, 1990); республіканській конференції "САПР конструкторской и технологической подготовки автоматизированного производства в машиностроении" (Харків, 1990); II всесоюзній конференції "Искусственный интеллект-90" (Мінськ, 1990); республіканській конференції по мікропроцесорних системах зв'язку і управління (Алушта, 1991, 1994, 1995, 1996 рр.).

**Впровадження наукових розробок.** На основі результатів, одержаних в дисертаційній роботі розроблено більш п'ятнадцяти інтелектуальних гібридних інформаційних систем для гнучких автоматизованих виробництв, що завпроваджені в такому обсязі на підприємствах :

1. Виробництво точного лиття. По госдоговору на підприємстві п/я Х-5886, впроваджено технічний комплекс ситуаційного управління агрегатом розливу сталі - 1978 рік і систему надання порад диспетчерові з урахуванням руху оснастки, якості продукції, технічного стану і значень технологічних параметрів. -1980 рік.

2. Гальванічне виробництво. 2.1.По госдоговору на підприємстві п/я Х-5886 впроваджено: комплекс програм ситуаційного управління гальванічною лінією на базі УВК М-6000. - 1983 рік;

комплекс програм управління гальванічною ділянкою, включаючи управління ГВМ і технологічними параметрами - 1985 рік; САП Циклограм гальванічних ліній. - 1986 рік. 2.2. По договору на передачу науково-технічних досягнень впроваджена на Вуглицькому годинниковому заводі система розробки програм управління модулем гальванопокриття на підставі апарату теорії правил для ділянки із трьох ліній нанесення гальванопокриття 1986 рік. 2.3. Згідно з Постановою Ради міністрів СРСР від 31.05.84 N526 по програмі створення зразково-показової ГВС в гальванічному цеху, затвердженій 02.11.84 керівником організації п/я А-1485 на підприємстві п/я В-8921 впроваджена інтегрована система ГВД нанесення гальванопокриття, яка вирішує повний комплекс задач, автоматизація технологічної підготовки та ситуаційного управління ГВД. Рік впровадження 1987, 1988. 2.4. По госдоговору на підприємстві п/я Г-4932 впроваджена ситуаційна система управління асинхронними багатопроеційними гальванолініями на базі трьохмашинного обчислювального комплексу микро-ЕОМ "Електроніка-60". Система пройшла дослідно-промислово експлуатацію у 1989 році. 2.5. По договору на передачу науково-технічних досягнень на Тамбовському заводі гальваноліній тиражирувана система автоматизованої підготовки ГВМ, як складова комплектує гальваноагрегатів, що випускаються. Донецьким університетом було поставлено 120 комплектів в 1990-1991 роках.

3. Виробництво збірки-зварки вибухонепроникних оболонок апаратури шахтної автоматики. 3.1. По госдоговору в 1991 р. на Дніпропетровському заводі шахтної автоматики апробувана і передана у дослідно-промислово експлуатацію АСТІВ ГВД збірки і зварки. 3.2. По галузевому плану Головуглемашу Мінвуглепрому СРСР на створення та запровадження в дослідно експлуатацію роботизованого модуля зборки та зварки вибухонепроникних оболонок передані у дослідно-промислово експлуатацію САПР-УП роботизованого модуля зборки та зварки і система геометричної адаптації на основі нечітких правил для пошуку початкової точки стику у відділ робототехніки Донецького філіалу інституту Гіпругоавтоматизація та в ІЕС ім. І.О. Патона у 1990 році.

4. Виробництво деталей типу тіл обертання. 4.1. По госдоговору на заводі "ТОПАЗ" впроваджена АСТІВ ГВД деталей типу тіл обертання у 1989р. 4.2. По договору впроваджена інтегрована система ГВД деталей типу тіл обертання на підприємстві п/яВ-8921 у 1989р.

5. На державне замовлення державної науково-технічної програми "Перспективные информационные технологии" (напрямок "Системы искусственного интеллекта, включая профессионально-ориентированные комплексы и сети баз и банков данных и знаний" проект N 16) у 1989-1992 рр. був розроблений комплекс базових інструментальних засобів для розробки прикладних інтелектуальних систем (КОВЗА). Комплекс КОВЗА апробуван деякими організаціями, в тому числі на ОЦ АН СРСР.

**Публікації.** По матеріалах дисертації опубліковано 83 наукових роботи. Зміст дисертації достатньо повно висвітлено в основних публікаціях, список яких приведений в кінці автореферату. Основні результати дисертації одержані особисто автором.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, шести основних глав, основних висновків і списку літератури, що включає 227 найменувань. Повний обсяг дисертації складає 288 сторінки, що включають машинописний текст, 29 малюнків і 3 таблиці.

**Методика роботи.** В роботі використані методи теорії системного аналізу, теорії нечітких множин і відношень, теорії нечіткого керування та прийняття рішень, математичне моделювання.

## ЗМІСТ РОБОТИ.

В вступі обґрунтовується вибір теми дисертації, визначається наукова актуальність, становиться мета. Розкривається зміст і структура дисертації.

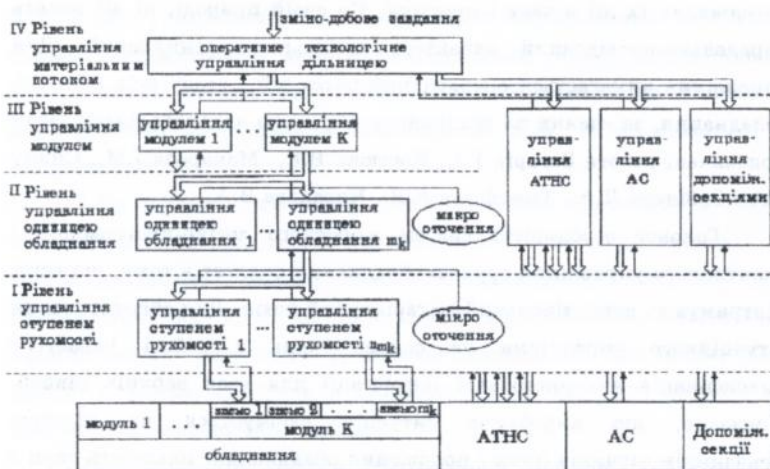
У першій главі "Гнучка автоматизована дільниця у складі інтегрованої виробничої системи. Задачи інформатизації." Проведений аналіз матеріальних струмів на прикладі трьох типів ГВД: нанесення гальванопокриття (ГВД НГ), збірки і зварки

вибухонепроникливі оболонки апаратури шахтної автоматики (ГВД ЗЗ) і обробки деталей типу тіл обертання (ГВД АСВ). Не дивлячись на існуючі особливості, структура дільниць має спільну компоновку і складається із роботизованих ГВМ, автоматичної транспортної системи (АТНС), яка підтримує матеріальний потік між модулями, автоматизованим складом (АС) і допоміжними секціями. На прикладі виробництва НГ, ГВМ забезпечує паралельну обробку  $m$  палет з деталями по декільких (до 15) різноманітних технологічних процесах і уявляє собою автоматичну лінію, яка складається із  $N$  ( $N \leq 48$ ) позицій, що обслуговуються  $K$  ( $K \leq 8$ ) автооператорами. Серед  $N$  позицій можуть бути  $m$ , на яких виконується технологічний перехід  $To_1$ ;  $n_2$  для виконання  $To_2$ , та ін.;  $pk$  - для  $k$ -го технологічного переходу. Обладнання ГВД НГ має високий рівень конструктивної (структурної, станочної та транспортної), технологічної і параметричної гнучкості. Це дозволяє підтримувати недетермінований потік, як на рівні дільниці, так і окремих ГВМ, для якого характерно: 1) випадкові моменти часу надходження палети з деталями на позицію загрузки; 2) випадкова послідовність різноманітних номенклатур деталей, що надходять на вхід ГВМ; 3) випадкові моменти часу завершення та початку виконання окремих переходів на позиціях гальваноагрегату. Останній фактор, що порушує детермінованість матеріального потоку, обумовлений не тільки неритмічністю вхідного потоку, а, головним чином, технологічними особливостями окремих переходів: а) залежність часу виконання переходу від показників якості; б) використання вимірювальних приладів для контролю завершення операції; в) динамічне формування нечітких величин, які непрямо характеризують якість. В роботі показано, що, крім підвищення якості, недетермінований матеріальний потік поліпшує показники ефективності дільниці за рахунок економії дорогіших металів (зменшує перевитрату металу при перетримках) та темпу виходу деталей.

Аналогічні висновки одержані для ГВД ЗЗ: якісна збірка і зварка обумовлює недетермінований матеріальний потік за рахунок оперативного використання сенсорної інформації.

ГВД механообробки відносяться до виробництва з високим рівнем організації робітничого середовища і концентрації операцій (переходів). Послідовність виконання переходів, характеристики переходів (засоби вибору металу, зони вибірки, режими різання) детерміновані до заданого процесу і не залежать від варіацій у характеристиках заготівок. В цьому значенні матеріальний потік на дільниці можна вважати строго детермінованим.

Аналіз задач управління ГВД, як складової частини інтегрованої гнучкої виробничої системи, дозволив їх структурувати, як показано на мал. 1.1.



Мал.1.1. Задачі управління ГВД.

На верхньому четвертому рівні управління матеріальним потоком вирішуються задачі: 1.Формування графіків реалізації зміно-добового завдання випуску продукції, наладки і ремонту обладнання, допоміжних підготовчих робіт. 2.Формування графіків матеріального потоку на дільниці. 3.Управління (реалізація графіку) матеріальним потоком. 4.Формування оперативної інформаційної моделі дільниці .

Для виробництва з високим рівнем організації робітничого середовища широко використовується підхід формування графіку, який ув'язує всі матеріальні потоки (заготівки, інструмент,

оснастка, готова продукція) у вигляді циклограми і його реалізація засобами логико-програмного управління групою обладнання. Розробці і дослідженню цих засобів управління присвячені роботи Біляніна П.Н., Гавріш А.П., Краснопрошкіної А.А., Кононенко Н.А., Пономарьова В.М., Пономаренко Л.А., Соломенцева Ю.М., Сосонкіна В.Л., Тимофієва Б.Б., Ямпольського Л.С. та інших учених.

На третьому рівні вирішуються задачі управління групою спільно працюючого обладнання по централізовано розподіленому принципу. Особливість об'єкту управління цього рівня полягає в тому, що функціонування окремих одиниць обладнання вимагає погодження їх дії в часу і просторі. По своїй природі, ці дії носять паралельно-послідовний характер, здебільшого асинхроний. Для управління вимагається оперативний облік дій і стану всіх одиниць обладнання, зв'язаних по техпроцесу. Рішенню наданого класу задач присвячені роботи Загарія Г.І., Костюка В.І., Макарова І.М., Спишу Г.А., Срібнера Л.А., Тимофієва А.В., Чиганова В.А.

Головна особливість систем жорсткого логико-програмного і адаптивного управління групою обладнання полягає в тому, що вони підтримують детермінований матеріальний потік. Для обґрунтування ситуаційного управління на основі знань в роботі надається класифікація використаної інформації для двох верхніх рівней. Показано, що виробнича ситуація формується на підставі показників датчиків (стан і положення обладнання, наявність тари з деталями на позиціях); пультів запровадження дискретної інформації, сенсорних приладів, контролюючих якості заготовок деталей та інші характеристики оточення; структурірованої точної і нечіткої інформації (завершена операція, зміно-добове завдання) та ін.

Завдання інтелектуальної інформаційно-керуючої системи на IV рівні - формувати у реальному часі опис поточної виробничої ситуації; аналізувати її і визначати номенклатуру деталей і моменти часу, коли укомплектувати тару та запускати в обробку; безпосередньо управляти обладнанням на ділянці з метою реалізації транспортно-складських і завантажено-развантажувальних операцій. У вигляді критерію управління прийнято кількість замовлень, які невиконані у директивні строки. На III рівні - у

реальному часі формувати на підставі показників датчиків опис ситуації ГВМ, проводити аналіз ситуації на основі знань, визначати нечіткі події початку обробки чергової тари з деталями та безліч техпроцесів, на які настроєний гальваноагрегат і обробка яких гарантує якість продукції, обслуговувати запити із позицій, приймаючи рішення про позицію, на котрій виконується наступний перехід; управляти транспортними операціями і технологічними параметрами на позиціях.

Відповідно до концепції інтегрованих систем наскрізного виробничого циклу, аналізу підходів до інтеграції САПР-Т, САПР-УП і СУ, і з обліком особливостей інтелектуальних керуючих систем, сформульовані вимоги до підсистеми засобів автоматизації проектування та підготовки ГВД. Вони базуються на концепції двохрівневого проектування Пономарьова В.М. та складаються у наступному :

1. На підставі креслення деталі (збірного креслення вузла) і операційної розрахунково-технологічної карти система в автоматизованому режимі повинна проектувати операції, що виконуються на ГВМ ділянки: вибір вертуального обладнання, пристосувань і переходів). Додаткова інформація, яка формується САПР - умови сполучення окремих переходів, які подані на фрагментах виробничих ситуацій.

2. За допомогою засобів інтерактивної машинної графіки (для ГВМ 3D об'ємної графіки), що дозволяють формувати моделі деталей, інструменту, оснастки, роботів та іншого обладнання (мир ГВМ) проектувати перехід (траєкторії спільно працюючого обладнання) і УП.

3. Засоби навчання і самонавчання повинні дозволяти формувати окремі ситуації ГВМ, які відбивають сумісне розміщення, стан та інші відношення поміж одиницями обладнання. Параметри окремих переходів чи послідовності зв'язаних переходів у режимі навчання повинні бути налажені на конкретні характеристики ГВМ.

4. У складі САПР повинна бути інтелектуальна підсистема, яка дозволяє динамічно у режимі реального часу синтезувати УП для операції (групи операцій) із окремих фрагментів-переходів, виходячи

з аналізу виробничої ситуації і знань про умови сполучення переходів і операцій, що підготовлені САІР.

5. В підсистемі автоматизації підготовки ГВД повинні бути передбачені інтерактивні засоби поповнення знань в БЗ інтелектуальної керуючої системи ГВД і ГВМ.

В основі інтелектуальної системи лежить модель подання і обробки знань. Узагальнені вимоги до неї, що випливають з аналізу задач управління ГВД.

1. Автоматична побудова моделі ситуації в реальному часі на основі різнорідної інформації, що надходить із оточення (сигнали від датчиків, пультів запровадження, сенсорних приладів, символічного опису). Формальні моделі подання ситуацій і знань повинні бути інтегровані на єдиній синтаксичній і семантичній платформі.

2. Універсальні однорідні засоби подання і обробки гібридних (точних і нечітких, простих і структурованих) фактів і знань для опису ситуацій і ситуаційного управління на основі знань.

3. Інтерактивний характер обробки знань в реальному часі, що відображає природу управління з безпосереднім зв'язком з об'єктом. Рішення задач ситуаційного управління є багатокроковий преривчастий процес досягнення мети із певної ситуації, що містить запит. Рішення кожного кроку, що знайдені шляхом застосування знань до поточної ситуації, є керуючими сигналами, що змінюють стан оточення. Останнє, в свою чергу, знов через датчики і сенсорні прилади відображається в моделі ситуації, аналізованої на наступному кроці.

4. Відкритість системи подання знань, що дозволить поповнювати в режимі навчання (самонавчання) знання про поведінку в ситуаціях, не передбачених заздалегідь при її проектуванні. Механізм навчання повинен бути однорідно інтегрований з механізмом обробки знань.

Проведений огляд робіт з метою обґрунтованого вибору моделей подання і обробки знань, що задовольняють наведеним вище вимогам, показав, що: 1) моделі ситуаційного управління великими системами (Железнов Ж., Загадська Л.С., Кликов Ю.І., Лозовський Л.С., Поспелов Д.А.); 2) ситуаційне управління по правилах продукційного типу (Гладун В.П., Ївсіїв О.В., Лозовський

В.Д., Наріньяні А.С., Осіпов Г.С., Попов В.Е., Тімофієв А.В., Хорошевський В.Ф., Стефанюк В.Л., Яхно Т.М.); 3) модифіковані логічні моделі (Гриф М.Г., Кондрашина І.Ю., Козак Д.А., Фінн В.К.); 4) гібридні моделі (Алексіїв А.В., Бакаїв А.А., Вагін А.І., Волкович В.Л., Гільдфайнбейн Я.А., Плісевич Г.С., Рибіна Г.В., Слядзь І.І.) добре працюють в своєму класі задач, але їх адаптація до класу, який досліджується, ускладнена в частині п.І вимог. Показано, що можна адаптувати нечіткі моделі (Блішулін А.Ф., Берштейн Л.С., Борисов А.Н., Захаров В.Н., Меліхов А.Н., Поспелов Д.А., Ульянов С.В., Щербаков І.Н.), якщо теоретично і практично обґрунтувати методику формування функцій приладдя на підставі показників датчиків чи інших сенсорних приладів і збудувати апарат автоматичного структурування даних на основі знань. Проблемі розробки і використання структурованих знань в реальному часі в останній час приділяється велика увага (Алієв Р.А., Власенко С.В., Іремійєв А.П., Пупков К.А., Федунів Б.І., Шостак В.Ф., Яковлів В.Б.). Проте, немає теорії, яка узагальнює побудову інтелектуальних систем реального часу, що дозволила би дослідити властивості динамічних баз знань, умови існування рішень і обґрунтовано запропонувати методику проектування систем такого класу.

В другому розділі "Уявлення ситуацій на базі нечітких множин. Модель оточення" введені основні визначення, на яких базується модель уявлення і обробки неоднорідних знань.

Визначення 2.1 Різницею  $\alpha$ -рівня двох нечітких множин  $\underline{A}$  і  $\underline{B}$ , для яких  $\underline{A} \cap \underline{B} = \underline{C} \neq \emptyset$  названа звичайна множина

$$\Omega_{\alpha} = \text{dif}_{\underline{A}\underline{B}}^{\alpha} = \{A/C, B/C, \{C' \mid \forall c \in C': \mu(c) = \mu_{\rho_{\alpha}}(c) = 1\}, \quad (2:1)$$

де  $\rho_{\alpha}(\underline{A}, \underline{B}) = |\underline{A} - \underline{B}|_{\alpha}$ ;  $|\underline{A} - \underline{B}|$  - абсолютна різниця двох нечітких множин  $\mu_{\rho_{\alpha}}(c) = |\mu_{\underline{A}}(c) - \mu_{\underline{B}}(c)|$ .

Визначення 2.2 Спільністю  $\alpha$ -рівня двох нечітких множин  $\underline{A}$  і  $\underline{B}$ , для яких  $\underline{A} \cap \underline{B} = \underline{C} \neq \emptyset$  названа звичайна множина

$$\Omega_a = \text{cot}_{A,B}^a = \{C' | \forall c \in C': \mu(c) = \mu_{\rho_a}(c) = 0\} \quad (2.2)$$

**Визначення 2.3** Одномісна операція  $ChC_{A,B}S$  з двома параметрами  $A = \{a | \mu(a), \forall a \in A\}; A \subset S$  і  $B = \{b | \mu(b), \forall b \in B\}; B \subset S$  названа операцією

умовної зміни нечіткої множини  $S$  (УЗНМ)-ситуації, для якої

$$1. S_1 = S \text{ при } dif_{A,S}^a = \{S \setminus A, A'\}; A' \neq \emptyset, A' \subset A, \quad (2.3)$$

$$2. S_1 \neq S, S_1 = B, dif_{S_1,S}^a \subseteq B \text{ при } dif_{A,S}^a = \{S \setminus A, A'\}; A' = \emptyset, \text{ де } S_1 = ChC_{A,B} S$$

Доказані наступні:

**Лема 2.2** Хай одномісна операція безумовної зміни фрагмента  $B \subset S$  нечіткої множини  $S$  з параметром  $B = \{s | \mu(s), \forall s \in B\}$  визначена як

$$S_1 = Ch_B S = (S \cap S_B^1) \cup S_B^0. \text{ Тоді } dif_{S,S_1} \subseteq B, S_1 = B, \quad (2.4)$$

де  $S_B^1 = \{(s | 0, \forall s \in B), (s | 1, \forall s \in S / B)\}$ ,  $S_B^0 = \{(s | \mu(s), \forall s \in B), (s | 0, \forall s \in S / B)\}$ .

**Властивість 2.1** Операція зміни нечіткої множини  $S$  асоціативна  $Ch_C(Ch_B S) = Ch_B(Ch_C S)$  при умові  $B \cap C = \emptyset, B \subset S, C \subset S$ .

**Теорема 2.1** Нехай  $A, B$  звичайні підмножини множини  $S$ ,  $A, B, S$  - нечіткі множини, задані відповідно на  $A, B, S$  і  $P_{A,B} \cdot \forall (a, b) \in A \times B; P_{A,B} \{b_i\} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \forall b_i \in B, n = \text{card} A$ . Одномісна

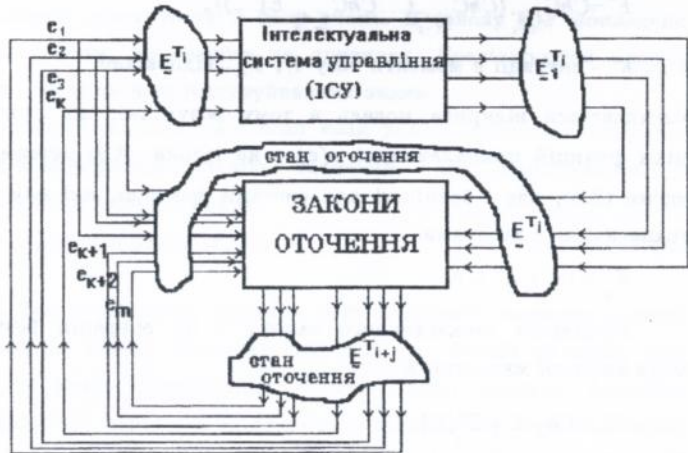
операція  $ChC_{A,B} S$  з двома параметрами  $A, B$

$$ChC_{A,B} S = Ch_R S, \quad (2.5)$$

де  $R = (P_{AB}[\rho^a(A, S_A)] \cap B) \cup (P_{AB}[\rho^a(A, S_A)] \cap S_B)$ ;  $S_A, S_B$  - фрагменти нечіткої множини  $S$ , задані на  $A \subset S, B \subset S$  звичайних підмножинах;  $P_{AB}[\rho^a(A, S_A)]$  - нечітка множина, індукційована відображенням  $P_{AB}$ ; задовольняє вимогам (2.3) умовної зміни нечіткої множини  $S$ .

**Властивість 2.2** Операція умовної зміни нечіткої множини  $S$  асоціативна  $ChC_{A, B} (ChC_{A, B} S) = ChC_{A, B} (ChC_{A, B} S)$  при слідуючих умовах  $B_1 \cap B_2 = \emptyset, B_1 \cap A_2 = \emptyset, B_2 \cap A_1 = \emptyset$ .

На основі введених визначень описана модель взаємодії інтелектуальної системи з оточенням, яка представлена на мал.2.1.



Мал. 2.1. Модель взаємодії ІСУ з оточенням.

На малюнку  $E$  - множина властивостей, через які уявляється сутність оточення, ...,  $T_i, T_j$  - моменти часу зміни властивостей оточення. Стан оточення в довільний момент часу (поточна ситуація) це нечітка множина  $E^T = \{e | \mu(e), \forall e \in E\}$ . Причиново-наслідкові зв'язки, які обумовлюють перехід оточення з одного стану в інший, пропонується описувати законами. Закон - це нечітка множина

$$Z_{A^-, A^+} = \{A^-, A^+, P_{A^-, A^+}\}, \quad (2.6)$$

де  $A^-, A^+$  - нечіткі множини, для яких виконується умова

$$A^- \cap A^+ = a \neq \emptyset, \text{ dif } \mu_{A^-, A^+} = a' \neq \emptyset, a' \subset a, P_{A^-, A^+} - \text{ нечітке відношення.}$$

Реалізація закону - це нечітка множина, одержана приміненням операції УЗНМ до ситуації оточення

$$\underline{E}^{\tau_{i+1}} = ChC_{A^+ A^-} \underline{E}^{\tau_i} = Z_{A^+ A^-} [\underline{E}^{\tau_i}]. \quad (2.7)$$

Глобальна реалізація моделі оточення це нечітка множина, одержана  $m$ -кратним застосуванням операції УЗНМ.

$$\underline{E}^+ = ChC_{A^+ A^-} (ChC_{A^+ A^-} (\dots ChC_{A^+ A^-} \underline{E} \dots)), \quad (2.8)$$

де  $\underline{E}$ ,  $\underline{E}^+$  - ситуації в моменти часу  $T_i$ ,  $T_{i+1}$ , відповідно.

Розглядається відкрита модель в тому розумінні, що причинами зміни функцій приналежності  $\mu(e)$  є не тільки ІСУ і детерміновані закони (2.6), але і зовнішні для системи фактори, які описуються стохастичними законами

$$Z_{A^+ A^-} = \{A^+\}, A^+ \subset E \quad (2.9)$$

Реалізація стохастичного закону - це операція безумовної зміни нечіткої множини  $\underline{E}$ .

$$\underline{E}^+ = Ch_{A^+} \underline{E} = Z_{A^+}^C [\underline{E}] \quad (2.10)$$

Динаміка оточення, з урахуванням детермінованих і стохастичних законів задається впорядкованою в часі послідовністю ситуацій  $RZ = \langle \dots, \underline{E}_j, \dots, \underline{E}_j, \dots, \underline{E}_k, \dots \rangle$ .

У виснову другого розділу розглянутий приклад роботизованого модуля штамповки. Дворукий робот з чотирма ступенями рухомості (ліво-право, верх-низ, руки втягнуті-витягнуті, захват відкритий-закритий) циклового типу обслуговує прес (з питателя бере заготовку, вміщує її під прес, попередньо взявши другою рукою готову деталь з-під преса і помістивши її в тару). Множина елементів  $\underline{E} = \{\text{ліво, право, низ, верх, втягнуті, витягнуті, відкритий, закритий, вліво, вправо, вниз, вверх, втягнути, витягнути, \dots}\}$ . Фрагмент детермінованих законів

$$Z_{A^+ A^-}^1 : Z_{A^+ A^-}^1 = \{A^+ = \{\text{ліво} | 1, \text{вправо} | 1\}, A^+ = \{\text{право} | 1, \text{вправо} | 0, \text{ліво} | 0\}\}.$$

$$Z_{A^+ A^-}^2 : Z_{A^+ A^-}^2 = \{A^+ = \{\text{право} | 1, \text{вліво} | 1\}, A^+ = \{\text{ліво} | 1, \text{вліво} | 0, \text{право} | 0\}\}.$$

$$\underset{-3}{Z^3} = \{A^-, A^+ \mid \text{низ} \mid 1, \text{верх} \mid 0, \text{верх} \mid 1\}, A^+ = \{\text{верх} \mid 1, \text{верх} \mid 0, \text{низ} \mid 0\}$$

Фрагмент стохастичних законів має вид:

$$Z^C: Z_{A_i} = \{\text{зав\_опера\_прес} \mid 1\} \quad Z_{A_i} = \{\text{зав\_опер\_питат} \mid 1\}.$$

В третьому розділі "Продукційні моделі знань на основі нечітких множин" дається формальне визначення ІСУ і досліджуються властивості її бази знань. В основу ІСУ покладена концепція систем, заснованих на правилах. Досліджуються модель уявлення і обробки неструктурованих знань.

В кожний момент часу стан бази даних являється моделлю оточення, відображає стадію завдання, яке вирішується, і описується нечіткою множиною

$$\underset{\sim}{S} = \{s \mid \underset{\sim}{\mu}(s), \forall s \in \underset{\sim}{S}\} = \{\underset{\sim}{C}, \underset{\sim}{B}, \underset{\sim}{\exists}\}, \text{ де} \quad (3.1)$$

$\underset{\sim}{C}$  - безліч об'єктів, функція приналежності кожного з яких формується на основі показань сенсорів;  $\underset{\sim}{\exists}$  - безліч об'єктів, для кожного з яких продукційна система (ПС) формує функцію приналежностей, через які здійснюється зміна стану оточення через виконавчі механізми;  $\underset{\sim}{B}$  - "внутрішні" об'єкти, функції приналежностей яких формуються ПС і вони не зв'язані безпосередньо з оточенням. Можливі варіанти інформаційних систем: а)  $\underset{\sim}{C} = \emptyset, \underset{\sim}{\exists} = \emptyset$  - "класичні" off-line системи, які не мають безпосереднього зв'язку з оточенням; б)  $\underset{\sim}{B} = \emptyset, \underset{\sim}{C} \neq \emptyset, \underset{\sim}{\exists} \neq \emptyset, \underset{\sim}{C} \cap \underset{\sim}{B} = \emptyset$  - "класичні" on-line системи, які мають входи і виходи, що зв'язані з оточенням; в)  $\underset{\sim}{C} \neq \emptyset, \underset{\sim}{B} \neq \emptyset, \underset{\sim}{\exists} \neq \emptyset$  - комбіновані on-line системи.

База знань (БЗ)  $\underset{\sim}{\Pi} = \{\underset{\sim}{\Pi}_1, \dots, \underset{\sim}{\Pi}_L\}$  - нечітка множина, де

$$\underset{\sim}{\Pi}_i = \underset{\sim}{\Pi}_{YD} = \{\underset{\sim}{Y}, \underset{\sim}{D}, \underset{\sim}{P}_Y, \underset{\sim}{P}_D, \underset{\sim}{P}_{YD}\}, \text{ або якщо } \underset{\sim}{Y} \text{ ТОДІ } \underset{\sim}{D} \text{-правило продукції.} \quad (3.2)$$

В правилі  $\underset{\sim}{Y} = \{y \mid \underset{\sim}{\mu}(y), \forall y \in \underset{\sim}{Y}\}, \underset{\sim}{D} = \{d \mid \underset{\sim}{\mu}(d), \forall d \in \underset{\sim}{D}\}$  нечіткі множини,

відповідно, умова застосування правила і дія;  $\underset{\sim}{P}_Y, \underset{\sim}{P}_D, \underset{\sim}{P}_{YD}$  - нечіткі

відношення, задані на перетині  $S \times Y, D \times S, Y \times D$ , відповідно.

Інтерпретатор правил знаходить продукцію правил з БЗ. Продукція правила - це нечітка множина, одержана застосуванням операції зміни нечіткої множини (2.5) до стану ВД згідно (2.3)

$$\underset{\sim}{S}^* = \underset{\sim}{S} \text{ Prod } \underset{\sim}{\Pi} = \underset{\sim}{ChC}_{\underset{\sim}{ID}} \underset{\sim}{S} \quad (3.3)$$

Глобальна продукція бази знань - L-кратна операція УЗНМ.

$$\underset{\sim}{S}^* = \underset{\sim}{S} \overset{\wedge}{\text{Prod}} \underset{\sim}{\Pi} = (\dots((\underset{\sim}{S} \text{ Prod } \underset{\sim}{\Pi}) \text{ Prod } \underset{\sim}{\Pi}) \dots) \text{ Prod } \underset{\sim}{\Pi} \quad (3.4)$$

$\sim_{r_1 D_1} \quad \sim_{r_2 D_2} \quad \sim_{r_L D_L}$

З врахуванням того факту, що для динамічних систем з безпосереднім зв'язком з оточенням розв'язання завдання (досягнення мети) є переривистим, активізація інтерпретатора відбувається в моменти зміни стану ВД. Початковим моментом активізації є запит. Запит  $\underset{\sim}{\Psi} = \{\underset{\sim}{\psi} | \underset{\sim}{\mu}(\underset{\sim}{\psi}), \forall \underset{\sim}{\psi} \in \underset{\sim}{\Psi}, \underset{\sim}{\Psi} \subset \underset{\sim}{S}\}$  і мета

$$\underset{\sim}{\Phi} = \{\underset{\sim}{\phi} | \underset{\sim}{\mu}(\underset{\sim}{\phi}), \forall \underset{\sim}{\phi} \in \underset{\sim}{\Phi}, \underset{\sim}{\Phi} \subset \underset{\sim}{S}\} \quad \text{- нечіткі множини. Таким чином,}$$

динамічна продукційна система з безпосереднім зв'язком з оточенням - це п'ятірка ПС =  $\{\underset{\sim}{S}, \underset{\sim}{\Pi}, \underset{\sim}{\Psi}, \underset{\sim}{\Phi}, \underset{\sim}{\text{Prod}}\}$ . В розділі розглянуті багатоцільі, поточні ПС.

Поряд з основними характеристиками БЗ традиційних ПС, такими як повнота, коректність, конфлюентність, несуперечливість, для динамічних систем важливу роль відіграє зв'язність БЗ.

**Визначення 3.1** Два стани ВД  $\underset{\sim}{S}_1$  і  $\underset{\sim}{S}_2$  названі зв'язаними правилом-законом  $\underset{\sim}{\Pi}_{\underset{\sim}{ID}} - Z_{\underset{\sim}{A} \rightarrow \underset{\sim}{A}}$ , якщо правило  $\underset{\sim}{\Pi}_{\underset{\sim}{ID}}$  пристосоване до  $\underset{\sim}{S}_1$  і його продукція приводить до реалізації закону  $Z_{\underset{\sim}{A} \rightarrow \underset{\sim}{A}}$ , так, що

1.  $\underset{\sim}{S}' = \underset{\sim}{S}' = \underset{\sim}{S} \text{ Prod } \underset{\sim}{\Pi}_{\underset{\sim}{ID}}$ ,  $\underset{\sim}{S}' \neq \underset{\sim}{S}_1$ ,  $\underset{\sim}{S}' = P_{\underset{\sim}{D}(\underset{\sim}{D})} \underset{\sim}{D}$ .      2.  $\underset{\sim}{E}' = \underset{\sim}{E}' = G[\underset{\sim}{S}']$
3.  $\underset{\sim}{E}'' = \underset{\sim}{E}'' = Z_{\underset{\sim}{A} \rightarrow \underset{\sim}{A}}[\underset{\sim}{E}']$ ,  $\underset{\sim}{E}'' \neq \underset{\sim}{E}'$ ,  $\underset{\sim}{E}'' = \underset{\sim}{A}^+$ .
4.  $\underset{\sim}{S}'' = \underset{\sim}{S}_2 = G^{-1}[\underset{\sim}{E}']$ ,  $\underset{\sim}{S}_2 \neq \underset{\sim}{S}_1$ ,  $\underset{\sim}{S}_2 = \underset{\sim}{A}^+ \cup \underset{\sim}{D}$ , де  $G$  - звичайне

відображення, задане на пересіченні  $E \times S$ ,  $G^{-1}$  - зворотнє

відображення,  $G[S], G^{-1}[S]$  - нечіткі множини, індукційовані відображеннями  $G, G^{-1}$ , відповідно.

Надалі використовується компактна форма запису

$$\underline{S}^* = Z_{A, A'}[\underline{S} \text{ Prod } \underline{\Pi}_{Y, D}] \quad (3.5)$$

Розв'язанням завдання  $\underline{\Psi} \rightarrow \underline{\Phi}$  названа упорядкована множина станів БД попарно зв'язаних правилом-законом  $TR_{\underline{\Psi}, \underline{\Phi}}(S_0) = \langle S_0, S_1, \dots, S_k \rangle$ , таке що  $S_0 = \underline{\Psi}$ ,  $S_k = \underline{\Phi}$ ,  $S_{i+1} = Z_{A, A'}[S_i \text{ Prod } \underline{\Pi}_{Y, D}]$ .

**Визначення 3.2.** База знань  $\underline{\Pi}$  є зв'язаною на множині законів  $Z = \{Z^C, Z^D\}$  для стану БД  $S_0 = \underline{\Psi}$ , якщо для нього знайдеться хоч

би одне рішення завдання  $TR_{\underline{\Psi}, \underline{\Phi}}(S_0) = \langle S_0, S_1, \dots, S_i, \dots, S_k \rangle$ ,  $S_k = \underline{\Phi}$ , де  $k$  - кінцеве.

Властивість зв'язності показує, що мінімальна база знань повинна містити правила, які описують розв'язання завдання для одного "ідеального" варіанта, коли не враховуються всі можливі реалізації стохастичних законів, які можуть статись в процесі розв'язання завдання на будь якому кроці продукцій.

Завдяки використанню апарата нечітких множин, формально введені визначення тотожних, несуперечливих за умови застосованості, коректних і конфліктних правил і доказані наступні леми та теореми.

**Лема 3.1** Нехай  $\underline{\Pi}$  - несуперечна база знань (не містить в собі конфліктних правил) і  $TR_{\underline{\Psi}, \underline{\Phi}}(S_0)$  - рішення задачі для стану  $S_0$ , на якому база знань зв'язна. Тоді  $m$ -крокова глобальна продукція  $\hat{S}_1 = Z[\hat{S}_0 \text{ Prod } \hat{\Pi}]$ ,  $\hat{S}_2 = Z[\hat{S}_1 \text{ Prod } \hat{\Pi}]$ , ...,  $\hat{S}_m = Z[\hat{S}_{m-1} \text{ Prod } \hat{\Pi}]$  є рішенням задачі  $TR_{\underline{\Psi}, \underline{\Phi}}(S_0) = \langle S_0, S_1, \dots, S_m \rangle$  для оточення  $Z^C = \emptyset$ .

**Теорема 3.1.** Нехай  $\underline{\Pi}$  - коректна несуперечна база знань на множині законів  $Z = \{Z^C, Z^D\}$ . Тоді для будь-якого початкового стану  $S_0 = \underline{\Psi}$

$m$  - крокова глобальна продукція є рішенням задачі  $\psi \rightarrow \varphi$ , де  $m$  - кінцеве число.

З теореми знайдено висновок. Для того, щоб побудувати коректну базу знань на безлічі законів  $Z$  необхідно: 1. Знайти рішення задачі для одного початкового стану і пустої множини  $RZ^C$ . 2. Для кожного стану, який належить рішенню задачі виконати аналіз і побудувати безліч можливих реалізацій стохастичних законів. 3. Для кожної одержаної ситуації сконструювати правила, які зв'язують її з одним із станів рішення. 4. Провести аналіз одержаної БЗ на несуперечливість.

Вивчені стратегії знаходження глобальної продукції. Вони базуються на властивості асоціативності операції зміни нечіткої множини.

Час вичислення глобальної продукції на ЕОМ з класичною архітектурою Фон-Неймана залежить від обраної стратегії. Розглянуті стратегії "від знань до даних", "від даних до знань".

З трьох стратегій першого класу - 1. Послідовна повна глобальна продукція; 2. Модифікований нормальний алгоритм Маркова і 3. Алгоритм Маркова, який застосовується до фрагментованої бази знань - найбільш ефективною є остання.

Умови застосування стратегій "від даних до знань" витікають з: Теорема 3.2 Нехай  $S^i, S^{i-1}$  стани БД на  $i-1$ -м і  $i$ -м кроках глобальної продукції і  $a = dif_{S^i, S^{i-1}} \neq \emptyset$ . Візьмемо фрагмент коректної БЗ  $\pi_a(\Pi)$ , такий, що для всіх правил  $\Pi_{y, D_i} \in \pi_a(\Pi)$  виконується умова  $P_y^{-1}\{Y_i\} \cap a \neq \emptyset$ . Тоді для будь-якого правила  $\Pi_{y, D_i} \in \pi_a(\Pi)$  не можуть бути виконані умови застосованості до стану  $S^i$ .

На основі теореми розроблена і досліджена

Стратегія 4. Глобальна продукція динамічно виділеного фрагмента БЗ. Нехай  $\Pi$  - коректна БЗ і  $\{\pi_{s_i}(\Pi)\}_{i=1}^M$  - множина фрагментів, таких, що  $\Pi_{y, D_i} \in \pi_{s_i}(\Pi)$ , якщо  $s_i \in P_y^{-1}\{Y_i\}$ . Причому,  $\pi_{s_i}(\Pi) \cap \pi_{s_j}(\Pi) \neq \emptyset$ . На поточному кроці глобальної продукції стан

БД є  $\underline{S}$ , таке, що  $a = \text{diff}_{S^i, S^{i-1}} \neq \emptyset$ . Виділимо поточний фрагмент бази знань  $\pi_a(\Pi) = \bigcup_{s_i \in a} \pi_{s_i}(\Pi)$ . Фрагмент  $\pi_a(\Pi)$  включає тільки "підозрілі" правила, які потенціально можуть бути застосовані до  $\underline{S}$ . До фрагмента  $\pi_a(\Pi)$  застосовується стратегія 1. З теореми 3.2 безпосередньо витікає, що глобальна продукція по стратегії 4 тотожна ПГП.

В системі реального часу для реалізації необхідний додатковий механізм ідентифікації елементів, які змінили своє значення і відповідних їм фрагментів БЗ  $\pi_a(\Pi)$ . Перше питання вирішується апаратно шляхом підключення сенсорних приладів через модулі вводу ініціативних сигналів, друге - шляхом створення таблиць адрес правил для кожного елемента бази даних. Найбільш ефективним підходом є створення паралельних поточкових комп'ютерів, обчислювачі яких реалізують операцію продукції правила.

**Четвертий розділ** "Моделі структурованих знань" присвячений розробці і дослідженню властивостей структурованих декларативно-процедурних баз знань. Структура оточення може бути врахована двома шляхами. Ввести структурування безпосередньо в правила (структуровані процедурні правила), або структурувати базу даних (структуровані декларативні знання). Для першого випадку структуровані процедурні знання мають вигляд

$$\underline{\Pi}_{YD} = \{ \underline{Y} = \{ P_Y [ F(W_1 [ \underline{S} ], W_2 [ \underline{S} ], \dots, W_k [ \underline{S} ]), \underline{Y} \}, \underline{D}, \underline{P}_Y, \underline{P}_D, \underline{P}_{YD} \}, \quad (4.1)$$

де  $F(\bullet)$  довільна формула над нечіткими множинами,  $W_i$  - відображення, визначені на  $S \times S$ . Структурування процедурних знань пов'язане з попередньою логічною обробкою поля "ЯКЩО" правил. Це викликає порушення однорідності обчислення продукції в операції ChC. З цих передумов запропонований інший шлях - структурувати БД. Для цього введені три відношення на фрагментах нечітких множин.

**Визначення 4.1** Нехай  $S$  і  ${}^1S$  - дві звичайні множини. Фрагмент  ${}^1S_A \subset {}^1S$  знаходиться у відношенні OR з фрагментом  $S_A \subset S$ , якщо дотримуються умові:

$$1. \text{ При } com_{S_A, S_A}^{\sigma} \neq \emptyset \text{ фрагмент } {}^1S_{-A} = \{s|1, \forall s \in {}^1S\} \quad (4.2)$$

$$2. \text{ При } com_{S_A, S_A}^{\sigma} = \emptyset \text{ фрагмент } {}^1S_{-A} = \{s|0, \forall s \in {}^1S\}$$

Описувач структури OR позначений  $OP = \{S_{-A}, OR_{S, S}\}$ .

**Лема 4.1** Нечітка множина, індукційована відношенням OR знаходиться

$${}^1S_{-A} = OR_{S, S}[S_{-A}] = OR_{S, S}[\rho_{-a}(\hat{S}_{-A}, \hat{S}_{-A})] \quad (4.3)$$

**Визначення 4.2** Нехай  $S$  і  ${}^1S$  дві звичайні множини. Фрагмент  ${}^1S_{-A} \subset {}^1S$  знаходиться у відношенні "AND" з фрагментом  $S_A \subset S$ , якщо дотримуються умови:

$$1. \text{ При } com_{S_A, S_A}^{\sigma} = S_A \text{ фрагмент } {}^1S_{-A} = \{s|1, \forall s \in {}^1S_A\} \quad (4.4)$$

$$2. \text{ При } com_{S_A, S_A}^{\sigma} \neq S_A \text{ фрагмент } {}^1S_{-A} = \{s|0, \forall s \in {}^1S_A\}$$

Описувач структури "AND"  $OP = \{\hat{S}_{-A}, AND_{S, S}\}$ .

**Лема 4.2** Нечітка множина  ${}^1S$ , індукційована відношенням "AND" є

$${}^1S_{-A} = AND_{S, S}[S_{-A}] = AND_{S, S}[\rho_{-a}(\hat{S}_{-A}, \hat{S}_{-A})] \quad (4.5)$$

**Визначення 4.3** Нехай  $S$  і  ${}^1S$  дві звичайні множини. Фрагмент  ${}^1S_{-A} \subset {}^1S$  названий умовним на  $S_A$ , якщо його функція приналежності залежить від  $S_{-A}$  як від параметра.

Нечітка множина індукційована відношенням "IF"  ${}^1S_{-A} = IF_{S, S}[S_{-A}]$  з функцією приналежності  $\mu_{S_A}({}^1s) = \text{MAX}_{s \in S}(\text{MIN}[\mu_{S_A}({}^1s|s), \mu_{S_A}(s)])$ .

Описувач структури типу IF на фрагментах  $OP_{IF} = \{S_{-A}, IF_{S, S}\}$ .

На основі елементарних відношень "AND", "OR", "IF" конструюються структури з довільною складністю відношень між елементами множин.

Введений апарат відношень на фрагментах дозволив розширити визначення продукційної системи на випадок структурованого оточення.

База даних визначена на звичайній множині  $S^\Sigma = \{C, {}^1C, {}^2C, \dots, {}^kC, \exists, B\}$ . На  $C$  визначається неструктурована модель поточного стану оточення; на  ${}^1C$  - модель першого рівня структурування, на  ${}^2C$  - модель другого рівня і т.д. Становище БД - нечітка множина  $\underline{S}^\Sigma = \{\underline{C}, \underline{{}^1C}, \underline{{}^2C}, \dots, \underline{{}^kC}, \underline{\exists}, \underline{B}\}$ , в якій  $\underline{{}^1C}, \underline{{}^2C}, \dots, \underline{{}^kC}$  формуються декларативними правилами.

База знань  $\underline{\Pi} = \{ \underline{\pi}^n(\underline{\Pi}), \underline{\pi}^D(\underline{\Pi}) \}$ , де  $\underline{\pi}^n(\underline{\Pi})$  - фрагмент БЗ, який містить тільки правила продукції (процедурна);  $\underline{\pi}^D(\underline{\Pi})$  містить декларативні правила індукції. Правило індукції - це описувач структури об'єкта рівня  $i$ :

$$\underline{\Pi}_{-i, u_i} = \{ (U_{-01}, OR_{-c^1c}), (U_{-02}, AND_{-c^1c}), (U_{-03}, IF_{-c^1c}), R_{\sim uc} \}, \quad (4.6)$$

$$\{ (U_{-i-1,1}, OR_{-c^1c^2c_{-i-1}c^1c^1c}), (U_{-i-1,2}, AND_{-c^1c^2c_{-i-1}c^1c^1c}), (U_{-i-1,3}, IF_{-c^1c^2c_{-i-1}c^1c^1c}), R_{\sim uc^i} \}.$$

де  $R_{\sim uc}, R_{\sim uc^2}, \dots, R_{\sim uc^i}$  - нечіткі відношення, задані на пересіченні множин, відповідно  $U \times C, U \times {}^1C, U \times {}^iC$ , які встановлюють відповідність між об'єктами множини  $U$  (множина об'єктів правила) і базою даних.

Процедурні правила мають вигляд, аналогічний (3.2).

$$\underline{\Pi}_{-YD} = \{ \underline{Y}, \underline{D}, \{ \underline{P}_{-Yc}, \underline{P}_{-Yc^2}, \dots, \underline{P}_{-Yc^i} \}, \underline{P}_{-D}, \underline{P}_{-D^i} \} \quad (4.7)$$

Знаходження продукції інтерпретатором правил розбито на дві фази:

1. Формування структурованої моделі ситуації в базі даних шляхом знаходження індукції правил декларативної БЗ по формулі

$$\hat{\underline{S}}^\Sigma = \underline{S} \hat{\underline{Ind}} \underline{\Pi}_D = \{ (\underline{S} \underline{Ind} \underline{\Pi}_{-u_1}) \cup (\underline{S} \underline{Ind} \underline{\Pi}_{-u_2}) \cup \dots \cup (\underline{S} \underline{Ind} \underline{\Pi}_{-u_n}) \}, \text{ де}$$

$$\underline{S} \underline{Ind} \underline{\Pi}_{-u_i} = \{ \underline{C}^+ = \{ \underline{C} \}, \underline{C}^+ = \{ (OR_{c^1c}[\underline{C}^+]) \cup (AND_{c^1c}[\underline{C}^+]) \cup (IF_{c^1c}[\underline{C}^+]) \},$$

..... (4.8)

$${}^1C^+ = \{OR_{c,c,t,c}[C^+, {}^1C, \dots, {}^{t-1}C] \cup AND_{c,c,t,c}[C^+, {}^1C, \dots, {}^{t-1}C] \cup IF_{c,c,t,c}[C^+, {}^1C, \dots, {}^{t-1}C]\}$$

2. Глобальна продукція процедурної БЗ у відповідності з (3.3) і (3.4). В роботі доведені теореми тотожності глобальної продукції неструктурованої БД і індукції - продукції структурованої БД. Наводяться приклади структурованих неоднорідних моделей знань. Наприклад, правило, яке задає гальмування при підході робота до позиції призначення на середній швидкості має вигляд:

$\Pi^{1-5}$  : ЯКЩО {рух\_вправо|1, коротка|0.6, швидкість\_середн|1}

ТОДІ {вправо\_середн|0, вправо\_мала|1}

В наведеному правилі використовуються точні структуровані знання - рух\_вправо, які формуються динамічно на основі інформації про поточну позицію, де знаходиться робот, і позиції призначення; неструктурований факт швидкість\_середн, сформований за показами датчика; сигнали управління: вправо\_середн і вправо\_мала; і структуроване нечітке знання - дистанція\_коротка. Декларативне правило, яке описує поняття ДИСТАНЦІЯ = { КОРОТКА, СЕРЕДНЯ, ДАЛЬНЯ } є чотириохрівневою структурою

$$\underline{\Pi}_{u_1} = \{U_{-04}, IF\}; \underline{\Pi}_{u_1} = \{U_{-03}, {}^3OR\}; \underline{\Pi}_{u_1} = \{U_{-02}, {}^2AND\}; \underline{\Pi}_{u_1} = \{U_{-01}, {}^1OR\},$$

яка відображає знання про можливі варіанти розташування поточної і цільової позицій. На шкалі відстаней між позиціями (елементи множини  $U_{04}$ ) побудоване нечітке відношення IF, яке вказує на приналежність коротка, середня і дальня кожному значенню шкали. Індукція декларативного правила на основі поточної ситуації формує в БД значення функцій приналежностей фрагмента ДИСТАНЦІЯ.

В роботі показано, що декларативно-процедурна модель для інтегрованого уявлення неоднорідних знань має наступні переваги: А).Для задач, які описуються точними моделями знань, суттєво скорочується кількість правил продукції при введенні декларативних правил. Можливість паралельної обробки декларативної і процедурної частин скорочує час обробки БЗ. Б).Для задач, адекватно описаних нечіткими моделями, з допомогою декларативних знань подаються класичні структури - нечітка і лінгвістична перемінна, нечіткі відношення, складні нечіткі структури і механізм нечіткого композиційного виводу. В).Для

задач, які адекватного описуються як точними, так і нечіткими знаннями, запропоновані моделі в єдиному однорідному стилі в рамках одного процедурного або декларативного правила описують довільну комбінацію точних і нечітких фрагментів знань. Для обробки гібридних знань використовується єдиний механізм обчислення продукції процедурних правил і індукції декларативних.

В п'ятому розділі "Механізм придбання знань в продукційних системах. Самонавчання." досліджений підхід до придбання знань, заснований на "людиноорієнтованій" парадигмі - навчання на прикладах. Технологія придбання знань така: на першому етапі експерт, фахівець в предметній галузі, з допомогою інструментарію розробляє мінімальну базу знань. На другому етапі експерт виконує роль вчителя. Його завдання "показати" системі основні ситуації, в яких їй доведеться працювати. Споруджений механізм самонавчання автоматично формулює правила для цих ситуацій. На третьому етапі промислової експлуатації системи механізм самонавчання автоматично формує правила для нових "незнайомих" ситуацій, які можуть виникати в процесі роботи. Мінімальна база повинна включати п'ять фрагментів:  $\pi^0(P)$  - мінімальний набір загальних правил, зв'язаних на "запрос-ціль". На практиці, для обладнання передбачений "ручний" режим управління від кнопок пульта. Наприклад, для робототехнічних комплексів є можливість управління окремими ступенями рухомості з виносного "ручного" пульта: вгору, вниз, відкрити схват і т.д. Правило цього фрагмента має вигляд

ЯКЩО {команда\_пульта\_вниз|1} ТОДІ {вниз|1}.

$\pi^1(P)$  містить позитивні правила, продукція яких включає фрагмент цілі в стані БД (правила, які продукують на останньому кроці досягнення мети);  $\pi^2(P)$  - містить негативні правила, призначені для попередження "аварійних" ситуацій;  $\pi^3(P)$  - правила активної поведінки системи при наявності фрагмента запиту в стані БД. Крім цих фрагментів, в БЗ є  $\pi^4(P)$  - фрагмент пустих правил типу  $\tilde{P} = \{O_T, O_D, O_{P_T}, O_{P_D}, P_{S_S}\}$ , де  $O_T = \{y_1|0, y_2|0, \dots, y_n|0\}$ ;  $O_D$

$= \{d_1|0, d_2|0, \dots, d_m|0\}$ ;  $O_{P_T} = O_{P_D} = \{(s,y)|0, \forall (s,y) \in S \times Y\}$ . Задача механізму самонавчання сформуванати правило з фрагмента  $\pi^4(\Pi)$ , тобто знайти його компоненти.

При формуванні правил використовується стан БД на попередньому кроці глобальної продукції. Для цього розширено поняття БД:  $S^{\Sigma} = \{^0S, S\}$ , де  $^0S = R[S]$  - нечітка множина, індукційована взаємо-однозначним відображенням  $R$  з множини  $S$ .

В дисертації одержані основні операції для формування правила.

**Визначення 5.1.** Нехай  $\Pi' = \{Y_j, D_j, P_{Y_j}, P_{D_j}, P_{Y_j D_j}, P_{^0S_{j,1}}\}$  формуюче і  $\Pi^{j-1} = \{Y_{j-1}, D_{j-1}, P_{Y_{j-1}}, P_{D_{j-1}}, P_{Y_{j-1} D_{j-1}}, P_{^0S_{j-1,1}}\}$  формоване правила.

Операція знаходження відношень  $\{P_{Y_{j,1}}, P_{D_{j,1}}, P_{Y_{j,1} D_{j,1}}\}$  в стані БД  $^0S$ , позначена символом “@” має вигляд:

$$((P_{Y_{j,1}}, P_{D_{j,1}}, P_{Y_{j,1} D_{j,1}}) @ ^0S) = ((P_{Y_{j,1}}, P_{D_{j,1}}, P_{Y_{j,1} D_{j,1}}) \wedge + \quad (5.1)$$

$$\{\Gamma^{\Delta} \cap G^{j-1}[\rho^{\alpha}(\rho_{^0S_{j-1,1}}[{}^0S], \{Y_{j-1}, D_{j-1}\})]\} \bullet (\Gamma^{\Delta'} \cup G^{j-1}[\rho^{\alpha}(\rho_{^0S_{j-1,1}}[{}^0S], \{Y_{j-1}, D_{j-1}\})]),$$

де  $G^{j-1}$  - відображення, визначене на  $\Pi^{j-1} \times \Pi^{j-1}$ ;  $\Gamma^{\Delta}, \Gamma^{\Delta'}$  - спеціальні нечіткі множини, задані на  $O_T \times O_T$ ;  $O_T = \{O_{P_Y}, O_{P_D}, O_{P_{YD}}\}; \forall z \in \overset{\Delta}{O_T}: \mu(z) = \Delta, \mu(z) = \Delta', 0 < \Delta, \Delta' < 1$ . В (5.1)

записані операції алгебраїчної суми “+” і алгебраїчного добутку “•” двох нечітких множин.

**Визначення 5.2.** ІСУ навчається правилу  $\Pi^{j-1}$  на послідовності з  $k$  прикладів  $\{S_1, ^0S_1\}, \{S_2, ^0S_2\}, \dots, \{S_k, ^0S_k\}$ , які задовольняють умові:

$$\text{com}_{c_1, c_2, \dots, c_k}^{\alpha} = P_{Y^{j-1}}^{-1} \{Y^{j-1}\}; \text{com}_{o_1, o_2, \dots, o_k}^{\alpha} = P_{D^{j-1}} \{D^{j-1}\} \text{ по формулі}$$

$$\Pi^{j-1} @^0 \{S_1, S_2, \dots, S_k\} = ((\dots (\Pi^{j-1} @^0 S_1) @^0 S_2) \dots @^0 S_k) \quad (5.2)$$

Визначення 5.3. Продукцією правила  $\Pi_{T,D}$  з самонавчанням названа нечітка множина, одержана операцією

$$S^x \text{ Prod}(@) \Pi^i = \hat{ChC}_{IS \text{ Prod} \Pi^i, J \Pi^{i-1} @^0 S, S} \{S^x, \Pi^x\}, \quad (5.3)$$

де  $\hat{ChC}$  - інверсія операції умовної зміни нечіткої множини;  $\text{Prod}$  - операція звичайної продукції (3.8);  $@$  - операція формування правила (5.2).

Знайдені умови, при яких  $m$  - крокова глобальна продукція з самонавчанням для неповного фрагмента "технологічних знань"  $\pi^5(\Pi)$  формує нове правило на навчальній послідовності, продукція якого належить рішенню задачі. Доведено, що правило формується за кінцеве число кроків  $m$  і продукція з самонавчанням формує повний коректний фрагмент БЗ  $\pi^5(\Pi)$ . В режимі навчання з учителем на основі фрагментів  $\pi^0(\Pi)$  і  $\pi^1(\Pi)$  формується зв'язаний несуперечливий фрагмент  $\pi^5(\Pi)$  такий, що  $k$  - крокова глобальна продукція на ньому являється рішенням задачі на пустій множині стохастичних законів. В режимі самонавчання на основі  $\pi^2(\Pi)$  і  $\pi^3(\Pi)$  фрагмент  $\pi^5(\Pi)$  поповнюється знаннями, необхідними для одержання рішення задачі для заданої множини стохастичних законів.

В шостому розділі "Промислові інтелектуальні інформаційно-управляючі системи ГВД" освітлюються концепція, організація, структура і склад інструментального комплексу базових засобів автоматизації розробки прикладних інтелектуальних систем (КОВЗА), а також промислові інтелектуальні системи ГВД нанесення гальванопокрив, збирання і зварки вибухонепроникних оболонок і обробки деталей типу тіл обертання.

Концепції організації інтегрованої інтелектуальної інформаційно-управляючої системи ГВД, яка включає підсистеми технологічної підготовки і управління ГВД, ГВМ задовольняє архітектура ПО, організована по принципу підсистем, які управляються потоками. Кожна з підсистем має уніфіковану багаторівневу архітектуру, на нижньому рівні якої знаходиться

монітор реального часу, на наступному рівні комплекси програм формування БД і ВЗ і на верхньому рівні інтерпретатор правил і програми утіліті.

Інструментальний комплекс КОБЗА призначений для автоматизації розробки окремих прикладних систем з вищевказаною архітектурою. Технологія розробки прикладної системи з допомогою КОБЗА включає наступні етапи: 1. Аналіз предметної області і розробка моделі подання знань. 2. Специфікація структури ПО. 3. Налаштування на предметну область (розробка процедур, введення і відладка моделі предметної області). 4. Відривання готового ПО і включення його до складу підсистеми, яка розробляється.

Інструментарій КОБЗА автоматизує другий, третій і четвертий етапи. До складу базових засобів КОБЗА входять: 1. Системна БД з ієрархічно-сітьовою моделлю даних. Предметна область описується структурами Клас - Об'єкт - Атрибут - Значення. 2. Система подання знань, яка підтримує гібридні структуровані декларативні і продукційні моделі знань, а також графічні образи. Інтерактивні засоби СПЗ, в залежності від рівня деталізації, орієнтовані на користувачів двох типів: експерта, фахівця в предметній області, і інженера по знанням, фахівця системотехніка, якому надається інструмент для прив'язки моделей знань до фізичних сигналів. Різноманітність конструкцій опису декларативних знань в КОБЗА зведено до однорідної технології "нечітка множина - нечіткі відношення" на верхньому рівні, і опису характеристик атрибутів, зв'язків, адрес на нижньому рівні. Система подання продукційних знань структурована у вигляді "предметна область - секції - правила". Правило структуроване полями ЯКЩО І "текст" І "текст" ... ТОДІ І "текст" І "текст"..., де "текст" - довільна текстова інформація, в якій виділені ключові фрагменти: імена об'єктів, імена атрибутів, імена елементів і їх значення (нечіткі множини). На основі ключових фрагментів будується внутрішнє подання правила, яке обробляється інтерпретатором. 3. Монітор, який підтримує роботу інтерпретатора, відладчика і допоміжних програм в реальному, модельному часі і статичному режимі. 4. Форматор, який дозволяє синтезувати екранні і вихідні форми на основі даних і знань, які зберігаються в системі.

Наведений детальний опис інтелектуальної інформаційно-управляючої системи ГВД нанесення гальванопокриття, яка комплексно вирішує задачі: АСПВ ГВД, управління на рівні

дільниці (міжмодульне управління) і управління ГВМ. В АСПВ ГВД автоматизовані задачі САІР ТП - проектування маршруту обробки і операцій (синтез технологічних операцій з окремих елементів, які обирає технолог з БД). Автоматично вирішуються задачі САІ УП - формування графіка роботи гальваноагрегатів (циклограми для СЧПУ циклового типу і траєкторія рішення для ситуаційних систем управління) і управляючих програм, або структур даних. Формування графіка роботи гальваноагрегата здійснюється інтерпретатором правил в процесі рішення задачі. Становища БД, які належать рішенню задачі, аналізуються спеціальною програмою пошуку циклу. При виявленні циклу, здійснюється оцінка його ефективності за критеріями завантаження основних ванн гальваноагрегата, темпу виходу готових деталей і передержках в часі. Крім декларативних правил БЗ включає дві секції продукційних правил. Одна містить правила управління устаткуванням для безлічі допустимих узагальнених ситуацій, друга - закони оточення. Монітор по черзі в модельному часі викликає ці секції ініціюючи роботу інтерпретатора.

В ситуаційній продукційній системі управління (СПРУТ-0) матеріальним потоком на ділянці виділено два типи замовлень: на завантаження і розвантаження гальваноагрегатів і допоміжних секцій. Замовлення структуровані, наприклад, завантаження агрегата розділено на фази: 1. Аналіз стану виконання змінно-добового завдання і вибір номенклатури заготовок з найвищим пріоритетом, які можуть бути оброблені на агрегаті, який виставив запит. 2. Підгін автооператора (робота) складу-накопителя деталей до позиції, на якій знаходиться обрана тара з заготовками. 3. Доставка роботом тари на позицію розвантаження/завантаження складу. 4. Підгін автоматичного транспортного візка (АТВ) до позиції завантаження складу. 5. Перевантаження тари з позиції завантаження на АТВ. 6. Підгін АТВ до позиції завантаження гальваноагрегата. 7. Перевантаження тари з АТВ на позицію завантаження гальваноагрегата. Для кожної з фаз є група правил, які описують умови її нормального виконання і команди. Крім того є група правил управління "в нештатних" ситуаціях. Нижче наведений приклад правила управління підгоном АТВ до позиції розвантаження АГЛ.

## ЯКЩО

- І с хоч би одна АГЛ\_ОБ, у якої РАЗГ\_ГОТ має значення готовий/0,9
- І у СИГД ФЛАГ\_СОСТ має значення обслуґ\_замовлення/0
- І на СИГД ВІЛЬН\_ЯЧВІЯК є, тобто вілньм/1
- І АТВ готова до обслуґування, тобто ФЛАГ\_СОСТ обслуґ\_замовлення/0

## ТОДІ

- І видати АТВ КОМАНДА переміщення/1
- І вказати АТВ ПОЗИЦ\_ПРИЗНАЧ\_АГЛ, яка має найвищий пріорітет  
(агл\_1/1, агл\_2/1, агл\_3/1, агл\_4/1, агл\_5/1)
- І встановити АТВ ФЛАГ\_СОСТ обслуґ\_замовлення/1

Продукційна база знань включає 49 узагальнених правил типу вищенаведеного для управління в штатних ситуаціях і 52 правила управління "в нештатних ситуаціях". Декларативна БЗ описана 29 об'єктами, кожен з яких включає не менше 8 атрибутів - структур декларативних правил.

Ситуаційна продукційна система управління гальваноагрегатом (СІРУТ-1) розв'язує три завдання: 1) управління матеріальним потоком всередині модуля, 2) управління окремими ступенями рухомості обладнання і 3) управління технологічними параметрами. Перше завдання, аналогічне вищерозглянутому, - управління потоком замовлень на обслуґування позицій гальваноагрегата. Об'єктом управління є шість роботів циклового типу, які працюють в сумісній зоні. Правила цього рівня ідентифікують замовлення, аналізують можливість виконання окремих фаз обслуґування (чи існує вільний робот, чи є вільний шлях, чи є вільна позиція для виконання наступного технологічного переходу, чи доступна ця позиція роботу і т.д.) і видають управління роботам у вигляді номера позиції обслуґування і номера позиції призначення. Ці правила організовані в окремій секції, яка складається з 97 основних і 136 "нештатних" правил. Правила другої секції, аналізують умови виконання замовлення на переміщення робота, виявляють аварійні ситуації, синтезують траєкторію управління у вигляді послідовності елементарних команд вправо, вліво, стоп, вниз, ввєрх і управляють режимами розгону, гальмування, точної останови. Наприклад, для команди ВВЕРХ є 15 правил, одне з них наведене нижче.

## ЯКЩО КОМАНДА ввєрх|1 АО1

- І УПРАВЛІННЯ АО1 вліво|0, вправо|0, вниз|0, ввєрх|0

- І СТАН АО\_1 робота\_двигуна\_вертикального\_руху|0, робота\_двигуна\_горизонтального\_руху\_АО1|0,  
датчик\_центра|1, датчик\_верхнього\_положення|0, датчик\_нижнього\_положення|1

ТОДІ УПРАВЛІННЯ АО1 ввєрх\_АО\_1|1, виключення\_випрямляча|0

Відзначимо, що в секціях описані неоднородні знання (нечітко описуються моменти завершення операцій на позиціях, дистанції для правил управління розгоном - гальмуванням, стан позицій - технологічні параметри в нормі і т.д.).

Третя секція включає правила управління технологічними операціями і якістю продукції. Управління щільністю тока і товщиною покриття здійснюють правила з неоднорідними знаннями - використовується нечітка вхідна інформація про процент завантаження тари деталями і межах регулювання параметрів. По декларативним правилам знаходиться нечітка множина - повна сила току. За правилами з допомогою структур OR, AND і  $\Delta$  MN (звичайна множина, найближча до нечіткої) виконана дефазифікація, з метою формування точного управління, описаного в правилах.

В дисертаційній роботі описані особливості інтелектуальних систем ГВД збірки і зварки і механообробки, розробкою і впровадженням яких займався автор.

## ОСНОВНІ НАУКОВІ І ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ.

Виконані дослідження є теоретичною розробкою, узагальненням і рішенням великої науково-технічної проблеми, що має важливе народогосподарське значення - розвиток теоретичних та методологічних основ створення інтелектуальних керуючих систем реального часу для динамічних дискретних об'єктів, що функціонують в умовах часткової невизначеності.

Основні висновки і результати дисертаційної роботи такі:

1. Виділено клас гнучких виробничих систем, особливістю яких є: недетермінований матеріальний потік; паралельно-последовний, здебільшого, асинхронний характер взаємодії групи роботизованого обладнання, наявність нечіткості і невизначеності в описі фрагментів виробничих ситуацій, поряд з розвинутою сенсорною системою контролю параметрів і станів.

2. Запропоновано загальний підхід ситуаційного управління в реальному часі, що забезпечує: автоматичну побудову структурізованої моделі ситуації в реальному часі на основі різномірної інформації, що надходить з оточення; інтерактивне в реальному часі прийняття рішень про керуючі впливи на оточення

на основі застосування знань до моделі поточної ситуації; поповнення знань в режимі самонавчання на прикладах в процесі рішення задач управління.

Показано, що для визначеного класу виробничих систем, ситуаційне управління є одним із шляхів підвищення якості продукції та її ефективності.

3. Розроблений формальний апарат для подання і дослідження властивостей інтелектуальних систем ситуаційного управління реального часу. На основі нечітких множин знайдені відбиття для базових операцій умовної і безумовної зміни нечіткої множини (УЗНМ). Побудовано модель "інтелектуальна керуюча система - оточення", в якій оточення, у вигляді безлічі законів, система управління, у вигляді баз даних і знань, запиту та мети, описані нечіткими множинами та відносинами. Динамічні властивості моделі - реалізація законів і глобальна продукція бази знань - описані через операцію УЗНМ. Рішення завдання управління (запит - мета) -  $m$ -крокова глобальна продукція. Показано, що гібридні декларативно продукційні знання можуть бути подані відносинами типу "хоч би один", "всі" і "умовні", що задані на фрагментах бази даних. Введення структурованої бази даних і декларативних правил, що описують ці структури, дозволило автоматично в реальному часі формувати в базі даних структуровану модель ситуації.

4. Досліджені властивості баз знань керуючих систем реального часу. Знайдені умови, які покладаються на базу знань, при яких глобальна продукція асоціативна. Показано, що особливість знань систем реального часу з безпосереднім зв'язком з об'єктом враховується у властивостях пов'язаності "правило продукції - закон оточення". На основі цієї властивості запроваджено поняття коректності БЗ і доказано, що  $m$ -крокова глобальна продукція коректної БЗ є рішенням задачі "запит - мета". Досліджені стратегії знаходження глобальної продукції. Найбільш ефективною стратегією для класу розглянутих систем є "від даних до знань" при динамічній фрагментації бази даних.

Результати досліджень покладені в основу запропонованої методики формування бази знань і розробленого алгоритму обчислення глобальної продукції для обраної стратегії.

5. Запропонована декларативно-продукційна структурована модель інтегровано та однорідно описує гібридні знання інтелектуальних керуючих систем і має такі привілеї :

- Логіко-програмне циклове управління групою обладнання, яке традиційно використовується для об'єктів з повною організацією виробничого середовища, є приватним виродженим випадком ситуаційного управління, моделі якого включають тільки точні факти і знання. Для ситуаційного підходу не вимагаються попередні розрахунки циклограм і проектування програм управління при зміні номенклатури виробів, що підвищує гнучкість і ефективність ГВД.
- Для об'єктів управління, адекватно що описуються тільки нечіткими моделями, декларативні знання уявляють механізм композиційного висновку (індуції) на нечітких і лінгвістичних підставних.
- Для частково невизначених об'єктів, необхідних як точних, так і нечітких моделей, поданий формальний апарат в єдиному однорідному стилі у рамках одного декларативного чи продукційного правила дозволяє описати фрагмент гібридних (точних, нечітких, структурованих) знань. Для їх обробки використовується єдиний однорідний механізм обчислення глобальної продукції.

6. Запропонована нова методологія сумісного рішення задач технологічної підготовки виробництва і інтелектуального управління ГВД, що істотно покращує показники технологічної і операційної гнучкості за рахунок :

- динамічного синтезу на основі знань перехідного маршруту обробки із заздалегідь підготовлених фрагментів технологічного опису переходів і УП;
- навчання і самонавчання на етапах технологічної підготовки і виробництва.

Для цього система управління ГВД поширена компонентой синтезу маршруту у реальному часі і механізмом формування правил БЗ в режимах навчання і самонавчання. Отриманий формальний апарат формування правил, як знаходження нечітких відносин, які входять у правила, на підставі многократної глобальної продукції. Показано, що існує кінцеве  $m$ , для якого  $m$ -крокова глобальна продукція із самонавчанням на заданій

оточенням навчальній послідовності формує нове правило. Продукція з самонавчанням формує коректну БЗ. На підставі результатів досліджень запропонована методика придбання знань при навчанні з учителем і самонавчанням.

7. Створені методологічні основи проектування інтелектуальних керуючих систем, реалізовані в розробленому інструментальному комплексі КОВЗА, що автоматизує створення прикладних ІСУ, та нової інформаційної технології, яка заснована на теоретико-множеному підході опису предметної області. Їх використання істотно скорочує терміни опрацювання прикладних систем, звільнює від трудомісткого програмування задач з розгалуженою логікою.

8. Експлуатація і дослідження розроблених на основі розвиненої теорії і методології систем, підтвердила їх високу ефективність.

Розроблені системи експлуатуються більше ніж на 15 підприємствах. Теоретичні засади включені в навчальні плани і програми вузів і використовуються в навчальному процесі.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО В РОБОТАХ:

1. Каргин А.А. Обоснование выбора принципа обслуживания технологического оборудования. // Литейное производство, №3 М.: Машиностроение, 1976. - С.37.

2. Каргин А.А., Поляков В.Г. Определение оптимальной точности локализации отказов для автоматических систем контроля и диагностики. // Вопросы технической диагностики, вып.15, Ростов-на-Дону, 1976. -С.209-215

3. Каргин А.А. Выбор точности локализации неисправностей автоматических систем контроля на основе ценности информации. // Автоматика и вычислительная техника, №4, Рига. Зинатне, 1979. -С.47-51.

4. Каргин А.А., Поляков В.Г. Об использовании информационно-ценностного подхода для выбора разрешающей способности АСКиІН оборудования технологических процессов // Автоматизированные системы управления и приборы автоматки. вып.58, Харьков: Вища школа., 1981. -С.34-40.

5. Каргин А.А. Системы циклового управления робототехническим комплексом на базе ЭВМ. // Вопросы теории систем управления / Сложные системы. вып.6., 1985, Л.: ЛГУ. - С.-203-214.

6. Поляков В.Г., Каргин А.А., Демин В.А. и др. Математическое обеспечение комплексно-автоматизированной системы гальванического производства. // Приборы и системы управления. №4, М.: Машиностроение, 1984.- С.7-9.

7. Демин В.А., Каргин А.А., Новиков В.Б. Система автоматизированного программирования гибких производственных модулей циклового типа. // Матер. семинара " Гибкие производственные системы". М.: МДНТИ, 1986. - С.96-98.

8. Каргин А.А. Программирование роботизированных модулей // Автоматизированные станочные системы и роботизация производства. Тула: ТулПИ, 1987. - С.31-42.

9. Каргин А.А., Демин В.А., Новиков В.Б. О применении аппарата теории правил в системах управления циклового типа // Теория управляющих систем. Киев: Наук.думка. 1987. -С.106-109.

10. Каргин А.А. Проблемно-ориентированное программное обеспечение микропроцессорных систем в робототехнике. // Микропроцессорные средства и системы. №2, 1987. -С.17-21.

11. Каргин А.А., Демин В.А. Об использовании аппарата теории правил в задачах автоматизированного формирования управляющих программ для роботизированного гибкого производственного модуля // Дедуктивные построения в системах искусственного интеллекта и моделирования автономных роботов. Киев: ИК АН УССР, 1987. - С.67-76.

12. Каргин А.А. Организация системы управления гибкой производственной линией на основе правил // Автоматизированные станочные системы и роботизация производства. Тула : ТулПИ, 1988. -С.45-56.

13. Демин В.А., Каргин А.А., Новиков В.Б. Проблемно-ориентированная система подготовки управляющих программ оборудования участка нанесения гальванопокрытий. // Приборы и системы управления. №8, М.: Машиностроение, 1988. -С.9-10.

14. Каргин А.А., Коломенский А.А. Система автоматизированного формирования управляющих программ для

сборочно-сварочного модуля // Роботизация производства сварных конструкций. Киев: ИЭС им. Е.О.Патона АН УССР, 1988. - С.72-80.

15. Каргин А.А. Система управления гибким модулем нанесения гальванопокрытий на основе микропроцессорной вычислительной сети. // Автоматизированные станочные системы и роботизация производства. Тула: ТулПИ, 1989. - С.33-42.

16. Акиндеев Д.В., Войшнис А.И., Каргин А.А. и др. Интегрированный производственный комплекс ГАУ обработки деталей типа тел вращения. // Механизация и автоматизация производства. №8, М.: Машиностроение, 1989. - С.1-3.

17. Каргин А.А. Интегрированные комплексы производственного подразделения участка // Матер. X межд. конф. "Интертехно-89". / Промышленные роботы и манипуляторы, технологические модули и автоматизированные комплексы. Ботевград, 1989. - С.2.9-23.

18. Kargin A.A. System zur Momentsteuerung galvanischer Mehrprozeblinien - Software fur dieses System // 10. Internationale Fachtagung. Galvanotechnic 1990. Dresden, VEB Zentralinstitut. 57/58, teil 1, 1990. - P.59-63.

19. Каргин А.А., Коломенский А.А., Царева С.Н., Шкель В.В. Система автоматизированного программирования роботизированного модуля сборки и сварки. / Автоматизированные станочные системы и роботизация производства. Тула : ТулПИ, 1990. - С.46-55.

20. Войшнис А.И., Каргин А.А., Кожемякин А.А., Черепахин Ю.А. Оболочка гибридной экспертной системы технологической подготовки производства (АСТПП-ЭКСПЕРТ). // Искусственный интеллект 90. / Матер. 2-го все. совещания. том "Выставка", Минск: 1990. - С.77-81.

21. Каргин А.А., Демин В.А., Новиков В.Б. Ситуационная производственная система управления технологическими процессами в производстве нанесения гальванопокрытий (СПРУТ-1) - // Приборы и системы управления. №3, М.: Машиностроение, 1991. - С.6-8.

22. Каргин А.А., Войшнис А.И., Кожемякин Ю.А., Черепахин Ю.Г. АСТПП тел вращения. // Станки и инструмент. №5, М.: Машиностроение, 1991. - С.5-8.

23. Каргин А.А., Тимофеев А.В. Интегрированные адаптивные системы сквозного технологического цикла в ГПС // ГПС в действии. Л.: Машиностроение, 1991. - С.27-38.

24. Каргин А.А., С.Н. Ахмед Камал, Демин В.А. Механизм формирования нечетких знаний в динамических экспертных системах // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. №3, 4(2), Харьков: ХарГАЖТ, 1996. - С.74.

25. Каргин А.А. Об использовании нечетких моделей знаний в задачах управления движением поездов. Часть 1. Продукционные модели знаний на основе нечетких множеств // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. №5, 6(3), Харьков: ХарГАЖТ, 1996. - С.57-61.

## АНОТАЦІЇ

**A.A.Kargin. The real time intelligent control systems for flexible automated manufactures.** The thesis presented for the doctor's degree of technical science. Speciality 05.13.03 - systems and control processes. Kharkov State Technical University of Radioelectronics, Kharkov, 1997.

83 scientific works, are protected in which the situational approach to the real time knowledge-based control systems for the robot's manufactures are being developed. On the basis of fuzzy sets the formal apparatus of partially uncertain structured situations is developed. Model representations of structured multy-layered knowledge and real-time processing mechanism are described. Techniques of construction and research of dynamic knowledge bases properties are offered; real-time strategies of knowledge processing are investigated; technologies of applied intelligent control system design are described. Metodology of integrated designing of CAD/CAM intelligent systems is developed.

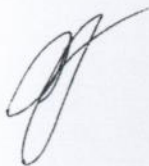
**Каргин А.А. Интеллектуальные управляющие системы реального времени для гибких автоматизированных производств.** Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.03 - системы и процессы управления. Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники, Харьков, 1997.

Защищается 83 научных работы, в которых развивается ситуационный подход к управлению в реальном времени на основе знаний гибкими роботизированными производствами. На базе нечетких множеств разработан формальный аппарат представления частично неопределенных структурированных ситуаций, моделей структурированных декларативно-продукционных знаний и механизма обработки знаний в реальном времени. Предложены методики построения и исследования свойств динамических баз знаний, исследованы стратегии обработки знаний в реальном времени и технологии проектирования прикладных интеллектуальных управляющих систем. Разработана методология интегрированного проектирования систем автоматизации

технологической подготовки и интеллектуального управления гибкими автоматизированными участками и модулями. Приводятся данные по разработке интегрированных систем и их внедрению.

Ключові слова:

Інтелектуальні управляючі системи, реальний час, нечіткі множини, моделі знань, ситуаційне управління, гнучкі автоматизовані виробництва.



Подписано в печать 17.03.97г. Усл. печ. л. 2.  
Тираж 100 экз. Заказ № 108.

Донецкий государственный университет  
г.Донецк, ул. Университетская, 24

---

Донецкий государственный университет  
Лаборатория компьютерных технологий  
г.Донецк, ул. Университетская, 24

105351

AB 37.333