

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні досягнення в галузі комп'ютерної техніки, систем автоматизованого проектування, створення та застосування розподілених комп'ютерних систем (РКС) потребують відповідного вдосконалення методів організації руху даних, представлення та формалізованого опису моделей руху даних. Тому актуальною науковою задачею є розроблення ефективних методів формалізації руху даних, розвиток теоретичних основ побудови моделей та створення програмних засобів діагностики РКС реального часу, особливо це стосується комп'ютерних мереж з розпаралеленими інформаційними потоками.

Питаннями розвитку теорії проектування та оптимізації комп'ютерних мереж з глибоким розпаралеленням інформаційних потоків активно займалися відомі зарубіжні вчені: В.Столлінгс, Е. Таненбаум, Дж.Мартін та інші. При цьому американський системотехнік Дж.Мартін, який ввів поняття одиниці руху даних, під цим поняттям розуміє формалізацію та організацію процесу формування, передавання, цифрового оброблення, ідентифікації, зберігання та використання інформаційних даних в комп'ютерних системах (КС). Значний внесок у розвиток теорії оброблення інформації, в тому числі, в обчислювальних середовищах, а також в комп'ютерних мережах, внесли українські вчені: Грицик В.В., Палагін О.В., Николайчук Я.М., Стеклов В.К., Локазюк В.М., Широчин В.П.

Розвиток інформаційних технологій формалізації руху даних на основі моделювання системних функцій комп'ютерних мереж являє собою складну багатокритеріальну задачу, яка вирішується на базі теорії графів, мереж Петрі, дивергенції та розрізів потоків даних, алгоритмів Форда, Фалкерсона, тупикових потоків, найкоротших шляхів, локально-максимального збільшення, порозрядного скорочення неузгодженостей, моделей на основі матриць суміжностей та інцидентів, а також теорії інтервалів.

В той же час, названі результати розвитку технології проектування КС в недостатній мірі або зовсім не враховували економічні аспекти проектних та експлуатаційних рішень, а також ступінь використання системних ресурсів мережевих об'єктів.

Таким чином, розроблення та вдосконалення методів організації руху даних в РКС, а також інформаційних технологій проектування та діагностики їх ефективності є актуальною науковою задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Представлені в дисертації дослідження виконані в рамках плану наукових досліджень, які проводяться на факультеті комп'ютерних інформаційних технологій кафедрою комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) за держбюджетними темами: Д-3-07-П “Науково - методологічні основи діагностування і управління у нафтогазовій галузі для оптимізації витрат

енергоресурсів” (номер державної реєстрації 0107U001560) та “Розробка методологічних основ (теорії, моделей, алгоритмів, процедур і технічних засобів) діагностування і автоматизованого управління об’єктами нафтового комплексу України” (номер державної реєстрації ТЗ ИГАУ-573/99).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розвиток методології і розроблення теоретичних засад формалізації та організації руху даних в розподілених комп’ютерних системах, які забезпечують спрощення процедури проектування, аналізу та діагностики комп’ютерних систем шляхом побудови сукупності моделей руху даних на основі базової матричної моделі КС.

У відповідності з поставленою метою дисертаційна робота включає розв’язання таких задач:

- аналіз існуючих технологій проектування, діагностування та моделювання РКС;
- формалізація характеристик системних об’єктів РКС;
- вдосконалення та підвищення інформативності матриць інцидентів шляхом конкретизації атрибутики джерел інформації, пунктів обробки та зберігання даних;
- обґрунтування сукупності та розроблення інформаційних технологій побудови похідних моделей руху даних, які будуються на основі матричної моделі КС;
- дослідження та формалізація матричних моделей архітектур РКС;
- розроблення теоретичних основ та принципів побудови епюр собівартості руху даних в КС;
- розроблення методів побудови тривимірних та модифікованих двовимірних матричних моделей;
- розроблення програмних засобів проектування, аналізу та діагностики комп’ютерних систем на основі моделей руху даних.

Об’єктом дослідження є процеси формування, передавання, оброблення та використання даних у розподілених комп’ютерних системах на основі інформаційних технологій побудови моделей руху даних.

Предмет дослідження - методи організації та моделі руху даних в розподілених комп’ютерних системах.

Методи дослідження базуються на використанні теорії інформації, теорії складних систем, теорії моделювання, теорії графів, теорії кореляційного аналізу та теоретичних основ кодування джерел інформації. Розроблення та реалізація інформаційних технологій проектування та аналізу КС здійснювалась з використанням систем автоматизованого проектування.

Наукова новизна одержаних результатів визначається розробкою ефективних методів організації руху даних на етапах проектування, аналізу та діагностики розподілених комп’ютерних систем, які базуються на використанні методів формалізації архітектур КС, побудови двовимірних, тривимірних та модифікованих двовимірних моделей руху даних та на їх основі реалізація

сукупності похідних моделей руху даних, в тому числі таких, які враховують коефіцієнт використання ресурсів і собівартість руху даних.

1. Вперше отримані аналітичні вирази та розроблена методологія обґрунтування критеріїв якості розподілених комп'ютерних систем на основі оцінки ентропії сукупності факторів, математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення експертних оцінок якості.

2. Запропоновані функціонали характеристик системних об'єктів КС на основі глобальної моделі, яка включає процесори, дані, систему передавання даних, об'єкти управління (ОУ) та оператори, які об'єднані між собою через інтерфейсні зв'язки. Розроблені функціонали включають параметри часу функціонування, об'єм пам'яті, ресурси зчитування та запам'ятовування даних, швидкість обміну даними та ймовірності помилок в каналах зв'язку, а також характеристики моделей об'єктів управління, що дозволило суттєво спростити процеси проектування та оптимізації КС на основі моделей руху даних.

3. Отримала подальший розвиток теорія графів в частині розширення та конкретизації атрибутів направлених графів та матриць інцидентів шляхом розробки продукційних моделей подання знань на основі матричних моделей руху даних, що дозволило розробити сукупність похідних моделей руху даних і суттєво упростило інженерні розрахунки по проектуванню, діагностиці та оптимізації комп'ютерних систем.

4. Вперше розроблено метод побудови тривимірних та двовимірних модифікованих моделей руху даних на основі додатково введених атрибутів оцінки ступеня використання ресурсів в активних вузлах комп'ютерної системи, що дозволило підвищити якість моделювання комп'ютерних систем та практичну результативність діагностики їх ефективності та оптимізації характеристик.

Практичне значення одержаних результатів:

– розроблено програмне забезпечення для побудови розширеної сукупності моделей руху даних на основі архітектури КС та відповідної двовимірної модифікованої моделі руху даних, що дозволило автоматизувати процеси проектування КС та знизити їх вартість;

– основні результати дисертаційної роботи впроваджено в Інституті мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики (м. Львів), а саме, інформаційну технологію та програмні засоби кореляційного аналізу в процесі експлуатації енергетичних об'єктів, що дозволило підвищити ефективність виявлення передаварійних та попередження аварійних станів об'єктів електроенергетики. Математичне та програмне забезпечення побудови інформаційних моделей технологічних об'єктів та модифікована матрична модель руху даних впроваджені на підприємстві "Бучач-Цукор", що дозволило покращити ефективність формування потоків та оброблення даних, а в результаті підвищити економічну ефективність використання інформаційно-керуючої КС.

– крім того, результати дисертаційної роботи використані та впроваджені в

навчальному процесі на кафедрі комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при проведенні лекційних, лабораторних занять та при виконанні курсових робіт з дисциплін: „Основи побудови АСУ”, „Низові обчислювальні мережі”.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційного дослідження отримано автором особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належить:

- принципи формалізації атрибутів, інформаційна технологія та методи побудови тривимірних матричних моделей руху даних, які дозволили розширити функціональні можливості моделей КС за рахунок врахування ступеня використання ресурсів системи в активних вузлах КС [3];

- методологія реалізації стратегії проектування КС на основі характеристик: готовності підприємства до реалізації функцій; затрат на постановку та запуск функцій; економічного ефекту від впровадження; затрат часу на реалізацію функцій, що дозволило оптимізувати процедури впровадження комп'ютерної системи [4];

- методи та інформаційні технології організації руху даних в РКС на основі матричних моделей, які дозволили збільшити ступінь формалізації та адекватності моделей руху даних з врахуванням використання ресурсів та собівартості руху даних [5];

- обґрунтовані та викладені теоретичні засади побудови кореляційних та логіко-статистичних інформаційних моделей цифрової обробки даних на низових рівнях КС, що дозволило суттєво зменшити обсяг інформаційних потоків на виході активних вузлів цифрової обробки даних КС [11].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на:

- міжнародній конференції “Proceedings of International Conference on Modern Problems of Telecommunications, Computer Science and Engineers Training”. – Львів–Славське, 2000;

- міжнародній конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” – Хмельницький, 2000;

- VII міжнародній конференції CADSM 2003 “Досвід розробки та застосування приладо–технологічних САПР в мікроелектроніці”, – Львів–Славське, 2003;

- міжнародній конференції „Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії” TSET 2004, – Львів–Славське, 2004;

- VIII міжнародній конференції CADSM 2005 „Досвід розробки та застосування приладо–технологічних САПР в мікроелектроніці”, – Львів–Свалява, 2004;

- міжнародній науково–практичній конференції „Автоматизація виробничих процесів” МНПК АВТ – 2005 – Хмельницький, 2005;

- міжнародній конференції “Proceedings of the third IEEE workshop on

Intelligent data acquisition and advanced computing systems: Technology and applications” IDAACS 2005. – Sofia, Bulgaria, 2005;

– міжнародній конференції „Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікації та комп’ютерної інженерії” TSET 2006, Львів–Славське.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи в повному обсязі висвітлені в 13 друкованих працях автора, в тому числі – 5 статей одноосібних, 8 статей у фахових журналах, рекомендованих ВАК України, та 5 у матеріалах та тезах науково-технічних конференцій.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 187 сторінок з них 132 основного тексту, 67 рисунків, 19 таблиць, 3 додатки, список використаних джерел 158 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, її значущість у сучасних умовах розвитку та вдосконалення комп’ютерних систем, сформульовано мету та основні задачі досліджень, викладено наукову новизну роботи і практичну цінність отриманих результатів. Наведені дані про зв’язок роботи з науковими програмами, апробацію та впровадження наукових рішень.

У **першому розділі** викладена загальна характеристика методів організації та моделей руху даних в складних розподілених системах. Проведено аналіз досліджень в галузі проектування та діагностування комп’ютерних систем. Виконана систематизація інформаційних технологій та рівнів моделювання складних розподілених систем. Показано, що представлення інформаційних процесів комп’ютерних систем на основі оргграфів булевих матриць інцидентів характеризується обмеженими функціональними можливостями через відсутність атрибутики джерел інформації, вузлів оброблення та перетворення даних, а також вузлів концентрації, архівування та затвердження даних. Крім того, існуючі інформаційні технології проектування та аналізу складних розподілених систем практично не охоплюють задачі врахування ступеня використання ресурсів та параметрів собівартості руху даних у вузлах комп’ютерних систем.

Обґрунтована перспектива використання матричних моделей руху даних (ММРД) для проектування та аналізу розподілених комп’ютерних систем (рис.1).

Показано, що існуючі технології опису атрибутів ММРД, які включають параметри початку та тривалості виконання операцій, а також стандартизованих типів оброблення даних, суттєво обмежують сукупність похідних моделей руху даних, необхідних для системного опису функціонування комп’ютерних мереж. З метою вирішення задачі вдосконалення методів проектування та діагностики складних КС на основі матричних моделей руху даних, які формалізують структури КС, необхідно провести аналіз системних характеристик різних архітектур КС.

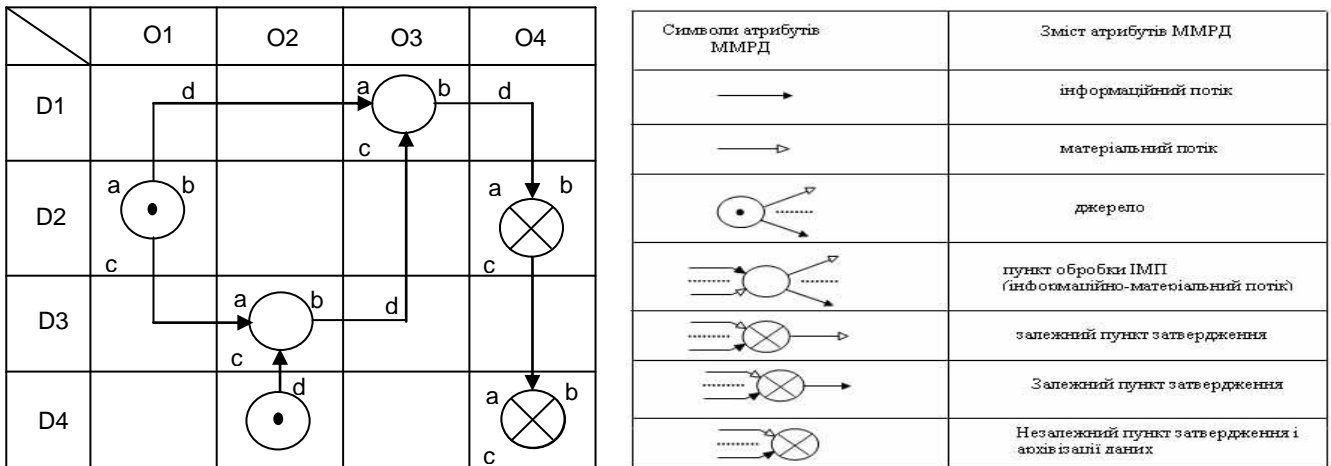


Рис.1. Матрична модель руху даних та її атрибути: O1 - O4 – об'єкти; D1-D4 – документи; a – початок виконання операції; b – тривалість виконання операції; c– тип операції; d– час передавання даних в каналі зв'язку

В роботі проведена класифікація архітектур КС з фізичними, безпроводними електричними та оптичними лініями зв'язку.

Викладено рішення векторної задачі синтезу комп'ютерної системи на основі запропонованого критерію якості її архітектури та експертних оцінок (табл.1).

Таблиця 1

Аналіз характеристик архітектур КС

Тип архітектури	Критерії											$K_{ефект}$
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	
Зіркова	1	0	5	5	1	0	4	3	0	10	5	2,4
Ієрархічна	4	0	4	8	10	0	4	1	0	10	5	2,83
Магістральна	4	10	1	7	1	10	4	1	10	10	5	2,5
Кільцева	8	0	2	8	1	10	4	1	1	10	5	4
Систолічна	10	0	10	9	1	10	4	10	10	10	10	3,4
Зірково-магістральна	10	0	8	1	10	10	4	10	10	10	10	8,2
Безпроводні (радіо)												
Безретрансляційні	10	0	10	9	1	10	7	10	10	10	10	3,57
З пасивним ретранслятором	1	10	2	7	1	0	7	3	0	10	5	1,47
З активним ретранслятором	3	0	3	5	1	5	7	4	0	10	7	4,75
З активним ретранслятором та кільцевою структурою	2	0	2	5	1	5	7	6	4	10	7	6,14
Сотова	9	0	5	7	5	10	7	6	9	10	8	5,41
З відкритим оптичним каналом зв'язку												
Високошвидкісні дуплекси	3	0	1	5	0	10	9	1	10	10	5	6,8
Середньошвидкісні кільцеві	5	0	2	5	1	10	9	3	4	10	7	6,1
Низькошвидкісні кільцеві	8	0	2	5	7	10	9	3	4	10	5	6,2
Розгалужені	10	0	2	7	0	8	9	4	5	10	6	5,7

Результати експертного оцінювання характеристик якості архітектур КС отримані на основі критерію, який визначається відношенням адитивної суми факторів, які покращують характеристики мережі КС, до суми факторів, які їх погіршують:

$$K_e = \frac{S_1 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} + S_{11}}{S_2 + S_3 + S_4}, \quad (1)$$

де S_1 -надійність, S_2 -наявність колізій, S_3 -число каналів зв'язку та їх вартість, S_4 -складність міжрівневих зв'язків, S_5 -багаторівневість, S_6 -прямий зв'язок з об'єктом управління, S_7 -тип зв'язку, S_8 -емерджентність, S_9 -наявність прямих зв'язків між процесорами, S_{10} -можливість використання загальносистемних ресурсів, S_{11} -реалізація принципу паралелізму.

Згідно табл.1 та рівняння (1) побудована впорядкована діаграма векторного синтезу оптимальної системи (рис.2).

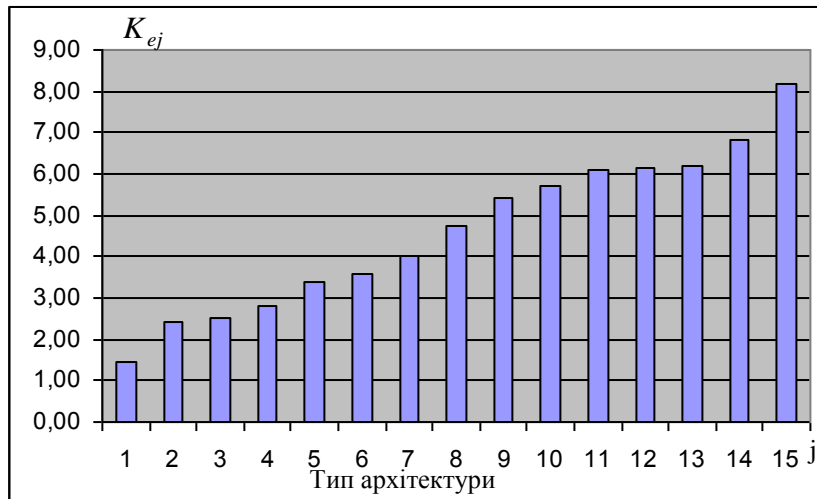


Рис.2. Діаграма векторного синтезу оптимальної системи, впорядкована по зростанню

З рис.2 видно, що кращим можливостям вибору оптимальної системи відповідає відповідно краща роздільна здатність побудованої діаграми у діапазоні

$0 \leq A \leq 10$, коли $|K_{ei} - K_{ej}| = \max$, для $i \in \overline{1, m}$, $j \in \overline{1, n}$, причому $K_{i\bar{i}} > K_{ej}$.

Правильність вибору формули критерію, при заданій сукупності векторних показників якості, а також характеристик їх сумісної глобальної оцінки у вигляді адитивної, мультиплікативної, відносної або функціональної залежності, може бути оцінена шляхом статистичної обробки діаграми на основі оцінки математичного сподівання M_K та середньоквадратичного відхилення σ_x згідно виразів:

$$M_K = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N K_{ej}, \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (K_{ej} - M_K)^2}. \quad (2)$$

При цьому умовою оптимальності вибору аналітичного виразу коефіцієнта ефективності та числових оцінок вектора показників якості є задоволення наступній системі рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} |M_K - 0,5A| &= \min \\ \sigma_x &= \max \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

В результаті аналізу 15 - ти архітектур комп'ютерних систем, згідно 11 -ти експертних ознак якості, обгрунтовано системні переваги зірково-магістральної

архітектури комп'ютерних мереж, які в даний час знаходяться в стадії становлення.

За результатами проведеного аналізу виконана постановка задачі досліджень по вдосконаленню методів організації та формалізації руху даних в РКС.

У другому розділі виконані формалізація та дослідження характеристик системних об'єктів РКС на основі глобальної моделі, яка включає 5 системних об'єктів: P – процесор; D – дані; $СПД$ – системи передавання даних; OU – об'єкт управління; O – оператор. Для даної моделі класифіковані системні функції, системні та функціональні об'єкти, а також показано важливість врахування та методів реалізації інтерфейсних зв'язків між системними об'єктами.

З метою врахування ступеня використання системних ресурсів процесорів у вузлах проєктованих або експлуатованих КС запропонований функціонал, заданий четвіркою параметрів

$$E_p = F(T, V, M, S), \quad (4)$$

де T - час використання ресурсу, V - швидкість виконання системних операцій (формування, передавання, цифрова обробка та зберігання даних), M - об'єм використовуюваного ресурсу пам'яті, S - системні функції.

Даний коефіцієнт приведений до безрозмірної форми на основі функції адитивності $E_p = \frac{T+V+M+S}{4}$, що забезпечує діапазон зміни \mathring{A}_p в границях $0 \leq \mathring{A}_p \leq 1$ та відповідає гіпотезі про статистичну незалежність ресурсних параметрів системного об'єкту. При цьому економічна собівартість руху даних на рівні процесорів, а також інших системних об'єктів може бути обчислена на основі рівняння:

$$P_{co} = E_{co} \cdot P_0 - V_0, \quad (5)$$

$$\text{або} \quad P_{co} = \frac{T+V+M+S}{4} \cdot P_0 - V_0, \quad (6)$$

де P_0, V_0 - відповідно прибутки та витрати на реалізацію функцій системного об'єкту КС.

Формалізація опису інтерфейсних зв'язків об'єктів КС охоплює вхідні та вихідні інформаційні канали. Виконана систематизація характеристик інформаційних потоків в КС, яка включає системні характеристики даних згідно функціоналу

$$E_d = F(T, M, V_R, V_W, S), \quad (7)$$

де T – час зберігання, M – об'єм, V_R - швидкість запису, V_W - швидкість зчитування S – захист від помилок та несанкціонованого доступу.

Важливим параметром даних є спосіб їх кодування, який може виконуватися в різних теоретико-числових базисах (ТЧБ). Проведений аналіз кодових матриць найбільш широковживаних дискретних базисів, які використовуються для кодування даних: унітарного, Хаара, Крейга. Радемахера. Галуа:

$$\begin{matrix}
 M_{Uni} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \end{vmatrix} &
 M_{har} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix} &
 M_{LibCr} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix} &
 M_{Cres} = \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & \dots & P_n \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ 2 & 2 & \dots & 2 \\ 0 & 3 & \dots & 3 \\ 1 & 4 & \dots & 4 \\ 2 & 0 & \dots & 5 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & \dots & 6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1 & a_2 & \dots & a_n \end{vmatrix} &
 M_{Gal} = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}
 \end{matrix} \quad (8)$$

Кожен з названих базисів характеризується визначенням об'ємом кодової матриці для представлення даних. При цьому найбільш надлишковим базисом є унітарний, в якого кодова матриця $V = N^2$, а число активних кодових елементів $n = N^2 / 2$, де N – діапазон кодування даних. Аналогічну надлишковість забезпечує базис Хаара, в два рази меншу надлишковість забезпечує базис Крейга, тобто $V = N^2 / 4$, а $n = N^2 / 8$. Максимально широке застосування для кодування даних в сучасних КС отримав базис Радемахера, в якого $V = N \log N$. Даний базис породжує двійкову систему числення.

Найменшу надлишковість кодування даних забезпечує базис Галуа, кодова матриця якого $V = N$, а $n = N / 2$. Крім того, даний базис забезпечує максимальну упаковку інформаційних кодів.

Об'єкти управління, які входять в склад КС, можуть характеризуватися стаціонарними, квазістаціонарними та нестаціонарними характеристиками, а також описуватися значним числом інформаційних моделей, що має вагомий вплив на системні характеристики КС та умови вибору необхідних потужностей низових контролерів, процесорів, модемів, каналів зв'язку, об'ємів архівів даних, системного та прикладного програмного забезпечення та інше.

Об'єкт управління адекватно може бути описаний характеристичними параметрами – часом, ентропією, моделлю об'єкта та системними функціями,

$$E_{OY} = F(T, M, I, S), \quad (9)$$

де T – час, I – ентропія, M – модель об'єкта, S – системні функції.

Найважливішими системними характеристиками ОУ є модель об'єкта, ентропія та системні функції.

В роботі виконана систематизація інформаційних моделей об'єктів управління, приведені таблиці їх аналітичних виразів та викладені основні функціональні характеристики їх застосування.

Проведений аналіз та систематизація ОУ РКС показує, що в загальному випадку кожен ОУ, який може бути джерелом інформації, середовищем передавання, оброблення та зберігання даних, а також приймачем інформації, може бути в повній мірі описаний характеристичним функціоналом:

$$X_{OY} = F(X(t), M_x, D_x, \sigma_x, R_{xx}, R_{xy}, M_{ij}, S(w), K_{ij}, ЛСИМ, I_x),$$

де $X(t)$ - поточне значення параметру, M_x - математичне сподівання, D_x - дисперсія, σ_x - середньоквадратичне відхилення, R_{xx} - автокореляційна функція, R_{xy} - взаємкореляційна функція, M_{ij} - матриця нормованих коефіцієнтів взаємкореляції, $S(w)$ - спектральні моделі, K_{ij} - матриця імовірностей переходу в різні стани, ЛСІМ - логіко-статистична інформаційна модель, I_x - ентропійна модель.

Даний функціонал використовується для оцінки швидкості створення повідомлень на низових рівнях РКС.

Системи передавання даних (СПД) є комунікаційним середовищем між різними системними об'єктами КС. Проаналізовані архітектури СПД, які включають загальну структуру та структури довідкової системи, СПД вводу і розділення даних та віддаленого вводу завдань, СПД з пакетною комутацією, комутацією повідомлень та електронної пошти, а також технологічні СПД з асинхронною комутацією каналів та синхронною телеметрією. Проаналізовані характеристики каналів зв'язку СПД по типу, діапазону використовуваних частот та затуханню сигналів.

Характеристики СПД описуються функціоналом:

$$E_{СПД} = F(V_R, V_W, P_i, T),$$

де V_R – швидкість приймання даних, V_W – швидкість передавання даних, P_i – імовірність помилок, T – час затримки в каналі.

Систематизовані інформаційні характеристики операторів, які описані функціоналом

$$E_O = F(T, V_R, V_W, S, M), \quad (10)$$

де T – час праці, V_R – швидкість запису, V_W – швидкість зчитування, S – знання, M – пам'ять.

Системні характеристики оператора можуть змінюватися у широких межах в залежності від рівня знань, професійної підготовки, віку, стану здоров'я та оточуючого середовища, ступеня оснащення різними програмно-апаратними засобами процесорної, дисплейної та телекомунікаційної техніки.

Проведені дослідження інформаційних характеристик інтерфейсних зв'язків та інформаційних моделей системних об'єктів КС дозволяють ввести ці дані в атрибутуку ММРД, що забезпечує суттєве розширення можливостей оптимізації проектних рішень КС, а також виконання більш глибокого аналізу ступеня використання ресурсів у діючих КС під час експлуатації.

У третьому розділі викладені теоретичні основи та інформаційні технології організації руху даних в КС на основі матричних моделей (ММ).

Значний вклад в розвиток теорії проектування комп'ютерних мереж та автоматизованих систем вніс відомий американський вчений Дж. Мартін, який визначив поняття і ввів оцінку одиниці руху даних в активних вузлах у вигляді :

$$\hat{E}_a = \frac{R}{W}, \quad (11)$$

де R - число зчитувань або запитів, W - число записів або оновлень даних.

Дана оцінка дозволила розвинути Дж. Мартіном основи теорії проектування корпоративних комп'ютерних мереж і методологію побудови різноманітних проєкцій їх моделей.

В той же час дана оцінка одиниці руху даних не дозволяє врахувати ефективність використання ресурсів в пунктах формування, обробки та реєстрації даних, що не дозволяє реалізувати оптимізаційне проектування комп'ютерних мереж та розрахунок характеристик їх надійності, живучості, ймовірності перевантажень, відмов, а також оцінки собівартості організації руху даних.

Дана оцінка руху даних практично не може бути використана для проектування та розрахунку системних характеристик мереж з глибоким розпаралеленням інформаційних потоків.

На основі коефіцієнта руху даних (11) запропонована оцінка коефіцієнта, яка враховує ресурси руху даних в конкретному вузлі матричної моделі

$$K_{ed} = \frac{R_i \cdot W_0}{R_0 \cdot W_i}, \quad (12)$$

де R_i, R_0, W_i, W_0 - відповідно фактичне число запитів, максимально можливе число запитів, фактичне та максимально можливе число записів або оновлень у вузлі матричної моделі.

Розроблені методи організації та інформаційна технологія формалізації руху даних в РКС базується на побудові адекватної матричної моделі топології проєктованої або експлуатованої КС на підприємстві.

У вдосконаленій матричній моделі, крім відомих атрибутів a, b, c, d , запропоновано додатковий параметр $P-V$ (P - прибутки, V - витрати), а також розширення характеристик параметру c на основі інформаційних моделей ОУ. Таке розширення атрибутики ММ дозволяє виконати більш диференційований аналіз характеристик КС, а також розробити формалізований метод побудови сукупності похідних моделей руху даних.

На основі запропонованого розширення формальних параметрів двовимірної ММ будується наступна сукупність моделей руху даних (МРД):

– двовимірна МРД $D_i O_j \cdot X \cdot a, b, c, p-v \quad i \in \overline{1, n}, j \in \overline{1, m} \quad D_i O_j : D_i O_j$;

– модель граф- розгалужене дерево, яка описується циклами руху даних

$$\left. \begin{array}{l} D_i O_j : D_j O_i : \dots \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ D_i O_j : D_j O_i \end{array} \right\} \in D_j O_i \cdot Z;$$

– параметрична часова модель, яка описується системою умов та атрибутами

$$D_j O_i \cdot X_i \cdot b_{ij} = \begin{cases} x = 1, D_j \cdot O_i \in \text{⊙} \\ y = 2, D_j \cdot O_i \in \text{○} \\ z = 3, D_j \cdot O_i \in \text{⊗} \end{cases} ;$$

– структурно-часова модель, яка описується системою логічних рівнянь

$$D_i O_j \cdot x : D_j O_i \cdot y \wedge (D_i O_j \cdot x \wedge D_j O_i \cdot x : D_i O_j \cdot y) : \dots D_j O_i \cdot z ;$$

– мережевий графік, який описується впорядкованою таблицею активних атрибутів ММ з ознакою початку виконання операцій a_{ij} та таблицею направлених зв'язків від джерел до приймачів

$$D_i O_j \cdot x \cdot a_{ij}; \dots D_j O_i \cdot y \cdot a_{ji}; \dots D_i O_j \cdot z \cdot a_{ij}; \dots$$

$$D_i O_j \cdot x \cdot a_{ij} : D_j O_i \cdot y \cdot a_{ji} : \dots D_i O_j \cdot z \cdot a_{ij} ;$$

– суміщений часовий граф, який описується системою часових обмежень виконання функцій f_i в реальному часі T_i :

$$f_i = \begin{cases} f_1, T_1 \leq T \leq T_k \\ \dots \\ f_i, T_i \leq T \leq T_j \\ \dots \\ f_n, T_n \leq T \leq T_n \end{cases} ;$$

– блок-схема алгоритму обробки та контролю руху даних адекватно відображає умови суміщеного часового графу на основі графа зв'язків стандартних операторів блок-схем алгоритмів та програм.

В той же час, незважаючи на достатньо детальне відображення руху даних в КС у вигляді проєкцій двовимірних ММ на основі сімейства перерахованих моделей, двовимірна ММ не відображає наявні обчислювальні ресурси та міру їх використання, що охоплюється запропонованими тривимірними ММ (рис.3а) з розробленими в роботі атрибутами (рис.3б).

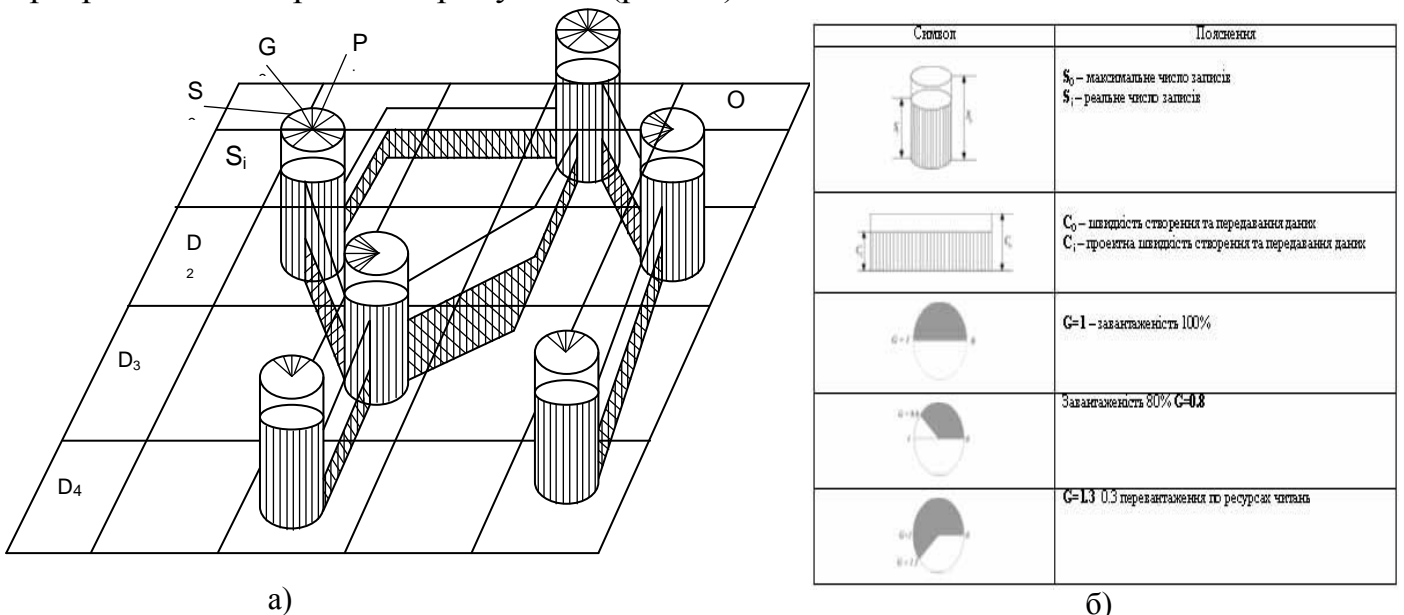


Рис.3. Приклад тривимірної матричної моделі руху даних в КС та її атрибути

Досвід розробки та використання тривимірних матричних моделей показує, що дана модель досить громіздко відображає архітектуру та параметри руху даних в КС, оскільки не дозволяє чітко представити часові та ресурсні атрибути матричної моделі.

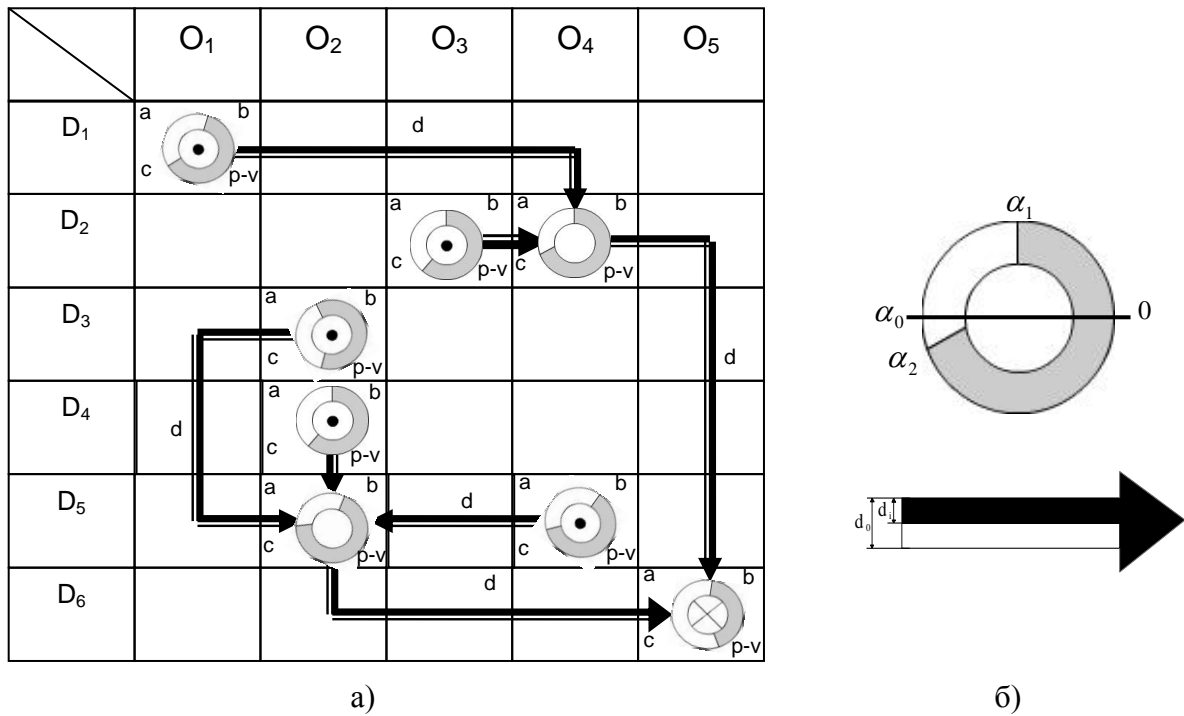


Рис.4. Двовимірна модифікована матрична модель руху даних та її атрибути

Запропонована система атрибутів та інформаційна технологія побудови модифікованих матричних моделей, приклад яких показаний на рис.4а, 4б, де $\alpha_0 = 180^\circ$ - стовідсоткове використання ресурсів; $0 \leq \alpha_1 \leq 180^\circ$ -ступінь використання ресурсів зчитування даних; $180^\circ \leq \alpha_2 \leq 360^\circ$ -ступінь використання ресурсів записів; d_0, d_i - відповідно ресурси та ступінь використання швидкості передавання даних в каналі зв'язку.

На основі проведеного аналізу типових архітектур КС (табл.1) викладені системні переваги та недоліки класифікованих архітектур КС та отримані таблиці їх двовимірних моделей руху даних. Результати даних досліджень дозволяють формалізувати проектні рішення КС з різною архітектурою шляхом представлення їх адекватними матричними моделями та реалізувати автоматизовані процеси побудови сукупності похідних моделей на їх основі.

У четвертому розділі викладено рішення задачі вибору стратегії проектування активних вузлів КС на основі вектора вхідних даних, який описується функціоналом $S_{ij} = F(G, V, P - V, T)$, де G - ступінь готовності підприємства до впровадження задач, які реалізуються комп'ютерною мережею, P - прибутки від реалізації інформаційних задач, V - витрати проектування, впровадження та експлуатації системи, T - час проектування та впровадження задач.

Введення параметру $P - V$ дозволило, на основі моделі суміщеного часового


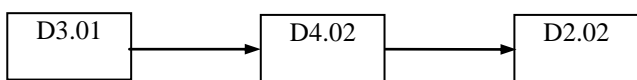
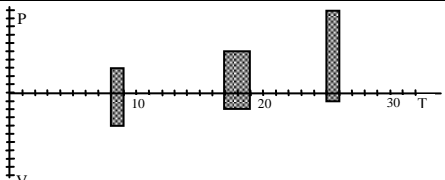
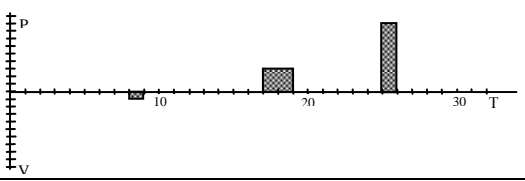
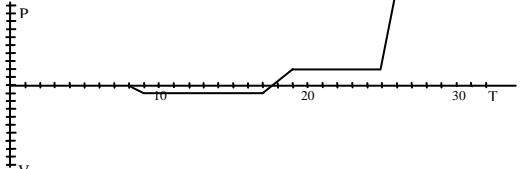
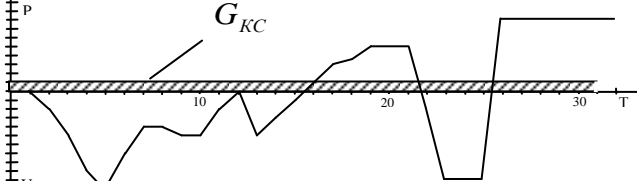
графу та запропонованих методів представлення епюр руху даних (ЕРД) у різних теоретико-числових базисах, розробити алгоритм побудови епюр руху даних, які враховують собівартість формування, оброблення, перетворення, зберігання та використання даних в КС. Запропонована наступна сукупність та послідовність побудови ЕРД:

- цикл руху даних;
- сигнальна ЕРД ;
- диференціальна ЕРД ($\Delta EРД$);
- інтегральна ЕРД ($\int \Delta EРД$);
- сумарна інтегральна ЕРД ($\sum \int \Delta EРД$);
- глобальна дисперсія ЕРД ($G_{КС}$).

Приведені в табл.2 приклади побудови ЕРД, які характеризуються строгою формалізацією алгоритмів їх розрахунку та способом графічного представлення у вигляді продукційних моделей подання знань, доведені до їх використання на інженерному рівні.

Таблиця 2

Характеристики епюр руху даних

Тип ЕРД	Аналітичний вираз	Графічне представлення
цикл руху даних		
сигнальна	$EРД(i, j) = \begin{cases} P_{ij}(a, b) \\ V_{ij}(a, b) \end{cases}$	
диференціальна	$\Delta EРД(t_j) = P_{ij}(a, b) - V_{ij}(a, b)$	
інтегральна	$\int_0^T \Delta EРД(T) dT$	
сумарна інтегральна	$\sum_{i=1}^n \int_0^T \Delta EРД(T) dT$	

Глобальна характеристика ефективності проектованої комп'ютерної системи

розраховується на основі обчислення вибіркового математичного сподівання та характеристики сумарної інтегральної епюри згідно формули:

$$G_{\text{ЕН}} = \frac{\sum_{i=1}^n \int \Delta E P \ddot{A}_i(T) dT}{N},$$

де n – число циклів руху даних, N – загальне число часових інтервалів моделі “суміщений часовий граф”.

При цьому може бути ефективно використана теорія інтервалів для оцінки граничних значень глобальної характеристики ефективності КС та вибору оптимального варіанту організації та мінімізації собівартості руху даних в розподіленій інформаційній системі.

Викладені теоретичні основи, методи та інформаційні технології побудови епюр собівартості руху даних в РКС є новим ефективним інструментом аналізу та діагностики діючих комп’ютерних систем, а також засобом оптимізації проектування РКС із складною архітектурою та високим рівнем розпаралелення системних операцій. Розроблений метод побудови ЕРД є основою реалізації стратегії та вибору оптимізованих варіантів архітектури КС, трафіків інформаційних потоків, функціональних можливостей формування, оброблення та зберігання даних, а також ступеня використання ресурсів КС в активних вузлах.

У **п’ятому розділі** приведені результати розробки структури та реалізації програмного забезпечення формалізованої побудови сукупності МРД на основі ММ, які включають побудову моделей граф-розгалужене дерево, параметрично-часової моделі, структурно-часової моделі, мережевого графіка, суміщеного часового графа, блок-схеми алгоритму та сукупності ЕРД.

Розроблений інтерфейс користувача в середовищі Delphi (рис.5).

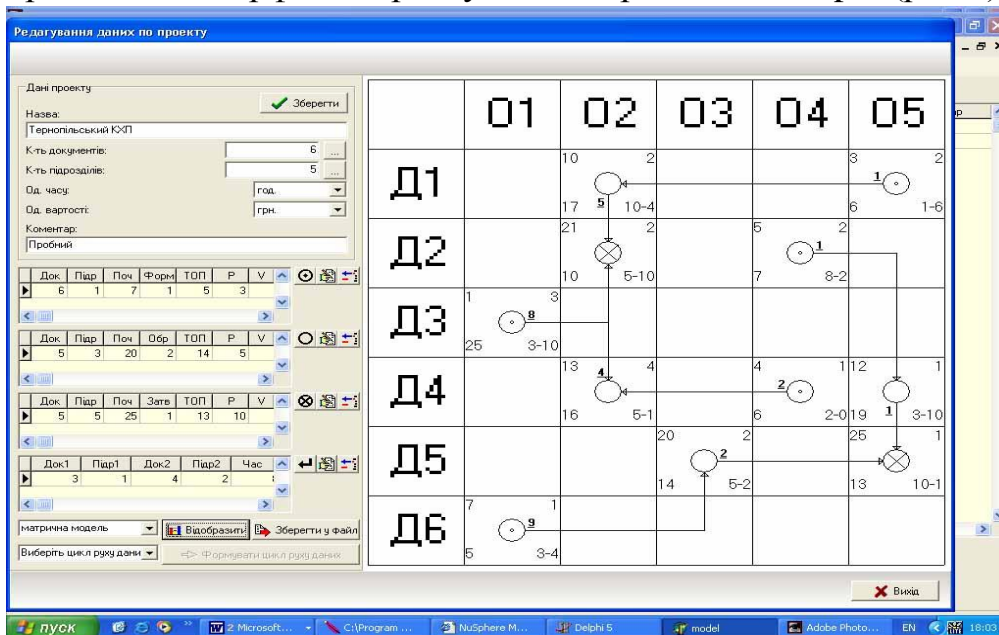


Рис.5. Інтерфейс користувача програми для побудови та розрахунку параметрів матричної моделі КС

Згідно розроблених теоретичних засад моделювання та методів організації руху даних в КС побудовано сімейство МРД для діючого промислового підприємства, що дозволило формалізувати структуру руху даних, оптимізувати інформаційні потоки КС розрахувати ступінь використання ресурсів, розробити рекомендації по вдосконаленню інформаційної системи та ефективності використання інтелектуальних ресурсів КС, з метою підвищення ефективності контролю відхилень технологічних параметрів від норми, підвищення стабільності та зниження собівартості виробництва.

ВИСНОВКИ ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу розробки ефективних методів організації руху даних на етапах проектування, аналізу та діагностування РКС. При цьому отримано наступні результати:

1. Отримані аналітичні вирази та розроблена методологія обґрунтування критеріїв якості розподілених комп'ютерних систем на основі оцінки ентропії сукупності факторів, математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення експертних оцінок якості.

2. Запропоновані функціонали характеристик системних об'єктів КС на основі глобальної моделі, що включає процесори, дані, систему передавання даних, об'єкти управління та оператори, які об'єднані між собою через інтерфейсні зв'язки. Розроблені функціонали включають параметри часу функціонування, об'єм пам'яті, ресурси зчитування та запам'ятовування даних, швидкість обміну даними та імовірності помилок в каналах зв'язку, а також характеристики моделей об'єктів управління, що дозволило суттєво спростити процеси проектування та оптимізації КС на основі моделей руху даних.

3. Розвинуто теорію графів в частині розширення та конкретизації атрибутів направлених графів та матриць інцидентій шляхом розробки продукційних моделей подання знань на основі матричних моделей руху даних, що дозволило розробити сукупність похідних моделей руху даних і суттєво спростило інженерні розрахунки по проектуванню, діагностиці та оптимізації комп'ютерних систем.

4. Розроблено метод побудови тривимірних та двовимірних модифікованих моделей руху даних на основі додатково введених атрибутів оцінки ступеня використання ресурсів в активних вузлах комп'ютерної системи, що дозволило підвищити якість моделювання комп'ютерних систем та практичну результативність діагностики їх ефективності та оптимізації характеристик.

5. Побудовані матричні моделі руху даних адекватні архітектурам КС з концентрованою, розподіленою однорівневою, багаторівневою організацією з використанням провідних, безпровідних та оптичних ліній зв'язку, які дозволили спростити процеси проектування складних РКС та оптимізувати їхні характеристики.

6. Розроблено методи проектування КС на основі характеристик: готовності

підприємства та затрат часу на впровадження інформаційних задач, витрат на постановку та оцінку економічної ефективності від впровадження інформаційних задач.

7. Розроблені теоретичні основи побудови епюр собівартості руху даних в активних вузлах КС, що дозволило спростити вирішення інженерних задач розрахунку характеристик циклів руху даних та глобальної оцінки ефективності проекрованої або діагностованої РКС.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. I. Pitukh, Y. Nykolaychuk, N. Vozna. Principles of computer networks construction with deep paralleling of information flows on the basis of matrix models of data movement // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceeding of International Conference TCSET'2004. – Lviv-Slavske. Ukraine. P.417 – 419.

2. Пітух І.Р. Моделі комп'ютерних мереж на основі інтегральних економічних епюр // Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. – Київ. – 2004.– № 27. – С.81–86 .

3. Пітух І. Проектування характеристик системних об'єктів комп'ютерних мереж з глибоким розпаралеленням інформаційних потоків // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – Хмельницький. – 2005. – Т.2, Ч.1, №4. – С.133-136.

4. Пітух І., Николайчук Я., Возна Н. Принципи побудови комп'ютерних мереж з глибоким розпаралелюванням інформаційних потоків на основі матричних моделей руху даних // Вісник національного університету „Львівська політехніка”. Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2004 – № 508. - С. 263–268.

5. Y. Nykolaychuk, I. Pitukh, N. Vozna, L. Nykolaychuk Information technologies of models formalization and designing for data movement in computer networks of automatic control system // Proceedings of the third IEEE workshop on Intelligent data acquisition and advanced computing systems: Technology and applications IDAACS 2005. – Sofia, Bulgaria. – P.253–259.

6. Пітух І.Р. Системні характеристики формальних об'єктів моделей руху даних в комп'ютерних мережах // Тези доповідей III Міжнародної конференції „PHOTONICS–ODS 2005”. – Вінниця. – 2005. – С. 60–61.

7. Пітух І., Николайчук Я., Возна Н. Моделювання руху даних та методологія проектування комп'ютерної мережі з паралельними інформаційними потоками // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – Хмельницький. – 2004. – Т.2, Ч.1, №2.– С. 33-35.

8. I. Pitukh, Y. Nykolaychuk, N. Vozna. Information technologies of models data movement construction in the automatic management systems // Proceedings of the VIII–th International Conference CADSM 2005, – Lviv–Polyana, Ukraine. – P.427–428.

9. Пітух І. Критерії ефективності використання ресурсів архітектури інформаційних систем, які реалізують моделі руху даних // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – Хмельницький. – 2006. – №5.– С.106-109.

10. Пітух І. Кореляційні та ентропійні моделі об'єктів управління розподілених комп'ютерних мереж. – Івано – Франківськ: Наукові вісті інститут менеджменту та економіки “Галицька академія”.–2006. – № 2 (10).– С.117 – 120.

11. Андрушко І.В., Пітух І.Р., Николайчук Я.М. Теоретичні основи та інформаційні технології побудови логіко–статистичної інформаційної моделі (ЛСІМ–4) на основі контролю спектральних характеристик об'єктів управління // Оптико–електронні інформаційно–енергетичні технології.– Вінниця : ВНТУ. – 2006. –№ 2 (12). –С.110–118.

12. Пітух І.Р. Теоретичні основи побудови моделей економічних епюр руху даних в комп'ютерних мережах з використанням різних теоретико – числових базисів // Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Київ. – 2006.– № 37. – С.42–46 .

13. Пітух І. Інформаційна технологія побудови миттєвих та інтегральних економічних епюр руху даних на основі циклів матричних моделей комп'ютерних систем // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – Хмельницький. – 2007. – Т.1.– №3. – С.130-134.

АНОТАЦІЇ

Пітух І. Р. Методи організації руху даних в розподілених комп'ютерних системах на основі матричних моделей. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.13. – обчислювальні машини, системи та мережі. – Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, 2007.

Дисертацію присвячено розробці методів та інформаційних технологій організації руху даних в РКС.

Запропоновано критерій якості характеристик архітектури комп'ютерних систем на основі експертних оцінок. Показано, що згідно вибраного критерію, який враховує 11 показників, найкращими властивостями серед 15-ти проаналізованих типів комп'ютерних систем характеризується зірково-магістральна архітектура. Проведений аналіз 5-ти системних об'єктів глобальної моделі РКС. Викладені теоретичні основи інформаційних моделей об'єктів управління РКС та системні інтерфейсні характеристики операторів. Запропоновано метод оцінки ефективності руху даних на основі врахування ступеня використання ресурсів у вузлах КС. Розроблені інформаційні технології автоматизованої побудови матричних та сукупності похідних моделей руху даних, які доведені до рівня інженерної практики. Запропонована атрибутика та методи побудови трьохвимірних та модифікованих двовимірних моделей руху даних в РКС. Розроблений метод

формалізації типових архітектур РКС і адекватного їх представлення двохвимірними матричними моделями руху даних. Розроблена інформаційна технологія побудови сукупності моделей – епюр собівартості руху даних в РКС, які дозволяють виконати оптимізацію характеристик проєктованих та діючих РКС, а в результаті – покращити організацію руху даних в комп'ютерних системах промислових об'єктів. Розроблене програмне забезпечення та інтерфейс оператора формалізованої побудови матричних та похідних моделей руху даних в РКС.

Ключові слова: розподілені комп'ютерні системи, інформаційні технології, матричні моделі руху даних, епюри собівартості руху даних.

Питух И. Р. Методы организации движения данных в распределенных компьютерных системах на основе матричных моделей. – Рукопись.

Дисертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.13. – вычислительные машины, системы и сети. – Тернопольский национальный экономический университет, Тернополь, 2007.

Дисертация посвящается разработке методов и информационных технологий организации движения данных в распределенных компьютерных системах.

Предложено критерий качества характеристик архитектуры компьютерных систем на основе экспертных оценок. Показано, что согласно выбранному критерию, который учитывает 11 показателей, лучшими качествами, среди 15-ти проанализированных типов компьютерных систем, характеризуется звездно-магистральная архитектура. Проведенный анализ 5-ти системных объектов глобальной модели РКС. Включая процессоры, данные, операторы, системы передачи данных и объекты управления. Предложены функционалы, которые описывают системные характеристики базовых объектов РКС, а также приведены таблицы классов моделей объектов управления, сфер использования СПД и характеристик каналов связи. Изложены теоретические основы информационных моделей объектов управления РКС, а также системные интерфейсные характеристики операторов. Предложено метод оценки эффективности движения данных на основе учета степени использования ресурсов в узлах КС. Разработаны информационные технологии автоматизированного построения матричных и совокупности производных моделей движения данных, которые доведены до уровня инженерной практики. В соста таких моделей включены: граф разветвленное дерево, параметрическая, временная, структурно-временная, сетевой график, модель совмещенный временной граф, блок-схема алгоритма обработки данных. Предложена атрибутика и методы построения трехмерных и модифицированных двумерных моделей движения данных в РКС. Разработан метод формализации типичных архитектур РКС и адекватного их представлення двумерными матричними моделями движения данных. Разработана информационная технология построения совокупности производных епюр себестоимости движения данных в РКС, типа прибыльно-расходных,

дифференциальных, интегральных, суммарно-интегральных и глобально-системных, которые позволяют выполнить оптимизацию характеристик проектируемых и действующих РКС, а в результате – улучшить организацию движения данных в компьютерных системах промышленных объектов. Разработано программное обеспечение, а также интерфейс оператора, формализовано построение матричных и производных моделей движения данных РКС на языке высокого уровня Delphi.

Ключевые слова: распределенные компьютерные системы, информационные технологии, матричные модели движения данных, эпюры себестоимости движения данных.

Pituh I. R. Methods of data movement organization in divided computer systems on the basis of the matrix models. - Manuscript.

Thesis on getting scientific degree of a candidate of the technical sciences in the speciality of 05.13.13. - computing machines, systems and networks. – Ternopil National Economic University, Ternopil, 2007.

The thesis deals with the development of the methods and information technologies of data movement organization in computer systems (DCS).

The features quality criterion of the computer systems architecture on the basis of expert estimation has been suggested. We can see that according to a chosen criterion, which takes into account 11 factors, the best quality amongst 15 types of the computer systems being analysed is that of the star-main architecture. There has been done the analysis of 5 system objects of the DCS global model. The theoretical bases of information objects models control of DCS, as well as operators' system interface features have been stated. The method of the estimation of data movement efficiency on the basis of taking into account the degree of the use of resources in the CS knots has been suggested. The information technologies of the automatic building of matrix and combination of the derived models of data movement being used in the engineering practice have been worked out. The approach and methods of building three-dimension and modified 2-dimension data movement models in DCS have been suggested. The method of formalizations of typical architectures DCS and their adequate presentation by the two-dimension matrix model of data movement has been worked out. The information technology of building of the combination of models – epures of data movement cost price in DCS, which allow to achieve optimization of the features of designed and acting DCS, and, as a result, to improve organization of data movement in computer systems of industrial objects has been worked out. The software, as well as operator's interface of a formalized building of matrix and derived models of the data movement in DCS in the high-tech level has been worked out.

The Keywords: divided computer systems, information technologies, data movement matrix models, data movement cost price epures.