

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

На правах рукопису

ЖЛУКТЕНКО Святослав Володимирович

УДК 619.71

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМАЛЬНИХ ПРОЦЕДУР СИСТЕМНОГО
АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ МОДЕЛЮВАННЯ І ПРИЙНЯТТЯ
РІШЕНЬ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ З НЕВИЗНАЧЕНІСТЮ ОПИСУ

Спеціальність 05.13.02 - Математичне моделювання в наукових
дослідженнях

Спеціальність 05.13.03 - Системи та процеси керування

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата
технічних наук

КИЇВ - 1996



Дисертація є рукописом

Робота виконана у Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут"

Науковий керівник - кандидат технічних наук
Демченко Олександр Михайлович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
Хаджинов Володимир Віталійович
кандидат технічних наук
Таран Тетяна Архипівна

Ведуча організація - Інститут кібернетики ім.В.М.Глушкова
НАН України

Захист дисертації відбудеться - 8 - квітня 1996р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої ради по присудженню вченого ступеня кандидата технічних наук /шифр Д 01.02.06/ в Національному технічному університеті України "КПІ" за адресою: 252056, Київ-56, проспект Перемоги, 37, корп.18, ауд.306.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету України "КПІ".

Автореферат розіслано - 7 - березня 1996р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради
доктор технічних наук

Бузовський О.В.

AB-34.256

АНОТАЦІЯ

Метою дисертаційної роботи є розробка методів моделювання і прийняття рішень у складних системах з невизначеністю опису, моделі яких описуються, як точними математичними залежностями, так і суб'єктивними даними та знаннями у формі вербальних оцінок, якісних залежностей, нестрогих правил. Опис параметрів і відношень в таких моделях задається як на синтаксичному, так і на семантичному рівнях.

Для досягнення вказаної мети розв'язані такі задачі:

- розроблено методи представлення і оперування параметрами і відношеннями напівкількісних моделей у вигляді семантично-орієнтованих структур - семіотичних змінних і відношень нечіткого впорядкування; досліджено властивості семіотичних змінних і відношень нечіткого впорядкування;

- розроблено методику побудови універсальних шкал для відношень нечіткого впорядкування і семіотичних змінних; розроблено формальні процедури моделювання складних систем на основі адаптивних напівкількісних моделей;

- розроблено і досліджено формальні процедури логічного виведення для прийняття рішень в напівкількісних моделях складних систем з невизначеністю опису;

- досліджено методику вибору найбільш прийняттого рішення шляхом імовірнісного виведення на множині допустимих рішень; розроблено декларативне представлення правил вибору;

- розроблено і досліджено проблемно-орієнтовану систему для розв'язання задач напівкількісного моделювання і прийняття рішень в складних системах з невизначеністю опису.

Автор захищає:

1. Проблемно-орієнтовану систему, як середовище для створення напівкількісних моделей складних систем і прийняття рішень в складних системах з невизначеністю опису.

2. Методи представлення і оперування семіотичними змінними і відношеннями нечіткого впорядкування. Формальні процедури напівкількісного моделювання складних систем в рамках проблемно-орієнтованої системи.

3. Методику побудови універсальних шкал відношень нечіткого впорядкування і семіотичних змінних, методику адаптації параметрів і відношень моделей до змін у об'єкті моделювання.

4. Методику декларативного представлення правил

імовірного виведення для реалізації алгоритмів визначення найбільш прийняттого рішення з множини допустимих рішень.

Б. Формальні процедури логічного виведення для прийняття рішень в складних системах з невизначеністю опису.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Задачі відбудови України вимагають детальнішого дослідження і ефективного керування всіма сферами життя, в тому числі в складних організаційно-технологічних системах. Це викликає необхідність дослідження і моделювання все більших і складніших систем, до яких належать як технічні, так і соціальні системи. В свою чергу це приводить до необхідності системного підходу до аналізу складних явищ, що лежать в основі фізичних, біологічних та соціальних процесів і характеризуються різноманітністю причинно-наслідкових проявів, наявністю суттєвих невизначеностей тощо. Важливим є те, що функціонування цих процесів прямо або опосередковано впливає на якість людського існування.

Інформація про об'єкт моделювання не завжди може бути подана у вигляді чіткої математичної моделі. Вхідні дані можуть мати вигляд нечіткої числової інформації, суб'єктивних оцінок експертів, нечітких залежностей між елементами або параметрами системи. Крім того, елементи з однаковим синтаксисом можуть мати різну семантику в залежності від стану, у якому знаходиться система, тобто відношення в таких моделях мають семантичну природу. В багатьох випадках, традиційні методи моделювання не пристосовані для оперування такими видами невизначеності, хоча можуть бути використані для моделювання окремих підсистем складних систем з невизначеністю опису. Тому задача розвитку методів, які дозволяють об'єднати переваги традиційних підходів до задач математичного моделювання складних систем і одночасно дозволять репрезентувати і оперувати з якісними, нечіткими, неточними, недовизначеними даними та знаннями, є актуальною.

Методи дослідження. В роботі використано теорію нечітких множин, теорію якісної фізики для нестандартного моделювання фізичних систем, елементи теорії ситуаційного керування, методи теорії імовірностей.

Наукова новизна. Запропоновано методи представлення елементів моделей семіотичними змінними і відношеннями нечіткого впорядкування. Розроблено та досліджено методи оперування зі

значеннями семіотичних змінних і відношень нечіткого впорядкування.

Запропоновано підхід до побудови універсальних шкал семіотичних змінних і відношень нечіткого впорядкування, розроблено методику моделювання семантики параметрів і відношень в складних системах.

Розроблено формальні процедури логічного виведення для прийняття рішень в складних системах з невизначеністю опису. На основі універсальних шкал запропоновано методику адаптивного прийняття рішень.

Практична цінність роботи полягає у розробці проблемно-орієнтованої системи, яка є середовищем для вирішення задач моделювання і прийняття рішень в складних системах з невизначеністю опису і дозволяє враховувати дані про об'єкт у вигляді семіотичних змінних, алгебраїчних рівнянь, нерівностей, відношень нечіткого впорядкування, продукційних виразів з семіотичними змінними.

Реалізація результатів роботи. Робота виконана на кафедрі математичних методів системного аналізу (ММСА) Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" (НТУУ "КПІ"). Наукові дослідження проводились в рамках госпдоговірних робіт: N213 "Розробити математичне та програмне забезпечення інтегрованих систем автоматизованого проектування і керування виробничими процесами та комплексами" (державний реєстраційний номер 01870006694), N509 "Створення математичних моделей, програмних засобів контролю, прогнозування стану навколишнього середовища і цифрової обробки дистанційного зондування земної поверхні" (державний реєстраційний номер 01900064156), науково-дослідної роботи ВІАДОК-УА "Дослідження і розробка методів побудови інформаційно-обчислювальних експертних систем на базі мережних та імітаційних моделей".

Отримані результати роботи використано при створенні програмного забезпечення для Київського інституту удосконалення лікарів Міністерства охорони здоров'я України, де впроваджено пакет програм "Визначення стану складних систем з невизначеністю опису". Результати роботи впроваджені на кафедрі ММСА НТУУ "КПІ" в учбовому курсі "Експертні системи" для навчання студентів принципам моделювання та прийняття рішень в складних системах з невизначеністю опису.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на наступних нарадах та семінарах: Міжнародний науковий симпозіум студентів та молодих працівників науки, м. Зелена Гура (Польща), 10-13 квітня 1989р., Міжнародна науково-технічна конференція студентів, молодих вчених та спеціалістів "Молоді вчені в решенні комплексної програми науково-технічного прогресу країн-членів РЕВ", м. Київ (Україна), 19-22 квітня 1989р., Всесоюзний семінар "Комп'ютерні системи керування хіміко-технологічними процесами", м. Київ (Україна), 6-8 лютого 1990р., Всесоюзна конференція "Математичне та імітаційне моделювання в системах проектування і керування", м. Чернігів (Україна), 12-14 червня 1990р., Всесоюзна конференція "Математичне моделювання в енергетиці", м. Київ (Україна), 23-25 жовтня 1990р., Четверта міжнародна науково-технічна конференція "Комплексна автоматизація промисловості", м. Київ (Україна), 17-20 жовтня 1990р., 1-а Українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-94", м. Київ (Україна), 18-23 травня 1994р., 39-й Міжнародний науковий семінар, Технічний університет м. Ільменау (Німеччина), 27-30 вересня 1994р., Міжнародна конференція "Знання-Діалог-Рішення"(KDS-95), м. Ялта (Україна), 9-14 жовтня 1995р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 (десять) друкованих праць, з них 8 (вісім) у співавторстві.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота містить 128 сторінок машинописного тексту, 35 сторінок малюнків та таблиць, список літератури із 134 найменувань. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, заключного висновку і додатків.

У першому розділі розглянуто і класифіковано типи невизначеності, що мають місце у складних системах. Виконано систематизацію існуючих напрямків і методів моделювання складних систем, у тому числі і таких, які дозволяють оперувати з різними типами невизначеності: логіко-лінгвістичні методи, імовірнісні методи, можливісні методи, що базуються на теорії нечітких множин, якісно-фізичні методи. Обґрунтовано можливість застосування методів, базованих на теорії нечітких множин і методах якісно-фізичного напрямку, для моделювання та прийняття рішень в складних системах. Сформульовано постановку задачі.

У другому розділі розроблено методи представлення і

оперування семіотичними змінними і відношеннями нечіткого впорядкування. Запропоновано методики адаптації функція належності змінних і відношень, що дає змогу моделювати змінну семантику параметрів і відношень моделі. Створено універсальні шкали відношень нечіткого впорядкування.

У третій частині запропоновано формальні процедури прийняття рішень в складних системах, що реалізовано шляхом логічного виведення на напівкількісній моделі. Досліджено методи вибору найбільш прийнятних рішень шляхом імовірнісного виведення. Розроблено декларативне представлення аксіом для зведення процедур імовірнісного виведення до формальних процедур логічного виведення в проблемно-орієнтованій системі.

У четвертому розділі розроблено повний опис проблемно-орієнтованої системи SQA, як середовища для вирішення задач моделювання і прийняття рішень в складних системах. Описано елементи синтаксису, формули та терми системи, розроблено інтерпретацію, аксіоматику та правила виведення у системі SQA. Розроблено мову для опису моделей в термінах проблемно-орієнтованої системи.

П'ятий розділ присвячено реалізації проблемно-орієнтованої системи SQA. Приведено узагальнення алгоритми функціонування системи. Вирішено задачу адаптивного керування водозбірними мережами, задачу аналізу поведінки водної екосистеми, задачу медичної діагностики.

У додатках приведено результати досліджень і експериментів, елементи програмної реалізації, акти впровадження.

ЗМІСТ РОБОТИ

В роботі вирішувались задачі моделювання і прийняття рішень на класі складних систем з невизначеністю і неповнотою опису. Процеси моделювання і прийняття рішень в таких системах ускладнюються наявністю інформації про об'єкт, яка отримується з нечітких джерел. Така інформація не може бути сформульована у вигляді сукупності точних числових даних і математичних співвідношень між ними, тобто у вигляді формальної математичної моделі. Невизначеність стосується не лише параметрів моделей, але й відношень між елементами, семантичний зміст яких, при однаковій синтаксичній структурі, є змінним. Семантика відношень і параметрів моделей класу складних систем, що розглядається, залежить від стану об'єкту. Ці властивості не відображаються в

рамках традиційних моделей і підходів. Це спонукає до пошуку інших підходів до моделювання складних систем, наприклад, у формі семіотичних моделей.

Відсутність строго формалізованої моделі, наявність різномірних невизначеностей, призводить до необхідності розвитку якісно-фізичних, напівкількісних методів, в яких модель представляється системами рівнянь і нерівностей, де параметри мають нечіткі числові або якісні значення.

В роботі напівкількісна модель репрезентувалась парою

$$QM = (\tilde{X}, \tilde{Q}), \quad (1)$$

де \tilde{X} - множина змінних, \tilde{Q} - множина відношень на \tilde{X} , які можуть приймати як кількісні так і якісні значення. Задача прийняття рішень ставилась як задача ситуаційного керування

$$QM: \tilde{Y} \xrightarrow{\tilde{R}} \tilde{Y}, \quad (2)$$

де $\tilde{R} = (R_1, \dots, R_q)$ - вектор допустимих рішень, $\tilde{Y} = (y_1, \dots, y_m)$ - вектор ознак ситуації на напівкількісній моделі QM. Критерія прийняття рішень може зовсім не формалізуватись і бути повідомленим експертам в процесі отримання від них знань про проблемну область.

Вирішення задач дисертації в такій постановці, можливе лише в рамках формальної системи відкритого типу. З цією метою у роботі розроблено проблемно-орієнтовану систему, яку представлено четвіркою

$$SQA = (T, F, A, P), \quad (3)$$

де T - множина термів, F - множина формул, A - множина аксіом, P - множина правил виведення. Моделі в проблемно-орієнтованій системі відносяться до класу семіотичних моделей в силу відкритості множин T, F, A та P. Така постановка зводить процес пошуку розв'язку задач моделювання і прийняття рішень, до процесу логічного виведення на множині аксіом і формул за допомогою правил виведення P.

Терми SQA інтерпретувались як базові елементи, за допомогою яких формувались множини аксіом і формул. Основними елементами множини термів є семіотичні змінні і відношення нечіткого впорядкування, які є уніфікованими структурами представлення параметрів і відношень в моделях складних систем. Необхідність введення в проблемно-орієнтованій системі таких структур і операцій над ними, пояснюється різномірністю типів змінних і відношень, які застосовуються для побудови моделей складних

систем з невизначеністю опису.

Семіотична змінна визначалась як семантично-орієнтована структура

$$C3 = \langle X, T, U, W, G, F \rangle, \quad (4)$$

де X - назва $C3$; T - множина значень $C3$, причому кожне значення T_i є нечіткою підмножиною базової множини, яка задається відповідною її функцією належності (ФН) $\mu_{T_i}^x(u)$; U - базова множина семіотичної змінної X ; W - множина лінгвістичних значень $C3$ X ; $G: T \rightarrow W$ - функція відображення елементів множини значень T в елементи множини W ; $F: W \rightarrow T$ - функція співставлення кожному лінгвістичному значенню w_i відповідної йому нечіткої множини T_i з функцією належності $\mu_{T_i}^x(u)$.

Семіотична змінна дає можливість в рамках такої уніфікованої структури представляти різні типи змінних: змінні зі значеннями на множині дійсних чисел, інтервальні, нечіткі і лінгвістичні змінні.

У роботі введено операції на множині значень семіотичних змінних. Проведено дослідження існуючих методів представлення функцій належності. Виявлено, що використання представлення ФН у вигляді власне функції призводить до значного ускладнення структури опису $C3$ і задання математичних операцій на ній. Тому запропоновано представлення функцій належності у вигляді LR-множин:

$$\mu^x(u) = (mL_x, mR_x), \quad (5)$$

де $mL_x = \{(u_1, \alpha_1), \dots, (u_k, \alpha_k), \dots, (u_n, \alpha_n)\}$,

$mR_x = \{(u_{k+1}, \alpha_{k+1}), \dots, (u_j, \alpha_j), \dots, (u_n, \alpha_n)\}$,

α_m - значення α -розрізу на рівні m : $\alpha_m = \mu^x(u_m)$.

При цьому на LR-множинах задано наступний порядок:

- 1) $\forall i > j, \quad u_i \geq u_j$;
- 2) $\forall i > j, \quad i, j \in mL_x, \quad \alpha_i \geq \alpha_j$;
- 3) $\forall i > j, \quad i, j \in mR_x, \quad \alpha_i \leq \alpha_j$.

Розроблено методи оперування значеннями семіотичних змінних у вигляді LR-множин і досліджено поведінку функцій належності для всіх випадків розміщення ФН на базовій множині U . Виявлено, що у ряді випадків необхідно оперувати нескінченно великими та нескінченно малими величинами. Для розв'язання цієї проблеми, базові множини семіотичних змінних визначались на множині гіпердійсних величин E , яка є розширенням поля дійсних чисел величинами $-\infty, +\infty$, та u_+, u_- для кожного $u \in \mathcal{R}$. Досліджено

властивості елементів множини E і запропоновано формальні операції над гіпердійсними величинами.

Введені операції над значеннями семіотичних змінних, які представлено аксіомами проблемно-орієнтованої системи, дозволили знаходити значення параметрів моделей в ситуаціях, коли стандартні методи обчислення із дійсними величинами не можуть бути застосовані, або їх застосування веде до втрати важливої інформації.

Для визначення порядкових відношень на множинах значень семіотичних змінних, крім стандартних предикатів рівності і порядку, в проблемно-орієнтовану систему SQA введено відношення нечіткого впорядкування. Відношення нечіткого впорядкування запропоновано представляти у вигляді лінгвістичної змінної:

$$\text{ВНВ} = (L_f, T(L_f), U, G, M), \quad (6)$$

де L_f = "Відношення нечіткого впорядкування";

$T(L_f) = \{ \rho_i, i = 1, \dots, 7 \} = \{ \ll, \sim, \approx, \gg, \ggg \}$,
 \ll - "набагато менше", \sim - "помірно менше", \approx - "трохи менше",
 \approx - "приблизно рівно", \gg - "трохи більше", \ggg - "помірно більше",
 \ggg - "значно більше".

На основі базових ВНВ побудовано множину складених відношень нечіткого впорядкування $(s_i, i = 1, \dots, 21)$, що дозволило більш гнучко задавати відношення на параметрах моделі. Кожне складене ВНВ репрезентувалось впорядкованою підмножиною множини $T(L_f)$. Досліджено властивості відношень нечіткого впорядкування, описані властивості симетричності, часткової транзитивності, де часткову транзитивність визначено як

$$x s_i y \ \& \ y s_i z \ \rightarrow \ x s_k y, \ s_i \leq s_k.$$

Розроблено аксіоми проблемно-орієнтованої системи для оперування лінгвістичними значеннями відношень нечіткого впорядкування, що робить можливим розв'язання задач моделювання і прийняття рішень за відсутності числової інформації - в якісних термінах.

Оцінка відношень між значеннями семіотичних змінних потребувала розробки апарату, що ставив би у відповідність лінгвістичним значенням відношення нечіткого впорядкування певні кількісні еквіваленти. З цієї метою у роботі визначено кількісні еквіваленти ВНВ на універсальних шкалах. Для цього експертним опитуванням побудовано множини функція належності базових відношень нечіткого впорядкування для універсальних лінійної і

порядкової шкал.

Функції належності складених ВНВ визначались через функції належності складових базових відношень:

$$\mu(s_k, u) = \min \left(1, \sum_{k \in \alpha} \mu(p_k, u) \right), \quad (7)$$

де $s_k = \langle p_{\alpha_1}, \dots, p_{\alpha_n} \rangle$.

Для адаптації функція належності відношень нечіткого впорядкування при переході від універсальних до проблемно-орієнтованих шкал розроблено методику, що базується на функціях переходу. Перевагою застосування універсальних шкал і функцій переходу є можливість створення адаптивних напівкількісних моделей, де семантика лінгвістичних значень параметрів і відношень, яку представлено функціями належності, змінюється в залежності від ситуації, яка описує стан об'єкта моделювання.

У роботі розроблено аксіоми SQA для обчислення і порівняння значень семіотичних змінних за допомогою апарату відношень нечіткого впорядкування.

Окрім вказаних видів аксіом, аксіоматику проблемно-орієнтованої системи доповнено певними типами аксіом: аксіомами логіки предикатів першого порядку, аксіомами арифметики дійсних чисел, аксіомами аналізу фізичних розмірностей формул ПОС.

Модель об'єкта описується в SQA проблемно-орієнтованою множиною формул F. У роботі виділено такі типи формул:

- 1) залежність: $P_i(X_{\alpha_1}, \dots, X_{\alpha_n}) = P_j(X_k, \dots, X_m)$;
- 2) призначення: $X_i = P_j(X_{\alpha_1}, \dots, X_{\alpha_n})$, де X_i - семіотична змінна;
- 3) обмеження: $SP_m(P_i(X_{\alpha_1}, \dots, X_{\alpha_n}), P_j(X_k, \dots, X_m))$,
де $SP_m \in \{ <, >, \leq, \geq \}$;
- 4) відношення нечіткого впорядкування: $s_k(X_i, X_j)$;
- б) продукційні формули виду:

$$(A_1 \vee \dots \vee A_n) \rightarrow B, \quad \text{де } A_i, B - \text{формули ПОС.}$$

Загальний алгоритм функціонування ПОС задавався поетапною процедурою:

- визначення поточної ситуації на моделі;
- приведення поточної ситуації;
- знаходження найбільш прийняттого рішення.

В роботі ситуація визначалась значеннями елементів вектора ознак $\bar{Y} \in QM$. Кожна ознака $y_i \in \bar{Y}$ задавалась семіотичною змінною, відношенням нечіткого впорядкування або одним із

стандартних предикатів (<, >, =). Так як кількість ситуацій на моделі у загальному випадку нескінченна, вирішено задачу приведення ситуацій шляхом виділення скінченної множини якісних еталонних ситуацій (ЯЕС) SE вектора ознак \tilde{Y} . Кожна якісна еталонна ситуація описувалась лінгвістичними значеннями відповідних змінних і відношень. У роботі за допомогою скінченної множини ЯЕС описано нескінченну множину ситуацій складної системи. Задача приведення ситуацій зводилась до знаходження найбільш відповідних лінгвістичних значень елементів вектора ознак \tilde{Y} .

Поточна ситуація st_i визначалась як ЯЕС se_j , якщо

$$\begin{aligned} \text{Inc}(st_i, st_j) &\rightarrow \max \\ \text{Inc}(st_i, st_j) &> t_{inc}, \end{aligned} \quad (8)$$

де $t_{inc} \in [0.5; 1]$ - наперед задане порогове значення, яке визначається бажаною вірогідністю рішень, що приймаються; $\text{Inc}(st_i, st_j) = \bigwedge_{y_k \in Y} \text{Inc}_{y_k}$ - ступінь нечіткої належності ситуації st_i до якісної еталонної ситуації se_j , Inc_{y_k} - ступінь належності значення ознаки y_k в ситуації st_i до лінгвістичного значення ознаки y_k в ЯЕС se_j , який визначається у залежності від характеру ознаки. Якщо ознака y_k задана семіотичною змінною X з множиною лінгвістичних значень $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ і відповідними функціями належності $\{\mu_{w_1}(u), \dots, \mu_{w_n}(u)\}$, то аналіз значення $\mu_x(u)$ семіотичної змінної X у поточній ситуації st_i зводився до визначення ступеня належності ФН $\mu_x(u)$ до певного лінгвістичного значення w_j з ФН $\mu_{w_j}(u)$

$$\text{Inc}(\mu_x(u), \mu_{w_j}(u)) = \bigwedge_{u_p \in U_y} \mu_x(u_p) \rightarrow \mu_{w_j}(u_p). \quad (9)$$

де $\mu_x(u_p) \rightarrow \mu_{w_j}(u_p) = \max(1 - \mu_x(u_p), \mu_{w_j}(u_p))$. Значення ознаки y_k визначалось як лінгвістичне значення w_j , якщо для (9) виконувалась умова (8).

Прийняття рішень в проблемно-орієнтованій системі представлено логічним виведенням на множині вирішуючих правил, що є формулами SQA типу Б:

$$se_i \rightarrow rg_j, \quad (10)$$

де $se_i \in SE$, rg_j - допустиме в ситуації se_i рішення, яке визначалось значеннями елементів вектора $\tilde{R} = (R_1, \dots, R_q)$. Розроблено представлення керуючих рішень (КР) R_i для кожного елемента вектора рішень якісними термами лінгвістичної змінної:

$$KR = (R, T(R), U, G, M). \quad (11)$$

де $R = \text{"Керуюче рішення"} \text{, } TCR = \{ \llcorner, \lrcorner, \sim, \succ, \gg \}$,
 $r_1 = \text{"<<"}$ - "набагато зменшити", $r_2 = \text{"<"}$ - "помірно зменшити",
 $r_3 = \text{"~<"}$ - "трохи зменшити", $r_4 = \text{"="}$ - "не змінювати", $r_5 = \text{">~}"}$ - "трохи збільшити", $r_6 = \text{">"}$ - "помірно збільшити", $r_7 = \text{">>"}$ - "набагато збільшити".

Для КР побудовано лінійну і порядкову універсальні шкали, розроблено аксіоми оперування. Розроблено і досліджено алгоритми адаптивного керування і прийняття рішень на основі множинних функцій переходу.

На основі розбиття множини якісних еталонних ситуацій на класи еквівалентності за однаковим значенням вектора рішень \vec{R} , розроблено алгоритм узагальнення по ознакам. Завдяки цьому досягнуто скорочення бази правил в середньому у 1.6 рази, що привело до зменшення кількості кроків логічного виведення в задачі прийняття рішень.

Для прийняття рішень за наявності кількох альтернативних рішень, розв'язано задачу вибору найбільш прийняттого рішення з множини допустимих рішень за допомогою імовірнісного виведення. Розроблено декларативне представлення правил вибору, що дозволило звести їх до процедур логічного виведення на множині вирішуваних правил в проблемно-орієнтованій системі. Досліджено швидкодію різних схем виведення на основі методу байєсівських суб'єктивних імовірностей. Отримані результати дозволили зменшити кількість кроків виведення у середньому в 1.7 рази без втрати точності.

В дисертації запропоновано програмну реалізацію ПОС SQA, як оболонкової системи, в рамках якої розв'язуються задачі моделювання, прийняття рішень, діагностики і прогнозування ситуацій в складних систем з невизначеністю опису. Розроблено мову для опису об'єкту в термінах ПОС. Мова містить структури для репрезентації параметрів та відношень моделі об'єкта у вигляді рівнянь, нерівностей, відношень п'єдчеткого впорядкування, продукційних виразів.

За допомогою запропонованих підходів, розв'язано задачу адаптивного керування великими водозбірними системами. Показано, що даний об'єкт характеризується сукупністю таких складних, нелінійних процесів, як накопичення води в каналах зливної мережі, просторова та часова нерівномірність зміни інтенсивності опадів, поглинання води ґрунтовими масами, непередбачуваність

переміщення водних мас, яка обумовлена множинністю джерел притоку води і складністю мережі зливу. В силу цих причин, застосування традиційних методів приводить до необхідності використання прогностичних моделей, які для великих водозбірних мереж, за думкою фахівців, не є адекватними. Крім того, керування таким об'єктом є багатокритеріальним, що змушує включати в задачу прийняття рішень суперечні один одному критерії. В роботі побудовано модель, яка враховує дві протирічні цілі керування:

- мінімізація ризику переповнення водозбірної системи, шляхом підтримки відповідного рівня води;
- мінімізація кількості операцій ввімкнення/вимкнення обладнання.

Так як до таких об'єктів ставляться високі вимоги по безпеці, найбільш прийнятним методом побудови системи прийняття рішень є моделювання дія висококваліфікованого персоналу. В роботі створено систему прийняття рішень, де застосовано розроблені формальні процедури моделювання і прийняття рішень.

Пакет застосовувався для моделювання поведінки елементів водної екосистеми, де модель задавалась системою алгебраїчних рівнянь, а параметри моделі: концентрації мікроорганізмів водного басейну і залежності між ними, задавались оцінками експертів і інтерпретувались семіотичними змінними і відношеннями нечіткого впорядкування.

Результати дисертаційних досліджень використані для реалізації пакету програмних модулів "Визначення станів складних об'єктів із невизначеністю опису". Пакет впроваджено у Київському інституті удосконалення лікарів як тренажну діагностичну систему для молодих спеціалістів. Впроваджена система, при контрольному тестуванні на етапі дослідної експлуатації, правильно виконала діагностику у 107 випадках із 116, що склало 92%.

Результати дисертації, реалізовано у вигляді пакету програмних модулів "Напівкількісне моделювання нечітких об'єктів" і впроваджено в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" на кафедрі математичних методів системного аналізу в курсі "Експертні системи". Пакет застосовується для навчання студентів принципам якісного моделювання і прийняття рішень в системах з

невизначеністю опису.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Систематизовано сукупність задач системного аналізу для складних систем із невизначеністю опису. Аналіз розглянутих задач дозволив створити проблемно-орієнтовану систему, як інтегроване середовище розробки напівкількісних моделей складних систем і розв'язання задач прийняття рішень, шляхом логічного виведення. Показано, що засоби проблемно-орієнтованої системи дозволяють уніфікувати процес розв'язання задач моделювання і прийняття рішень методами логічного та імовірнісного виведення.

2. Розроблено і досліджено методи представлення моделей складних систем на основі семіотичних змінних і відношень нечіткого впорядкування і операції над ними для використання в системах прийняття рішень. Досліджено властивості семіотичних змінних і відношень нечіткого впорядкування, що дозволило створити уніфіковані формальні процедури роботи з моделями, розробленими в дисертації.

3. Розроблено методіку побудови універсальних шкал для відношень нечіткого впорядкування і семіотичних змінних. Досліджено особливості операцій порівняння змінних на лінійній і порядковій універсальних шкалах. Розроблено методи оперування значеннями семіотичних змінних за допомогою відношень нечіткого впорядкування.

4. Розроблено формальні процедури логічного виведення для прийняття рішень в рамках проблемно-орієнтованої системи, проведено їх дослідження і розроблено алгоритми узагальнення по ознаках, що дало можливість скоротити об'єм бази знань (кількість правил керування) в середньому у 1.6 рази.

5. Досліджено методи вибору найбільш прийняттого рішення на основі імовірнісного виведення. Розроблено декларативне представлення правил вибору, що дозволило звести їх до процедур логічного виведення в проблемно-орієнтованій системі. Проведено аналіз швидкодії різних схем виведення і запропоновано практичну схему, що дозволило скоротити кількість кроків виведення в середньому в 1.7 рази без втрати точності.

6. Розроблено мову, яка дозволяє описувати об'єкт в термінах проблемно-орієнтованої системи. Розроблено пакети програм, які застосовувались в задачах моделювання, діагностики і адаптивного керування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВІДОБРАЖЕННЯ У НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Демченко А. М., Жлуктенко С. В., Скуцкий А. В., Власенко Ю. Н. Применение байесовского вывода в задачах диагностики // Вестник КПИ. Техническая кибернетика. - 1990. - Вып. 14. - С. 34-37.
2. Згуровский М. З., Моисеенко Л. Е., Власенко Ю. Н., Жлуктенко С. В., Скуцкий А. В. Метод экспертных систем диагностики в области иглорефлексотерапии. // Актуальные проблемы медицины и биологии: Киевский медицинский институт. Киевская городская организация Союза НИО СССР. - Киев, 1989. - С. 252-258.
3. Жлуктенко С. В. Метод полуколичественного анализа моделирования систем принятия решений. - "Знание-Диалог-Решение" (KDS-95): Труды Международной научной конференции (9-14 октября 1995 г.) - Ялта, 1995. - С. 198-205.
4. Демченко А. М., Скуцкий А. В., Жлуктенко С. В. Ледуктивная система для анализа поведения физических систем. - "Комплексная автоматизация промышленности": Труды Четвертой международной научно-технической конференции (17-20 октября 1990 г.) - Киев, 1990. - С. 26-30.
5. Власенко Ю. Н., Жлуктенко С. В., Скуцкий А. В. Диалоговая диагностическая система. - Труды Международного научного симпозиума студентов и молодых научных работников (10-13 апреля 1989 г.) - Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze. - Zielona Góra, 1989. - Том 4. - С. 100-103.
6. Zhluktenko S., Semiquantitative analysis method of complex system modeling. - In 39. Internationales wissenschaftliches kolloquium (27-30.09.1994), Technische Universität Ilmenau, Germany. - Ilmenau, 1994. - P. 178-179.
7. Демченко А. М., Жлуктенко С. В., Власенко Ю. Н., Скуцкий А. В. Программная реализация диагностической системы, основанной на байесовском выводе. - "Молодые ученые в решении комплексной программы научно-технического прогресса стран-членов СЭВ": Тез. докл. Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов (19-22 апреля 1989 г.) - Киев, 1989. - С. 231-232.
8. Демченко А. М., Жлуктенко С. В. Полуколичественное моделирование статистики сложных объектов на основе оценок величин параметров. - "Математическое и имитационное моделирование в системах проектирования и управления" - Тез. докл. Всесоюзной

научно-технической конференции (12-14 июня 1990г.) - Чернигов, 1990. - С.112-113.

9. Демченко А. М., Жлуктенко С. В., Скуцкия А. В. Новые методы качественного моделирования сложных систем. - "Математическое моделирование в энергетике": Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции (23-25 октября 1990г.) - Киев, 1990. - С. 82.

10. Демченко О. М., Жлуктенко С. В. Метод напівкількісного аналізу для моделювання складних систем. - "Автоматика-94": Тези допов. І української конференції з автоматичного керування (18-23 травня 1994р.) - Київ, 1994. - С.136.

В роботах 1, 5 автором запропоновано декларативне представлення правил суб'єктивного байєсівського виведення, проведено дослідження різних схем виведення.

В роботах 2, 7 автором виконано роботу по створенню оболонкової діагностичної системи; безпосередньо автором розроблено програмну реалізацію підсистеми надбання і впорядкування даних і знань з проблемної області.

У роботі 4 запропоновано підхід до моделювання динаміки в моделях складних систем на основі якісно-фізичного методу конфлюєнцій для аналізу поведінки складних фізичних систем.

В роботах 8, 9 автором розроблено підхід до моделювання складних систем на основі оцінок величин параметрів моделі за допомогою відношень нечіткого впорядкування.

У роботі 10 викладено основні пропозиції що до проблемно-орієнтованої системи, як середовища для вирішення задач системного аналізу складних систем.

Handwritten signature

ЛНБ ім. В. Стефанишина
АН УкрАкадемія наук

44507

АННОТАЦІЯ

Жлуктенко Святослав Володимирович

Розробка і дослідження формальних процедур системного аналізу для рішення задач моделювання і прийняття рішень в складних системах з неопределенністю описання

Роботою являється рукопис на соискание ученої ступені кандидата технічних наук по спеціальностям 05.13.02 - Математичне моделювання в научних дослідженнях і 05.13.03 - Системи і процеси управління. Національний технічний університет України "КПІ"

г. Київ, 1996г.

Цілью дисертації являється дослідження складних систем, характеризуються неопределенністю описання, яка стосується як параметрів, так і відношень між параметрами моделі, семантичне значення котрих, при однаковій синтаксическій структурі, різночно. Для досліджуемого класу об'єктів, семантика параметрів і відношень залежить от текущего состояния объекта. В работе предложен подход к моделированию и принятию решений в сложных системах с неопределенностью описания на основе качественно-физических методов и теории нечетких множеств. Для построения моделей разработана проблемно-ориентированная система, в рамках которой модель представляется системой уравнений и неравенств, отношений нечеткого упорядочения, где параметры имеют нечеткие числовые или качественные значения.

Abstract

Zhuktenko Svyatoslav

Research of the formal procedures of the system analysis for modeling and decision making in fuzzy complex systems

This scientific work is a manuscript to submit one's thesis for candidate's sciences in specialities 05.13.02 - Mathematical modeling in scientific research and 05.13.03 - Control systems and processes.

The goal of the work is a research of fuzzy complex systems. The model parameters and relationships of a such system, which have the identical syntax structures, can be different in there semantics. The semantic of the parameters and relationships depends on the current state of the system. In this work a new approach for modeling and decision making, based on qualitative physics and fuzzy sets theory, is suggested. The open formal system (OFS) for semiquantitative modeling is created. In the frames of the OFS the semiquantitative models are represented by the systems of equations and fuzzy order relationships. The model's parameters and relationships have fuzzy or qualitative values.

Ключові слова: складні системи з невизначеністю опису, проблемно-орієнтовані системи, напівкількісні моделі, семіотична змінна, відношення нечіткого впорядкування.

445071

AB 34.256