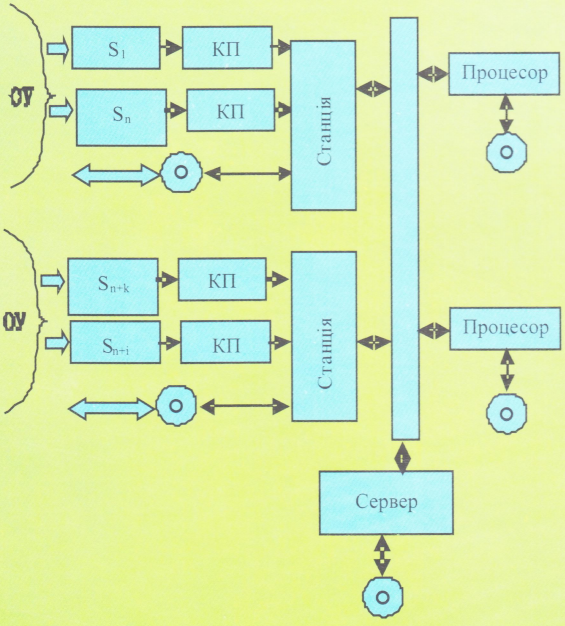
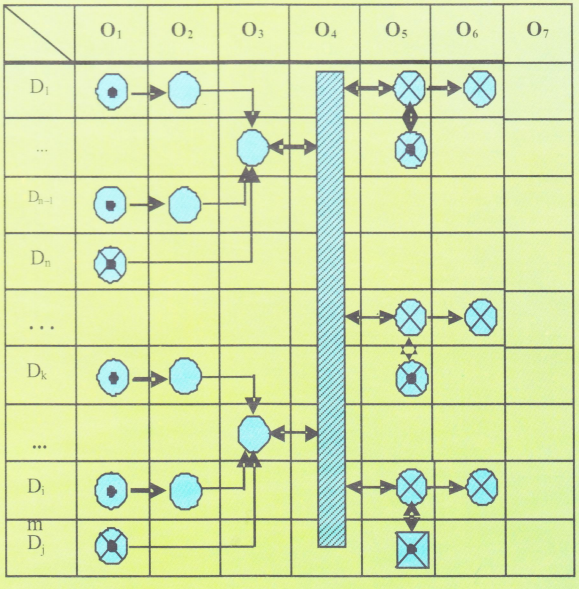
Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р.

ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник





Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р.

ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник

Тернопіль
2010

УДК 681.215; 621.321.7
ББК 32.973.2
Н 63

Рекомендовано Вченою радою Тернопільського національного економічного університету (протокол №2 від 28.12.2010 р.)

Рецензенти:

Мельник А.О. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Електронні обчислювальні машини" Національного університету „Львівська політехніка", м. Львів;

Горбійчук М.І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ;

Карпінський М.П. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету, м. Тернопіль.

Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р.

Н63 Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем./Навчальний посібник/ - Тернопіль: ТзОВ «Терно-граф» , 2010.- 392 с., іл.

ISBN 978-966-457-108-8

Мета пропонованого навчального посібника – комплексний аналіз теоретичних основ, інформаційних технологій, моделей та стратегій проектування архітектур та компонентів спеціалізованих комп'ютерних систем, висвітлення наукового та навчального змісту дисципліни «Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем».

Навчальний посібник характеризується новизною теоретичного, методологічного та технолого-інформаційного матеріалу. Більша частина посібника у системно впорядкованому вигляді публікується вперше в Україні. Глибокому засвоєнню курсу сприятимуть навчальні тренінги, до складу яких входять контрольні запитання, завдання та приклади рішення задач, пов'язаних з технологією проектування спеціалізованих комп'ютерних систем (СКС) на базі розроблених авторами інформаційних основ побудови сімейства моделей та епюр руху даних в однорівневих та багаторівневих СКС.

У додатках наведено умови завдань розробки проектних рішень та приклади проектування розподілених СКС.

Навчальний посібник належить до методичного забезпечення дисципліни «Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем» напряму «Комп'ютерна інженерія» професійного спрямування "Спеціалізовані комп'ютерні системи" і може використовуватися у ВНЗ під час вивчення суміжних дисциплін: «Основи побудови спеціалізованих комп'ютерних систем», «Проектування комп'ютерних систем», «Проблемно-орієнтовані комп'ютерні системи» та інш.

Для студентів, аспірантів, наукових співробітників, проектантів КС та інших категорій спеціалістів у галузі комп'ютерних систем та інформаційних технологій.

ББК 32.973.2

© Николайчук Я.М., 2010
© Возна Н.Я., 2010
© Пітух І.Р., 2010
© ТзОВ «Терно-граф», 2010

Усі права застереженні

ISBN 978-966-457-108-8

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ 8

ПЕРЕДМОВА 9

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ, ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ТА ПРОЦЕСІВ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ 16

1.1. Теорія та методологія побудови систем 16

1.2. Комп'ютерні системи 22

1.3. Спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС) 24

Контрольні запитання і завдання 25

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СКС 26

2.1. Теорія мереж Петрі 26

2.1.1. Графи та мережі 26

2.1.2. Дерева графів 28

2.2. Мережі 31

2.3. Матриці суміжності та інциденцій мереж Петрі 33

Контрольні запитання і завдання 34

Рекомендована література до 2 розділу 35

РОЗДІЛ 3 АРХІТЕКТУРИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ 36

3.1. Класифікація архітектур та характеристики СКС 36

3.1.1. Системи концентрованого опрацювання інформаційних потоків 38

3.1.1.1. Монопольна СКС 38

3.1.1.2. СКС розділеного часу 39

3.1.1.3. Мультипрограмна СКС 39

3.1.1.4. Мультипроцесорна СКС 40

3.1.2. Мережеві однорівневі СКС 40

3.1.2.1. Магістральна архітектура СКС 40

3.1.2.2. Кільцева архітектура СКС 41

3.1.2.3. Зіркова архітектура СКС 42

3.1.2.4. Систолічна архітектура СКС 43

3.1.3. Багаторівневі архітектури СКС 43

3.1.3.1. Ієрархічна СКС 43

3.1.3.2. Мережно-ієрархічна СКС 45

3.1.3.3. Багаторівнева магістральна СКС 46

3.1.3.4. Зірково-магістральна СКС 46

3.1.3.5 Поняття, архітектура та функції мережевої станції СКС 48

3.2. Характеристики емерджентності різних структур СКС 49

3.3. Характеристики архітектур процесорів формування та цифрового опрацювання даних 56

3.3.1. Архітектури процесорів послідовного та послідовно-паралельного типу 59

3.3.2. Векторні, потокові та конвеєрні архітектури процесорів 60

3.3.3. Паралельні та матричні архітектури спецпроцесорів 63
3.3.4. Архітектури процесорів за класифікацією Шора 66
3.3.5. Процесори на основі вертикальної інформаційної технології 69
Контрольні запитання і завдання 71
Рекомендована література до 3 розділу 72
РОЗДІЛ 4 СТРАТЕГІЯ, КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗАКОНИ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ СКС 75
4.1. Поняття та характеристики руху даних в СКС 75
4.2. Стратегія проектування СКС 75
4.3. Закони доцільності та ефективності проектних рішень СКС 78
4.3.1. Закон фрактальності 78
4.3.2. Закон Гроша 79
4.3.3. Закон максимального прибутку 80
4.3.4. Закон якості 81
4.3.5. Закон собівартості 82
Контрольні запитання і завдання 84
Рекомендована література до 4 розділу 85
РОЗДІЛ 5 ФУНКЦІЇ, СИСТЕМНІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ ГЛОБАЛЬНОЇ МОДЕЛІ СКС 87
5.1. Формалізація опису характеристик системних об'єктів СКС 88
5.2. Системні характеристики процесора 90
5.3. Системні характеристики даних 91
5.4. Системні характеристики СПД 92
5.4.1. Архітектури та характеристики каналів зв'язку СПД 109
5.4.2. Теорія та методологія передавання сигналів в сучасних СПД 113
5.4.2.1. Теоретичні основи ДІ на основі псевдовипадкових кодових послідовностей та сигналів 113
5.4.2.2. Системні характеристики одновимірних шумоподібних сигналів 115
5.4.3. Вдосконалення аналітики цифрових кореляційних приймачів джерел одновимірних ШПС 120
5.4.4. Теорія та системні характеристики двовимірних шумоподібних ДІ 124
5.4.5. Моделювання автокореляційних характеристик ДІ на основі двовимірних кодів Баркера 128
5.4.6. Теорія впливу помилок на двовимірні псевдовипадкові ДІ 135
5.5. Системні характеристики операторів 144
Контрольні запитання і завдання 145
Рекомендована література до 5 розділу 147
РОЗДІЛ 6 СИСТЕМНІ ВЛАСТИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ СКС 151
6.1. Класифікація системних характеристик об'єктів управління СКС 151

6.2. Складність ОУ СКС 151
6.3. Ділимість ОУ СКС 152
6.4. Полікритеріальність ОУ СКС 153
6.5. Кібернетичність ОУ СКС 153
6.6. Замкнутість ОУ СКС 155
6.7. Ієрархічність ОУ СКС 158
6.8. Емерджентність ОУ СКС 159
6.9. Стаціонарність ОУ СКС 161
6.10. Динамічність ОУ СКС 163
6.11. Стійкість ОУ СКС 164
6.12. Адаптивність ОУ СКС 164
6.13. Післядія ОУ СКС 165
Контрольні запитання і завдання 166
Рекомендована література до 6 розділу 167
РОЗДІЛ 7 МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ СКС 168
7.1. Решітчасті моделі джерел інформації ОУ 168
7.1.1. Сигнальна 168
7.1.2. Інтегральна 169
7.1.3. Диференціальна 170
7.1.4. Центрована 170
7.2. Статистичні моделі ОУ 171
7.2.1. Вибіркове математичне сподівання 171
7.2.2. Ковзне математичне сподівання 172
7.2.3. Вагове математичне сподівання 172
7.2.4. Дисперсія 173
7.2.5. Середньоквадратичне відхилення 173
7.3. Кореляційні моделі ОУ 174
7.3.1. Знакова 174
7.3.2. Релейна 174
7.3.3. Кореляційна 175
7.3.4. Коваріаційна 176
7.3.5. Структурна 176
7.3.6. Модульна 177
7.3.7. Еквівалентна 177
7.4. Нелінійні решітчасті моделі ОУ 180
7.4.1. Одновимірні адаптивні моделі ОУ у базисі Радемахера 180
7.4.2. Адаптивні моделі ОУ у базисі Галуа 181
7.4.3. Нелінійні моделі ОУ у базисі Крестенсона 185
7.4.4. Нелінійні моделі ОУ у базисі Крестенсона-Галуа 187
7.4.5. Моделі ОУ на основі вертикальної інтегрально-імпульсної технології 190
7.4.6. Кодові шкали в базисі Галуа 191
7.5. Спектральні моделі ОУ у різних теоретико-числових базисах 191
7.6. Моделі структуризованих джерел інформації 193
7.7. Кластерні моделі квазістаціонарних ОУ 195

7.8. Логіко–статистичні інформаційні моделі діагностики станів ОУ 200
7.9. Ентропійні моделі станів ОУ 206
Контрольні запитання і завдання 206
Рекомендована література до 7 розділу 219
РОЗДІЛ 8 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ, АЛФАВІТНО-ЦИФРОВИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДАНИХ В СКС 222
8.1. Аналіз та обґрунтування вибору багатоканальних аналого-цифрових кодерів технологічних даних на низових рівнях СКС 222
8.2 Оцінка впливу старіння інформації на кореляційні моделі багатоканальних ДІ при аналого-цифровому перетворенні 242
8.3. Аналіз апаратно-програмних засобів вводу алфавітно-цифрових даних 249
8.4. Критерії ефективності та дослідження системних характеристик клавіатур для вводу алфавітно-цифрових даних 256
8.5. Метод синтезованого формування алфавітно-цифрових даних 261
8.6. Клавіатура синтезованого формування алфавітно-цифрових даних мобільного адаптера низових рівнів СКС 264
8.7. Структура та функції мобільного адаптера СД низових рівнів СКС 269
8.8 Реалізація принципів синтезованого вводу алфавітно-цифрових даних на низових рівнях СКС 271
Контрольні запитання і завдання 273
Рекомендована література до 8 розділу 274
РОЗДІЛ 9 МАТРИЧНІ МОДЕЛІ РУХУ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ 279
9.1. Атрибути матричної моделі 279
9.2. Тримірні матричні моделі 281
9.3. Модифіковані двомірні матричні моделі 283
9.4. Аналіз топології промислового об'єкта управління 284
Рекомендована література до 9 розділу 286
РОЗДІЛ 10 ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ АРХІТЕКТУР СКС 287
10.1. Формалізація моделей СКС концентрованого опрацювання інформаційних потоків 287
10.2. Формалізація моделей СКС з однорівневим мережевим опрацюванням інформаційних потоків 289
10.3. Формалізація моделей СКС з багаторівневими архітектурами 291
Контрольні запитання і завдання 295
РОЗДІЛ 11 ПОХІДНІ МОДЕЛІ РУХУ ДАНИХ СКС 296
11.1. Розробка похідних моделей на основі матричних моделей руху даних 296
11.1.1. Граф - розгалужене дерево 297
11.1.2. Часові інформаційні моделі 297
11.1.2.1. Параметрична часова модель 297
11.1.2.2. Структурно–часова модель 298

11.1.2.3. Модель “мережевий графік” 299
11.1.2.4. Модель "суміщений часовий граф" 300
11.1.3. Модель "блок–схема алгоритму оброблення даних" 301
11.1.4. Граф-алгоритмічна модель опрацювання даних 306
Контрольні запитання і завдання 307
Рекомендована література до 11 розділу 309
РОЗДІЛ 12 ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЕПЮР РУХУ ДАНИХ В СКС 310
12.1. Методи побудови ЕРД на основі продукційних моделей подання знань 310
12.2. Алгоритми побудови однорівневих моделей руху даних 321
12.3. Програмні засоби побудови епюр собівартості руху даних та оцінки глобальної ефективності комп’ютерних систем 323
12.4. Організація інтерфейсного діалогу САПР моделей руху даних 325
Контрольні запитання і завдання 327
Рекомендована література до 12 розділу 328
РОЗДІЛ 13 МОДЕЛІ РУХУ ДАНИХ БАГАТОРІВНЕВИХ СКС 329
13.1. Багаторівнева матрична модель СКС 329
13.2. Цикли руху даних багаторівневих СКС 334
13.3. Багаторівнева модель "граф – розгалужене дерево" 335
13.4. Інтегрована модель "граф – розгалужене дерево" 337
13.5. Параметрична часова модель багаторівневої СКС 338
13.6. Структурно-часова модель багаторівневої СКС 340
13.7. Багаторівнева модель "мережевий графік” 342
13.8. Модель "суміщений часовий граф" багаторівневої СКС 343
13.9. Модель "блок-схема алгоритму" руху даних багаторівневої СКС 344
13.10. Граф-алгоритмічні моделі багаторівневої СКС 347
13.11. Епюри руху даних багаторівневих СКС. 352
13.12. Обґрунтування критеріїв та дослідження ефективності представлення сукупності МРД складних багаторівневих СКС 355
Контрольні запитання і завдання 363
Рекомендована література до 13 розділу 365
РОЗДІЛ 14 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ СТРУКТУРИЗОВАНИХ ДАНИХ В СКС 366
Контрольні запитання і завдання 372
УМОВИ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОРІВНЕВИХ СКС НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ РУХУ ДАНИХ 373
УМОВИ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОРІВНЕВИХ СКС НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ РУХУ ДАНИХ 382

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АЛП – арифметико-логічний пристрій;

АЦК – аналого-цифровий кодер;

БМ – базовий модуль;

ДІ – джерело інформації;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КНМ – контролер низової мережі;

КС – комп'ютерна система;

ЛСІМ – логіко-статистична інформаційна модель;

ММ – матрична модель;

ММРД – матрична модель руху даних;

ОУ – об'єкт управління;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПІ – приймач інформації.

ПКД – пам'ять колективного доступу;

ПЛІС – програмовані логічні інтегральні схеми;

РКС – розподілені комп'ютерні системи;

САПР – система автоматизованого проектування;

СД – структуризовані дані;

СКС – спеціалізовані комп'ютерні системи;

СО – системний об'єкт;

СОІ – середовище обробки інформації;

СПД – система передавання даних;

СПІ – середовище передавання інформації;

ТЕД – техніко-економічні дані.

ПЕРЕДМОВА

Спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС) належать до класу проблемно-орієнтованих комп'ютерних систем, вбудованих та розподілених комп'ютерних систем (РКС) реального часу, а також суперфункціональних комп'ютерних систем (КС) спеціального призначення та відповідного програмно-апаратного виконання.

Проектні та експлуатаційні характеристики СКС визначаються не умовами універсальності та масового тиражування, а найчастіше особливими властивостями та характеристиками об'єктів управління, які вони обслуговують. СКС повинні володіти відповідними унікальними характеристиками алгоритмічної, структурної, ємнісної, апаратної складності, надійності та живучості в особливих умовах, часто, критичних чи жорстких обмеженнях на системні параметри часу, швидкодії, об'єму пам'яті та операційного інтелекту.

Концепція розвитку СКС, як галузі національної науки і техніки, у найближчому майбутньому принципово викладена у праці професора А.О.Мельника, завідувача кафедри «Електронні обчислювальні машини» Національного університету «Львівська політехніка» та професора В.П.Тарасенка – завідувача кафедри СКС Національного університету «Київський політехнічний інститут». Дану концепцію, з дозволу авторів, враховуючи її багатогранність та змістовність, приводимо цитуючи у даній передмові до навчального посібника з дисципліни «Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем».

«Автори статті поставили за мету відповісти на питання про потреби України в СКС та можливості їх задоволення, а також аргументовано заперечити поширену тезу про остаточне зникнення дуже важливого і раніше досить високорозвинутого напрямку комп'ютерної науки і техніки в зв'язку із занепадом національної мікроелектронної промисловості. Авторське бачення цієї проблеми спирається на майже тридцятирічний науково-педагогічний та інженерний досвід роботи в даній галузі. Щоб надалі уникнути неоднозначностей, спочатку визначимо точніше предмет обговорення.

Основними інструментальними засобами сучасної інформатики є комп'ютерні системи різних класів і потужностей. За допомогою існуючих універсальних КС (УКС) можна розв'язувати багато задач наукового, виробничо-технічного та іншого характеру. Однак існують, як окремі задачі, так і цілі класи надзвичайно важливих задач, для розв'язання яких математичних та техніко-економічних якостей сучасних УКС вже не вистачає. Тут не варто доводити дієвість принципу спеціалізації інструментальних засобів взагалі, оскільки вся свідома технічна діяльність людства її підтверджує. Досить сказати, що цей принцип є ефективним і в галузі інформатики. Загальний аналіз причин створення і використання СКС показує, що ці причини можна розділити на три основні групи.

У першу групу об'єднані причини, які виникли внаслідок суперечностей між формальними математичними методами постановки і розв'язання задач, з одного боку, і загальними принципами організації та функціонування, а також технічними можливостями УКС, з другого боку. Саме математична сутність задач часто зумовлює необхідність створення СКС для їх розв'язання. Як приклад, можна навести нові нестандартні і неалгоритмічні методи, системи алгебраїчних,

диференціальних та інтегральних рівнянь великої розмірності, логічні та ймовірнісно-статистичні задачі, дії над матрицями і векторами, задачі в багатовимірних просторах.

До другої групи належать причини, які зумовлюються змістовною стороною задачі, що розв'язується СКС, та відображають специфіку відповідних предметних галузей. Для прикладу перелік таких галузей наведено нижче.

Третя група причин зумовлена особливими вимогами до якості реалізації КС, які звичайно полягають в екстримізації (тобто в максимальному наближенні до теоретичних границь) деяких їх характеристик, наприклад продуктивності (швидкодії), надійності (безвідмовності, живучості, відновлюваності, довговічності тощо), вартості та складності, точності, габаритів, маси та ін. Сюди ж належать вимоги, що визначають такі якості КС, як їх повна або часткова імплантація (конструктивне та функціональне суміщення) в інші системи, інформаційне поєднання з ними, пристосованість до умов експлуатації та кваліфікації обслуговуючого персоналу і т.д.

Слід мати на увазі, що реальні ситуації створення СКС найповніше характеризуються двома особливостями.

Перша особливість полягає в тому, що саме СКС є своєрідним засобом апробації нових методів автоматизації обробки інформації, які мають математичні корені. Наприклад, розпаралелювання та децентралізація обчислень, макрооперації та використання функціональних розширювачів, символьна обробка та розв'язання задач у багатовимірних числових системах пройшли спочатку дуже ретельну перевірку в СКС і тільки після цього з'явились в УКС.

Друга особливість пов'язана з тим, що реальні СКС є складними програмно-технічними комплексами, в яких необхідно задовільнити багато суперечливих вимог. Тому досягнення оптимальних функціональних якостей СКС може бути проблематичним, а тому доцільніше визначити ці якості як оптимізовані, тобто такі, що тією чи іншою мірою наближаються до оптимальних. Аналіз математичних методів оптимізації СКС показує, що вони сприяють певною мірою виявленню недоліків таких систем і їхні «слабкі місця», простежувати взаємозв'язок характеристик системи, визначати загальний напрямок підвищення їх ефективності та оцінювати різні варіанти СКС. Однак ці методи, як правило, не дають конструктивних розв'язків і шляхів удосконалення СКС, не визначають змістовної сторони різних варіантів їх організації і реалізації. Генезис таких варіантів формальними математичними методами практично неможливий. Тому процес створення оптимізованих СКС має характер багатоступеневої ітераційної процедури, де в різних відношеннях комбінуються формальні та конкретно-змістовні методи, що відіграють аналітичну (оціночну) та синтетичну (генеративну) роль.

Отже, СКС – це КС для розв'язання багатьох відносно вузьких класів задач, оптимізовані в певній критеріальній сукупності.

Досі, протягом майже 50 років, принципово нові розробки КС базувались переважно на «проривних» успіхах мікроелектронної технології. Тут досить вказати на зв'язок поколінь КС та досягнутого мікроелектронікою рівня інтеграції. Однак виробництво електронних комплектуючих компонент для КС є дуже

дорогим через потребу в надзвичайно великих капітальних вкладеннях у мікроелектронне виробництво. Тому протягом тих же 50-ти років виявилось, що створення комп'ютерної електронно-технологічної бази під силу далеко не всім країнам, навіть високорозвинутим. На сьогоднішній день ситуація в світі складається так, що виробництво основних електронних компонент для КС зосереджено переважно на 10-15 електронних фірмах, зокрема на таких, як Intel, Texas Instruments, Motorola. Ці фірми щороку вкладають величезні кошти в розвиток технологічної бази і, тим самим, ще більше закріплюють свої позиції лідерів. Чи означає це, що всі розробки в галузі КС зосереджено на цих фірмах? Ні, це зовсім не так. І тому є кілька причин.

По-перше, сам етап розробки електронних компонент сьогодні виділився в окрему галузь діяльності, яка має кілька напрямків. Перший з них передбачає створення систем автоматизованого проектування (САПР) електронних компонент. Тут також сформувалась група провідних фірм, зокрема Mentor Graphics, Synopsys, LSI Logic, Cadence, Design Systems, які створюють програмні продукти для різних етапів проектування електронних компонент. Разом з тим, цей напрямок значною мірою є відкритим для діяльності, особливо для тієї, що стосується вищого, системного, етапу проектування. Роботи по розвитку САПР цього етапу є на сьогодні найприорітетнішими, інформаційно місткими та стратегічно важливими. Другий напрямок передбачає створення комп'ютерних засобів підтримки проектування електронних компонент. Тут лідерство фірм-виробників робочих станцій Sun та Hewlett Packard починає витіснятись виробниками робочих станцій на базі потужних персональних комп'ютерів з процесорами фірми Intel. Нарешті, останній, третій, напрямок передбачає безпосередньо розробку електронних компонент. Існує велика кількість фірм, розміщених у різних країнах, які в рамках угод займаються проектуванням електронних компонент для їх наступного виготовлення провідними мікроелектронними фірмами. Цей напрямок є найбільш відкритим для діяльності.

По-друге, самостійною галуззю діяльності є розробка і виготовлення УКС та СКС на базі електронних компонент провідних фірм-виробників. Тут поряд з кожною мікроелектронною фірмою сформувались групи системотехнічних компаній, які на базі продукції цієї фірми створюють відповідні УКС і СКС та програмні продукти. За кордоном ці фірми дістали назву «third party». Більше того, в усіх розвинутих країнах здійснюється розробка і виробництво власних СКС різного призначення на базі імпортованих комплектуючих та на базі продукції «third party». Наприклад, канадські, англійські, німецькі, французькі та інші фірми проводять такі розробки, використовуючи комплектуючі, що виробляються в знаменитій «кремнієвій долині» в США, а в самих США, крім власних, використовуються також комплектуючі з різних країн, зокрема, японські. Характерно, що розробку (доробку) СКС відповідно до потреб конкретного замовника здійснює значна кількість переважно невеликих фірм (15-50 працюючих). Так, щоб мати більший ринок збуту своєї продукції, провідні мікроелектронні фірми, крім випуску функціонально закінчених виробів, роблять вироби з врахуванням побажань споживачів. Наприклад, розробивши потужне процесорне ядро (англійський термін «core»), фірма шляхом доповнення його

необхідним обрамленням створює сімейство спеціалізованих комп'ютерів різноманітного призначення.

Україна в сучасних політичних і економічних умовах змушена розпочинати самостійну розробку та виробництво ряду СКС, оскільки існують предметні галузі та особливі вимоги до комп'ютерного обладнання і програмних засобів, що не дозволяють використовувати повністю або частково СКС закордонного виробництва. Серед предметних галузей є, наприклад, такі що безпосередньо пов'язані із забезпеченням суверенності і державності України: бортове та інше комп'ютеризоване обладнання військово-оборонного призначення: орієнтаційні та управлінські системи транспортного використання; засоби захисту інформації від несанкціонованого простору; обладнання комп'ютеризованих телекомунікаційних систем і мереж; засоби обробки сигналів і зображень відповідно до національних стандартів; банківська та податкова справа; енергетика (особливо ядерна) і засоби енергозбереження; геофізичні та гідрофізичні дослідження ресурсів України (політичні події змінили і відносну цінність таких ресурсів). Ряд інших галузей визначає рівень економічного розвитку держави: засоби сертифікації, промислової та сільськогосподарської продукції; засоби управління, обробки інформації та прийняття рішень в складних динамічних системах, що функціонують в реальному часі; розширене застосування нових інформаційних технологій (наприклад, штрихових кодів тощо); медична і промислова діагностична техніка; об'єктно-орієнтовані системи автоматизації проектування (наприклад, оптичних приладів і систем); аналіз і синтез мови; моделювання та реалізація функцій інших систем комп'ютерними засобами та ін.

По-третє, протягом останніх 10-15 років в розробках КС значно зросла частка структурних рішень, які можна реалізувати, використовуючи лише комплектуючі компоненти «напівфабрикатного типу», до яких, наприклад, належать програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС), базові матричні кристали (БМК) тощо. Передусім це продукція фірм Altera та Xilinx. Використання цих електронних компонент знімає з розробника всі обмеження архітектурного плану. У зв'язку з цим розвиток СКС вступив у нову фазу.

На сьогодні в теорії СКС сформувалися два основні підходи до організації їх структур. Перший грунтується на використанні стандартних універсальних процесорів, а врахування особливостей виконуваних задач реалізується, по суті, шляхом спеціалізації системного програмного забезпечення. Другий підхід базується на використанні процесорів, орієнтованих на виконувані алгоритми (функції) апаратним способом. Такі процесори називають функціонально – або апаратно-орієнтованими (в англомовній літературі – ASIC, ASIP).

Основна перевага процесорів універсальної архітектури – гнучкість. Запис програм виконання заданого набору алгоритмів у пам'ять програм дає можливість створити спеціалізований процесор із заданими функціями. Такі процесори підлягають перепрограмуванню заміною вмісту пам'яті програм. При створенні відповідних трансляторів програмне забезпечення СКС може бути написане мовами програмування високого рівня, що робить їх доступними для широкого кола користувачів. Крім того, дуже суттєвою перевагою цього підходу є можливість використання створених раніше програмних засобів. Разом з тим, існує

ряд причин, через які використання стандартних процесорів універсальної архітектури для побудови СКС може бути недоцільним.

По-перше, це висока трудомісткість розробки, оскільки до складу СКС, крім самого універсального процесора, необхідно включити також засоби для реалізації інтерфейсних функцій, синхронізації, розширення пам'яті програм і пам'яті даних тощо. Сам процес розробки вимагає створення необхідного програмного забезпечення, наявності або створення технологічних програмних засобів для відпрацювання програм, а також програмно-апаратних засобів для відлагодження апаратної та програмної частин спеціалізованих процесорів.

По-друге, універсальна архітектура може бути дуже надлишковою у функціональному і структурному відношеннях для розв'язання однієї конкретної задачі (наприклад, для перетворення координат у системах орієнтації). Це може привести до надлишкової споживаної потужності, збільшення ступеня інтеграції, кількості виводів корпусів та розмірів кристалів.

По-третє, універсальний процесор може не задовольнити вимог щодо продуктивності СКС. Забезпечити необхідну продуктивність можна шляхом побудови багатопроцесорних СКС. Однак їх використання може бути занадто дорогим. Тут мається на увазі вартість не стільки власне багатопроцесорної системи, скільки допоміжних засобів, що забезпечують використання такої системи. Особливо багато проблем пов'язано з розробкою паралельних обчислювальних процесів, при реалізації яких всі процесори були б повністю завантажені. В такому разі системне програмне забезпечення має бути здатним оперативно розв'язувати задачу оптимізаційного планування завантаження процесорів багатопроцесорної системи конкретної архітектури. Такий підхід може вимагати великих витрат обладнання, що є небажаним (особливо при використанні СКС у бортових системах).

Зараз, коли досягнення мікроелектронної технології підтримується потужними САПР, другий підхід, що передбачає створення апаратно-орієнтованих на виконувані алгоритми процесорів, є реальною альтернативою універсальним стандартним процесорам.

По-перше, такий підхід забезпечує максимально можливу продуктивність при розв'язанні заданої задачі.

По-друге, він вимагає мінімальних витрат обладнання на побудову СКС для розв'язання заданої задачі за рахунок компромісу між програмними та апаратними засобами. Таке спільне проектування апаратної і програмної частин СКС дістало назву hardware/software co-design.

По-третє, сучасні мови опису апаратних засобів, зокрема VHDL, мають настільки високий рівень, що процес проектування апаратно-орієнтованого процесора не є набагато складнішим у порівнянні з розробкою спеціального програмного забезпечення для універсального процесора. Якщо врахувати ще й можливості сучасних САПР щодо забезпечення повного відпрацювання моделей електронних компонент, включаючи їх роботу в складі СКС, а також використання бібліотек раніше створених електронних компонент, то стає очевидним, що настав час, коли другий підхід починає витісняти перший.

З викладеного випливає, що розвиток СКС в Україні зумовлений, з одного боку, потребами в СКС, а з іншого – можливостями їх власної розробки і виробництва. Світовий досвід створення СКС підтверджує життєздатність цього напрямку комп'ютерної науки і техніки в сучасних умовах, незважаючи на імпортне походження значної частини мікроелектронних комплектуючих виробів. Забезпечення необхідного кваліфікаційного рівня кадрового супроводу такого розвитку має бути однією з найважливіших задач національної вищої технічної школи.»

На факультетах комп'ютерних інформаційних технологій Національних університетів «Київський політехнічний інститут», «Львівська політехніка», Харківського національного університету радіоелектроніки, Тернопільського національного економічного університету почали викладати нову дисципліну «Проектування СКС», яка охоплює, крім традиційних інформаційних технологій, проектування універсальних КС, методологію проектування СКС на основі принципів проблемної орієнтації проектних рішень та особливих вимог опрацювання інформаційних потоків конкретних об'єктів управління. Випускники вузів відповідних спеціальностей, опанувавши цей предмет, будуть володіти поглибленими знаннями про системні об'єкти СКС, системні характеристики та моделі об'єктів управління, як джерел інформації СКС.

Якісне викладання основ проектування СКС у вузах нашої держави не в останню чергу методологічно обмежувалось через недостатність навчальної літератури. Скромний внесок у подолання цього стану зробили автори даного посібника, опублікувавши у 2008 році книгу «Теорія моделей руху даних розподілених комп'ютерних систем», а також у 2010 році – книгу професора Я.М.Николайчука «Теорія джерел інформації». Автори доклали зусиль, щоб пропонована праця, по-перше, стала цілісним навчальним посібником, який можна самостійно використовувати під час навчального процесу, по-друге, не повторювала звичних інформаційних теоретичних положень суміжних дисциплін напрямку «Комп'ютерна інженерія».

Викладання основ проектування СКС на факультетах комп'ютерних інформаційних технологій є настійною вимогою сьогодення. Насичення функціональних можливостей традиційних інформаційних технологій опрацювання інформаційних потоків у базисі Радемахера (двійковій системі числення) та синтезу архітектур КС на основі мереж Петрі потребує навчання і підготовки нового покоління фахівців по проектуванню СКС, які б володіли теоретичною базою, технологією і практикою застосування нелінійних інформаційних технологій опрацювання повідомлень у базисах Хаара, Крестенсона, Уолша та Галуа. Перспективними знаннями у цій галузі є уміння формалізувати інформаційні потоки в СКС на основі «кольорових» мереж Петрі та матричних моделей руху даних. Теоретичною основою таких моделей є теорія та інформаційна технологія організації та оцінки руху даних в складних розподілених КС, розроблена відомим американським системотехніком Дж.Мартіном.

Структура навчального посібника підпорядкована внутрішній логіці курсу «Проектування СКС». Перший розділ присвячений висвітленню загальних положень, термінів та процесів проектування СКС. У другому розділі викладена

теорія та методологія проектування КС на основі мереж Петрі. Узагальнені функціональні можливості різних класів мереж Петрі та відповідних матриць інциденцій. У третьому розділі систематизовані архітектури СКС, проведений аналіз їх емерджентності, переваг та недоліків застосувань для різних класів об'єктів управління. Розділ четвертий присвячений класифікації стратегій, визначенню критерію ефективності та законів доцільності проектних рішень СКС. У п'ятому розділі визначені функції, системні та функціональні об'єкти глобальної моделі СКС. Представлена таблиця інтерфейсних зв'язків між системними об'єктами СКС та властивості їх дуальності. У шостому розділі викладений аналіз системних властивостей об'єктів управління СКС. В сьомому розділі систематизовані та подані аналітичні вирази моделей об'єктів управління СКС, які включають продукційні, статистичні, кореляційні, спектральні, кластерні, логіко-статистичні інформаційні (ЛСІМ) та ентропійні моделі. У восьмому розділі викладені інформаційні технології формування цифрових та алфавітно-цифрових даних в СКС, які включають одноканальні та багатоканальні аналого-цифрові перетворювачі, аналого-цифрові кодери та автономні сенсори, а також спеціалізовані апаратно-програмні засоби вводу алфавітно-цифрових даних. В розділі 9 викладені методологічні основи побудови матричних моделей руху даних розподілених СКС. В розділі 10 викладена формалізація моделей архітектур СКС на основі різних класів матричних моделей руху даних. У 11-му розділі викладена методологія проектування СКС на основі сукупності похідних моделей руху даних: граф-розгалужене дерево, параметрична часова, структурно-часова, мережевий графік, суміщений часовий граф, блок-схема алгоритму руху даних, граф-алгоритмічна. Викладені функціональні задачі, які вирішуються кожною моделлю названого сімейства. В розділі 12 формалізована методологія та проілюстрована інформаційна технологія побудови моделей оцінки собівартості руху даних в СКС типу: цикл руху даних, сигнальна, диференціальна, інтегральна та глобальна епюри руху даних. В розділі 13 викладені атрибути та технологія побудови моделей багаторівневих розподілених СКС. В розділі 14 викладені задачі оптимізації характеристик апаратно-програмних засобів низових рівнів СКС та методи організації руху структуризованих даних.

Автори складають подяку офіційним рецензентам, усім, хто брав участь у обговоренні навчального посібника на різних етапах його підготовки та висловлюють впевненість, що запропонований матеріал стане основою інформаційних знань у галузі проектування СКС студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за освітнім напрямом «Комп'ютерна інженерія».

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ, ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ТА ПРОЦЕСІВ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

1.1. Теорія та методологія побудови систем

Поняття системи визначається, перш за все, виходячи з поняття "об'єкту пізнання". В.Д. Могилевський у книзі "Методологія систем" (1999р.) трактує ці поняття у взаємозв'язку наступним чином:

"Об'єкт пізнання потрібно розглядати як систему, яка функціонує у середовищі взаємозв'язків своїх компонентів і взаємодіє з іншими системами". Цей підхід знайшов своє вираження у теорії систем та її прикладному аспекті – системному аналізі.

Теорія систем народилася як деякі узагальнення кібернетики шляхом поширення її ідей на складні організації компонентів систем. В той же час теорія систем не дає конкретних результатів для практичного застосування, в той час, як системний аналіз знайшов широке застосування в технічних задачах.

Такі атрибути, як складність, поліфункціональність, зв'язок з зовнішнім середовищем, прийняття рішень, самоорганізація і вдосконалення та управління складають зміст базисних понять теорії систем.

Класифікація систем визначається існуванням природних та штучних (технологічних та духовних) систем (рис.1.1).

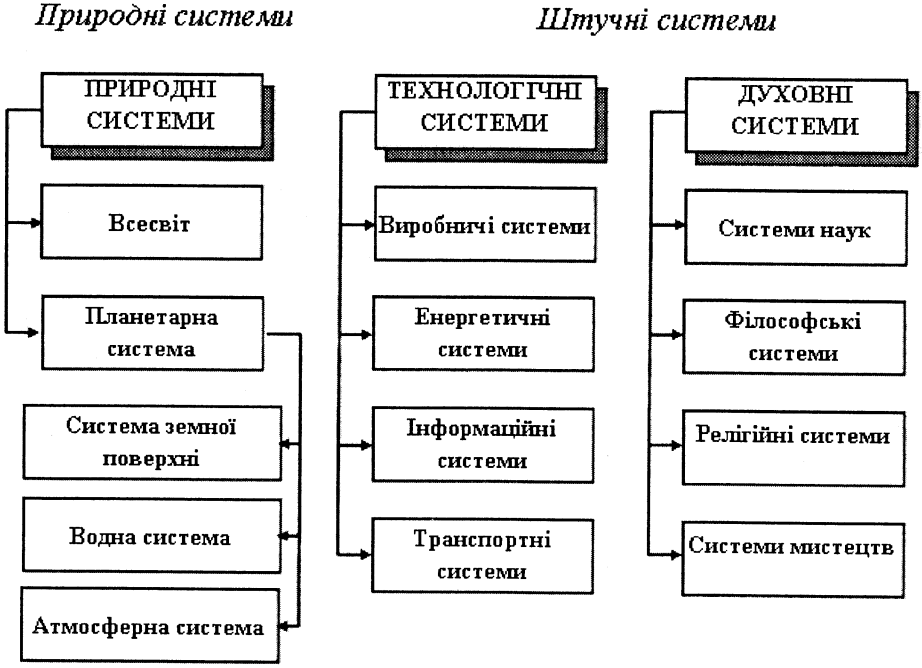


Рис.1.1. Загальна класифікація систем

В основі системи повинен бути деякий матеріальний продукт, який в сучасному розумінні включає в себе простір, матерію, енергію та інформацію. Для успішного функціонування таких надсистем виникає множина обслуговуючих їх вторинних та допоміжних класів систем. Таким чином, створюється ієрархія систем. Структура системи при цьому визначається сформульованою ціллю її функціонування. Надлишковість системи визначається умовою її надійності, тобто підсистеми, які не відповідають функціям системи, відмирають та ліквідуються. Елементи системи повинні бути інформаційно, матеріально та енергетично пов'язані між собою для досягнення глобальної цілі системи. Системі притаманна властивість розвиватися, адаптуватися до нових умов шляхом створення нових зв'язків та компонентів.

Таким чином: система є особлива організація спеціалізованих елементів, об'єднаних в єдине ціле для рішення конкретної задачі.

Місце існування природних систем – біосфера, штучних систем – ноосфера, яка охоплена розумною людською діяльністю.

Важливим класом штучних систем є інформаційні системи, які складають основу предмету вивчення даного посібника, який охоплює задачі проектування їх вузького класу, а саме інформаційних спеціалізованих комп'ютерних систем.

Методологія вивчення систем.

Важливим кроком у побудові теорії систем є розробка аксіоматики, яка характеризує область і умови застосування теорії, а також вибір математичного апарату досліджень в галузі проектування та аналізу систем. По-перше, слід визначити термін – абстрактна теорія систем, яка відокремлює теорію від прикладних задач і формалізує математичний апарат, який відповідає методології побудови систем.

Абстрактна теорія систем нараховує 8 рівнів:

- символічний або лінгвістичний;
- теоретико-множинний;
- абстрактно-логічний;
- топологічний;
- логіко-математичний;
- теоретико-інформаційний;
- динамічний;
- евристичний.

Принциповими особливостями системи є: динамізм – змінність її станів у часі; інформаційність взаємодії її компонентів.

Вказані рівні та особливості систем складають фундаментальні основи теорії штучного інтелекту.

Можливість реалізації певних властивостей в системі базується на функціонуванні спеціалізованих елементів її архітектури. При цьому необхідна інформаційна взаємодія між елементами, які реалізуються за допомогою каналів зв'язків та сигналів, що визначає інформаційну властивість системи. Аналіз інформаційних властивостей системи тісно пов'язаний з її складністю.

Найважливішою функцією системи є її стійкість. Порушення стійкості роботи системи пов'язане з поняттям рівноваги, яка визначається впливом її параметрів (рис.1.2).

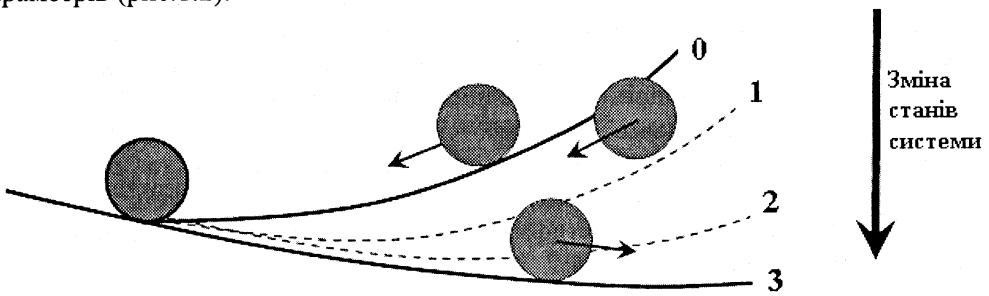


Рис.1.2. Вплив зміни параметрів на стійкість.

Втрата стійкості системи може відбуватися через зміну параметрів системи (біфоркація), через наявність непередбачених при створенні системи зовнішніх впливів, а також при порушенні інформаційних зв'язків в системі, коли змінюється її структура. В останньому випадку мова йде про структурну нестійкість.

Найбільш загальним представленням структури системи є оргграф взаємозв'язків між її компонентами, прикладом якої є схема формування математичної моделі системи (рис.1.3).

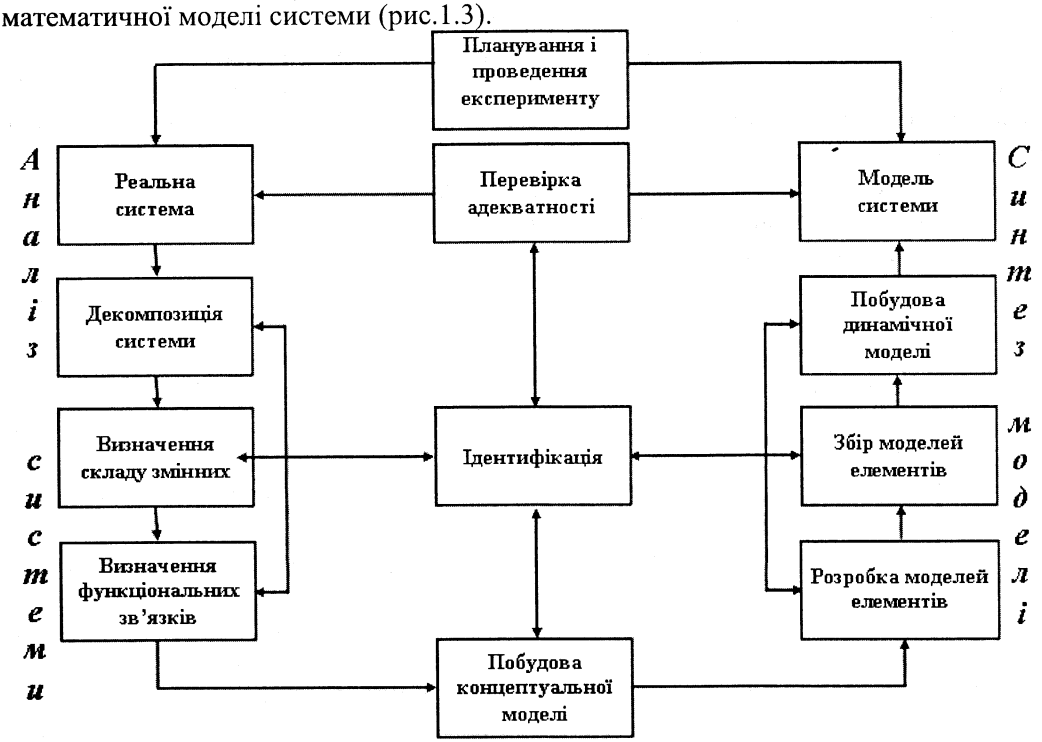


Рис.1.3. Схема формування математичної моделі системи.

Важливим атрибутом системи є її модель, яка має наступне визначення. Моделлю називається спеціально синтезований для досліджень об'єкт, який характеризується необхідним ступенем подібності до досліджуваного об'єкта та адекватний цілям дослідження та характеристикам. При цьому при побудові моделі системи спочатку створюється мікромодель її окремих елементів, на основі яких будується макромодель або глобальна модель системи. В математиці моделлю називають деяку множину з заданим на ній набором відношень. В якості елементів множення виступають елементи системи, а відношеннями є зв'язки між ними.

Важливим класом моделей є концептуальні моделі. Вони описують перетворення інформації в системі і процеси її циркуляції по каналах зв'язку, тобто класифікуються як моделі руху даних у системі. В теорії систем під рухом розуміють зміну станів, обумовлену зовнішніми та внутрішніми причинами. Концептуальні моделі є інструментом кількісного пізнання функцій системи, як множини з заданими на ній відношеннями.

Важливою характеристикою відображення моделі системи є її структура, під якою розуміють сукупність її функціональних елементів, об'єднаних зв'язками. При цьому в якості зв'язків можуть виступати матеріальні, енергетичні та інформаційні потоки.

Елементи є складовими частинами будь-якої S_0. Кожен з елементів також може бути S_j, тобто

$$S_0 = F(S_1, S_2, ...S_j, ...S_k),$$

де k – число підсистем.

Елементи, які вступають та виходять із системи, відповідно називаються вхідними та вихідними.

Процес перетворення.

В системах відбуваються процеси перетворення, у результаті яких змінюються стани системи, а вхідні елементи трансформуються у вихідні. В організованій системі цінність і корисність вхідних елементів збільшується, у протилежному випадку система деградує.

Вхідні елементи і ресурси.

Вхідні елементи інформаційної системи – це сигнали та вхідні інформаційні потоки. Ресурсами при цьому виступають математичні засади алгоритми та програми формування, формалізації, перетворення, передавання, зберігання, архівації та використання даних.

Вихідні елементи.

Вихідні елементи являють собою результати процесів перетворення в системі і розглядаються, як певна доцільність або прибуток від функціонування системи.

Ознаки системи та її компонентів.

Системи, підсистеми та елементи можуть мати "кількісні" та "якісні" ознаки, які тісно пов'язані з теорією вимірювань.

Навколишнє середовище системи.

Навколишнє середовище, з яким взаємодіє система, визначається певними границями по відношенню до ресурсів та споживачів системи.

На рис.1.4 показана схема взаємодії системи з навколишнім середовищем.

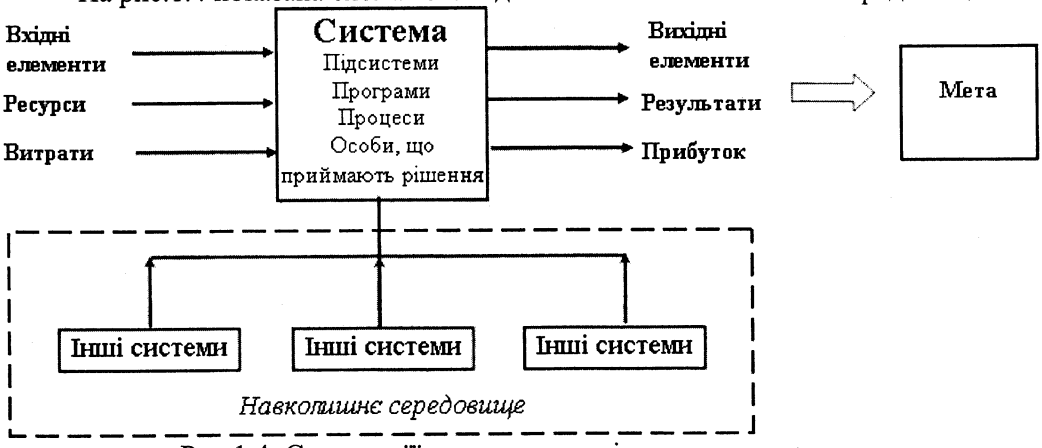


Рис.1.4. Система, її входи–виходи і навколишнє середовище.

Задачі і цілі.

При проектуванні систем першочергове значення має визначення завдань та цілей. Міра ефективності системи показує, наскільки досягаються цілі системи у процесі її функціонування.

Компоненти, завдання, програми.

У цілеспрямованих системах процес перетворення організується на основі використання функцій компонентів, завдань та програм.

Прийняття рішень.

Дії і рішення, які мають місце в системі, є прерогативою керуючих підсистем або елементів, які організовують систему на досягнення поставлених цілей, а також контролюють та діагностують регламентні стани системи.

Структура системи.

Поняття структури пов'язано з упорядкуванням відношень, які зв'язують елементи системи. Структура може бути простою або складною, однорівневою та ієрархічно-багаторівневою. Оцінкою функціональних ресурсів структури системи є емерджентність, яка виражається відношенням числа зв'язків N_3 до числа елементів N_0 системи.

$$k_e = \frac{N_3}{N_0} \geq 2 .$$

Стани та потоки.

Існує різниця між станами і потоками в системах. Стан системи характеризується значеннями ознак системи у певний момент часу.

Переходи елементів системи з одного стану у інший викликають потоки, які визначають швидкість зміни ознак системи та її станів.

Поведінка системи.

Поведінкою системи вважається зміна станів системи у часі.

При проектуванні систем особливої уваги заслуговують чотири важливі проблеми:

- визначення границь системи та границь навколишнього середовища, з якими взаємодіє система;
- встановлення чітких цілей системи;
- визначення структури програми та алгоритмів функціонування системи;
- опис управління системами.

Границі навколишнього середовища системи поширюються і охоплюють тільки ті компоненти, які контролюються і керуються системою. Проблема встановлення границь системи нерозривно пов'язана з визначенням цілей системи та вибором критеріїв ефективності. При цьому можлива множина суперечливих цілей і різних критеріїв оцінки ефективності системи.

Структура програми – це подання відношень всіх елементів у відповідності до функцій системи. Можливо визначити структуру програми як блок-схему залежностей між різними елементами або як можливі шляхи досягнення цілей системи.

Термін управління є загальним поняттям, яке включає всі дії компонентів системи, приймаючих рішення.

Рівні системи.

Розрізняють наступні рівні систем:

- система високого рівня;
- система;
- підсистема.

Система високого рівня є керуючою по відношенню до системи, а підсистема може бути залежною, але автономною системою, яка має свою ціль.

Зворотні зв'язки.

У системах обов'язково повинні існувати додатні або від'ємні зворотні зв'язки, які забезпечують необхідну стійкість системи.

Організація системи.

Організація є функціональною характеристикою системи, яка не тотожна складності її структури.

Математичні аспекти теорії систем.

Дві системи можуть бути названі подібними на основі оцінки ступеня близькості їх математичних моделей. Системи вважаються тотожними, якщо їх математичні структури моделей ізоморфні.

Рівні вивчення систем згідно концепції Боулдинга.

1. Емпіричний, коли знання про систему отримують тільки у результаті безпосереднього спостереження.

2. Формальний, на якому реалізуються проекти систем та інструкції їх функціонування.

3. Аванпроектний, коли знань достатньо для попередньої розробки проекту системи.

4. Теоретичний, на основі якого визначаються суттєві властивості системи.

5. Системно-теоретичний, коли визначені узагальнені характеристики систем.

Складність систем.

Складність є продуктом об'єму та руху інформаційних потоків у системі.

Самоорганізація системи.

Система, яка формує під дією зовнішніх впливів у результаті свого розвитку нову систему, яка відрізняється від початкової.

1.2. Комп'ютерні системи.

Комп'ютерні системи можуть належати до двох класів: у залежності від способу опрацювання даних та інформаційних потоків:

- вбудовані КС;
- концентровані КС;
- розподілені КС пакетного опрацювання даних;
- розподілені КС реального часу.

Вбудовані КС, як правило, реалізуються на базі однієї обчислювальної платформи, мікропроцесора або мікроконтролера. При цьому всі обчислювальні процеси відбуваються в межах кристалу процесора та кристалів периферійного обладнання, яке за допомогою фізичних електронних чи оптоелектронних звуків взаємодіє з базовим процесором.

КС найчастіше використовуються в СКС мобільних та автономних об'єктів управління. Приклад архітектури вбудованої КС показано на рис.1.5.

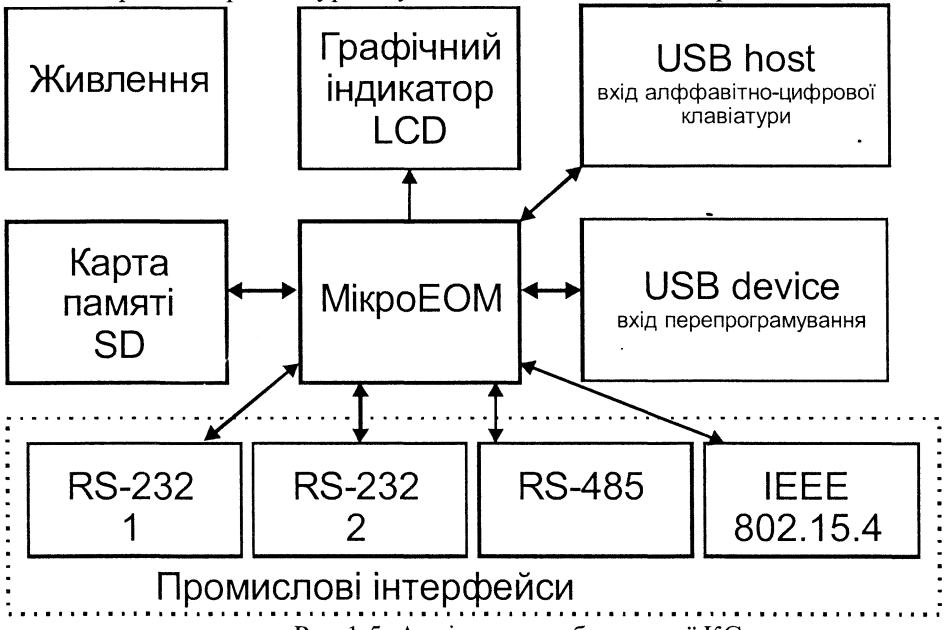


Рис.1.5. Архітектура вбудованої КС.

Концентровані КС реалізуються на основі потужного процесора і багатьох терміналів, які на невеликій віддалі, наприклад, в межах однієї технологічної установки, машини, літака, судна або приміщення та офісу, взаємодіють через фізичні електромагнітні чи оптичні лінії зв'язку з центральним процесором. Архітектура КС концентрованого опрацювання даних показана на рис.1.6.

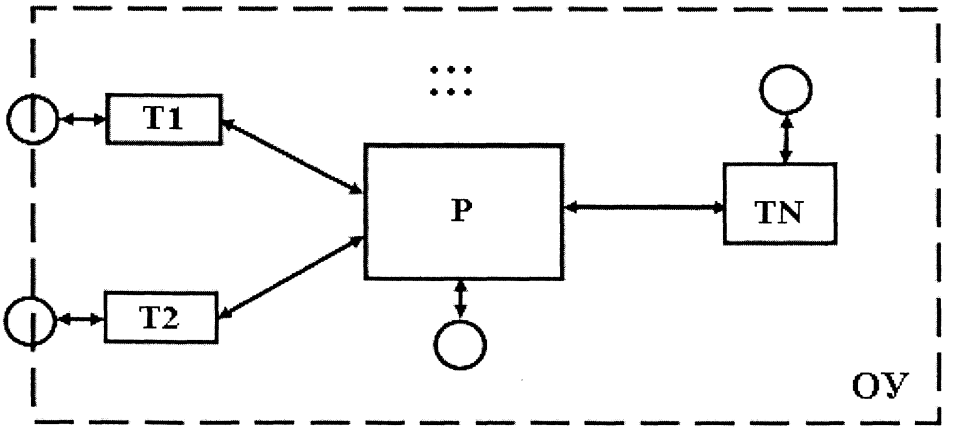


Рис.1.6. Архітектура концентрованої КС.

Особливістю таких КС є використання засобів високошвидкісного паралельного та послідовного інтерфейсів, а також автономних сенсорів.

Розподілені КС (РКС) реалізуються на основі обчислювальних мереж та віддалених процесорів-сателітів, які обслуговуються та інформаційно взаємодіють з одним або багатьма системними серверами (СС). РКС можуть мати різні архітектури, які відображаються узагальнено моделлю на рис.1.7.

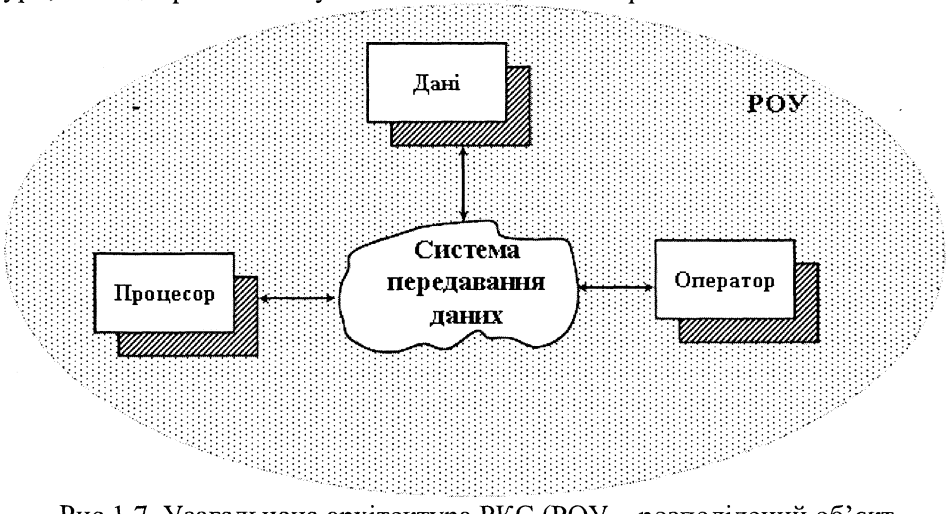


Рис.1.7. Узагальнена архітектура РКС (РОУ – розподілений об'єкт управління; – ознака багаточисельності).

Розподілені КС реального часу можуть належати двом класам:

- універсальні РКС;
- спеціалізовані РКС або спеціалізовані КС (СКС).

Універсальні РКС також можуть бути реалізовані на основі різних архітектур та топологій. Глобальна модель таких систем показана на рис.1.8.

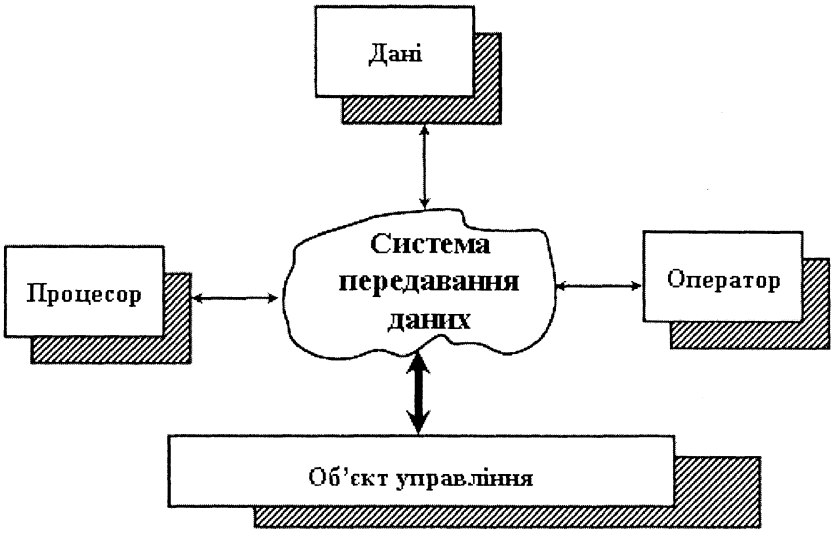


Рис.1.8. Глобальна модель РКС.

З рис.1.8 видно, що в інформаційну структуру РКС та СКС, крім процесорів, даних, системи передавання даних та операторів, обов'язково входить віддалений розподілений об'єкт управління.

Відмінність СКС від універсальної РКС полягає в тому, що в СКС особливі гіперхарактеристики. Наприклад, в залежності від умов експлуатації та необхідних характеристик обладнання СКС (високі або низькі температури, вібрації, вибухонебезпечність, мінімальні габарити, особливо - висока надійність, максимальна швидкодія, об'єм пам'яті та інш.), а також унікальних особливостей об'єкта управління, СКС максимально адаптується програмно-апаратними засобами до характеристик, необхідних алгоритмів та процесів опрацювання інформаційних потоків у реальному часі. При цьому особлива увага надається реалізації значного числа інформаційних моделей ДІ та ОУ, які оперативно використовуються для контролю відхилень станів ОУ від норми, виявлення передаварійних та попередження аварійних станів ОУ, а також обслуговуванню інформаційних потоків у квазістаціонарних станах ОУ.

1.3. Спеціалізовані комп'ютерні системи.

Спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС) відрізняються від універсальних та інших класів комп'ютерних систем умовами максимізації або мінімізації системних характеристик їх компонентів:

Виходячи з ресурсних характеристик системних об'єктів глобальної моделі СКС (рис.1 8), які описуються узагальненим функціоналом

$$Eco = F(T, V, M, S),$$

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

До характеристик кортежу функціоналу, на відміну від універсальних комп'ютерних систем, висуваються особливі мінімаксні вимоги наступного виду:

$$T = \min\vee \max;$$

$$V = \min\vee \max;$$

$$M = \min\vee \max;$$

$$S = \min\vee \max.$$

Вказані вимоги визначають базові параметри компонентів СКС в залежності від класу, характеристик стаціонарності, екологічної безпеки, вибухонебезпечності, особливих умов експлуатації (великі глибини в морі, підземні об'єкти, космічні, стратегічні та ін. об'єкти).

Найчастіше одночасне досягнення суперечливих умов до системних характеристик компонентів СКС є в принципі неможливим або недоцільним. Тому задачі проектування та створення ефективних в архітектурному, функціональному та інформаційному аспектах є багатоваріантними з нечітко вираженими оптимумами, що потребує диференціації проектних рішень, стратегій проектування та побудови значного числа інформаційних моделей об'єктів управління, що обслуговують СКС.

Контрольні запитання і завдання.

1. Розкрийте структуру загальної класифікації систем.
2. Назвіть рівні абстрактної теорії систем.
3. Охарактеризуйте найважливішу функцію систем – стійкість.
4. Представте структуру формування математичної моделі системи.
5. Опишіть вхідні та вихідні характеристики взаємозв'язку системи з навколишнім середовищем.
6. Розкрийте поняття емерджентності системи.
7. Назвіть рівні вивчення систем згідно концепції Боулдинга.
8. Охарактеризуйте класи комп'ютерних систем.
9. Представте архітектуру концентрованої КС.
10. Охарактеризуйте архітектуру розподіленої КС.
11. Охарактеризуйте системні об'єкти глобальної моделі СКС.
12. Поясніть відмінності та критерії побудови СКС.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СКС

2.1. Теорія мереж Петрі.

Мережа Петрі — математична абстракція для представлення дискретних розподілених систем. З допомогою мереж Петрі, які стали найбільш зручною математичною конструкцією для представлення моделей динамічних систем багатьох типів, досить легко будувати моделі будь-яких систем. Графічно представляється у вигляді дводольного орієнтованого мультиграфу з маркерами, який має дві групи вершин: позиції та переходи. Позиції можуть бути пустими або маркованими та визначають стан мережі. Переходи визначають дії. Орієнтовані ребра графу задають зв'язки між позиціями та переходами. Процес функціонування мережі Петрі полягає в послідовному «виконанні» переходів, та відповідному перерахункові кількості «фішок» у позиціях. Дуги можуть бути кратними, коли два вузли з'єднані більше ніж однією дугою однакового напрямку.

Прості мережі Петрі містять лише три основних елементи: вузли, переходи та маркери. Тому побудова з їх допомогою моделей складних динамічних систем, в яких протікає велика кількість взаємодіючих паралельних і асинхронних процесів та існує багато інформаційних і матеріальних потоків, стає досить складною та громіздкою процедурою. Це помітно звужує клас моделей систем, які можна побудувати на основі простих мереж Петрі. У таких випадках застосовують розширення простих мереж Петрі, які дають можливість значно спростити побудову складних моделей і їх графічне зображення.

Об'єктом проектування СКС є мережні системи, які обов'язково включають в свою структуру об'єкти управління. Для формалізації структури таких систем застосовується теорія графів і мереж. Визначення графу, що є сукупністю вершин, сполучених ребрами, настільки загальне, що цим терміном можна описувати безліч подій та об'єктів повсякденного життя. Високий рівень абстракції дозволяє використовувати типові алгоритми теорії графів для вирішення зовнішньо несхожих задач, зокрема у комп'ютерних мережах.

2.1.1. Графи та мережі.

Графом називається сукупність двох множин: множини точок, що називаються вершинами або вузлами графа, і множини упорядкованих пар цих вершин, які називаються дугами або ребрами. Коли порядок вершин не має значення, зв'язок між вершинами називається ребром. Якщо порядок вершин строго визначений, зв'язок називається дугою.

Приклад графа наведено на рис.2.1. Вершини графа позначено латинськими буквами a, b, c, d, e, дуги – грецькими буквами – $\alpha, \beta, \delta, \varphi, \varepsilon, \gamma, \xi$.

Це далеко не єдиний спосіб позначення вершин. Вершини можуть також позначатися цифрами. Іноді можливе описове позначення вершин. В останньому випадку в кружечки, що позначають вершини, вписують будь-які символи, зрозумілі для того, хто вирішує конкретну проблему мовою теорії графів.

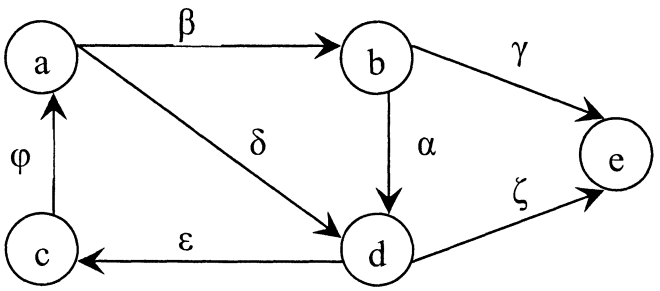


Рис. 2.1. Приклад графа

Граф, у якому зв'язки між вершинами задаються ребрами, називається неорієнтованим.

Граф, у якому зв'язки між вершинами задаються дугами, називається орієнтованим.

На рис. 2.1 зображено орієнтований граф. Для того, щоб він став неорієнтованим, треба на дугах забрати стрілки.

Ребра і дуги зручно позначати переліченням пар вершин, які вони з'єднують. На першому місці ставиться початкова вершина. На другому – кінцева. У цьому випадку дуга φ позначається як (c,a), дуга β як (a,b) і т.д. Для ребер порядок вершин не має значення.

Довільний граф позначається буквою G, X – множина вершин, E – множина ребер, A – множина дуг.

Тоді конкретний граф, залежно від його орієнтації, прийнято записувати у вигляді:

$$G=(X,A) \text{ або } G=G(X,A),\ G=(X,E) \text{ або } G=G(X,E).$$

Початкова і кінцева вершини дуги чи ребра називаються кінцевими. На рис. 2.1, наприклад, для дуги β кінцевими є вершини a і b.

Вершина називається інцидентною дузі чи ребру, якщо вона є для нього початком або кінцем. На тому ж рисунку, наприклад, вершина а інцидентна дугам φ, β і δ.

Дуги інцидентні одна одній, якщо вони інцидентні одній і тій самій вершині (тобто мають у своєму складі ту саму вершину). Наприклад, φ, β, δ інцидентні вершині a.

Дуга початкова і кінцева, вершини якої збігаються, називається петлею. Вигляд її подано на рис.2.2.

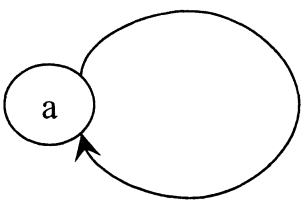


Рис. 2.2. Петля.

У реальних задачах петля означає „зациклення" або „тупцювання" на одному місці: наприклад, ресурс чи інформація не виходить із джерела і залишається в ньому. Це досить поширене явище на практиці.

Дві вершини називаються сусідніми, якщо є ребро чи дуга, що їх з'єднують.

Довільна послідовність дуг або ребер називається ланцюгом. Для ланцюга важливо, щоб кожне наступне ребро або дуга були початком чи кінцем попереднього ребра або дуги. Однак, спрямованість дуг у ланцюзі не має значення, тобто в ланцюзі допускаються повернення. Наприклад, на рис. 3.3 вершини a і e з'єднані ланцюгами: α, β, γ і ε або α, β і δ. І це не всі ланцюги між a і e на цьому рисунку.

Ланцюг, у якого початкова і кінцева вершини збігаються, називаються циклом. На рис.2.3. прикладом циклу є дуги γ, ψ і δ.

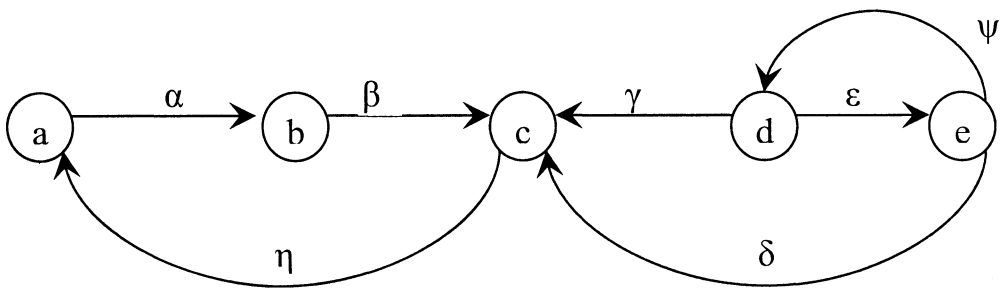


Рис. 2.3. Приклад графа.

Ланцюг, у якого повернення між сусідніми вершинами не допускаються (тобто такий ланцюг, що складається з дуг одного напрямку), називається шляхом. Шляху між вершинами a й e на рис. 2.3 немає.

Шлях, у якого початкова і кінцева вершини збігаються, називається контуром. На рис.2.3 шлях утворюють дуги α і β. Дуги α, β і η утворюють контур.

Для неорієнтованого графа поняття ланцюга і шляху, а також циклу і контуру збігаються.

Граф називається зв'язним, якщо в ньому для кожної пари вершин знайдеться ланцюг, що їх з'єднує. Будь-який граф можна розглядати як деяку сукупність зв'язних графів. Кожен з таких графів називається підграфом або компонентом вихідного графа.

Усі дотепер розглянуті графи були однозв'язними. На рис.2.3 подано двозв'язний граф, що складається з двох компонентів. Перший з них визначається дугами α і β, другий – дугами , δ, ε і ξ.

2.1.2. Дерева графів.

Сукупність дуг графа називається деревом, якщо вона є зв'язним підграфом цього графа і не містить циклів. На рис. 2.4 вказано граф, що складається з двох підграфів. Обидва підграфи є деревом.

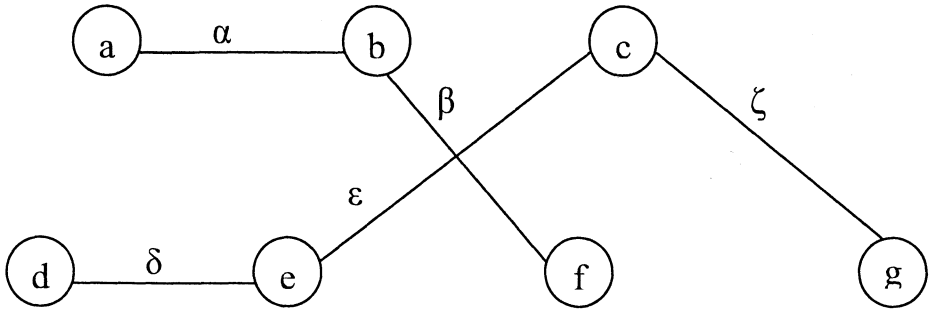


Рис. 2.4. Приклад багатозв'язного графа

Щоб компоненти розглянутого графа подати наочно, можна зобразити їх окремо, як на рис. 2.5. Збереження масштабу тут принципового значення не має.

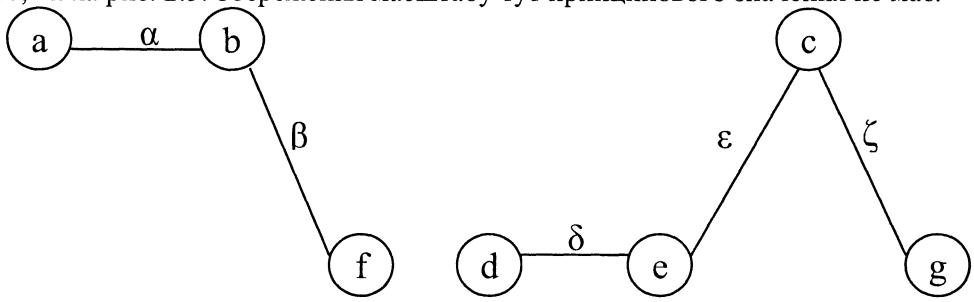


Рис. 2.5. Багатозв'язний граф для графа на рис. 2.4, зображений у вигляді окремих дерев.

Вагою дерева називається сума ваг усіх його ребер. Дерево називається мінімальним (максимальним), якщо воно має мінімальну (максимальну) з можливих ваг.

Лісом називається будь-яка сукупність дуг, що не містить циклів. Ліс може складатися з одного і більше дерев. На рис.2.5 зображено ліс, що складається з двох дерев: дерева α, β і дерева δ, ε, ξ.

Вага лісу вводиться за аналогією з вагою дерева.

Покривним деревом називається будь-яке дерево, що містить усі вершини графа. Зрозуміло, що для будь-якого зв'язного неорієнтованого графа покривне дерево завжди існує. Для зв'язного орієнтованого – далеко не завжди.

Приклад цього положення ілюструє рис.2.6. Для орієнтованого графа на цьому рисунку не існує покривного дерева, хоча за відсутності стрілок на дугах воно склалося б з ребер (1, 2), (2, 3) і (3, 4).

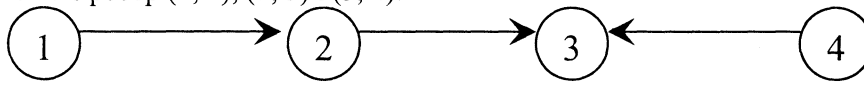


Рис. 2.6. Приклад графа, для якого не існує покривного дерева.

Тому для орієнтованих графів на перше місце виступає поняття лісу, а не дерева. Для того, щоб чітко визначитися в термінах, введемо їх окремо для орієнтованих графів.

Орієнтоване дерево – дерево, у якому жодні 2 дуги не заходять у ту саму вершину.

Коренем дерева називається єдина його вершина, в яку не заходить жодна дуга. Поняття кореня для неорієнтованих дерев немає. Коренем для орієнтованих дерев може бути будь-яка вершина.

Орієнтований ліс – це ліс, що складається з орієнтованих дерев.

Покривним орієнтованим деревом називається орієнтоване дерево, що є одночасно і покривним деревом.

Покривним орієнтованим лісом називається орієнтований ліс, що містить всі вершини графа.

На рис.2.6, як вже зазначалося, показаний граф, що не має покривного дерева. Покривний же ліс для нього складається з двох дерев: дерева (1, 2), (2, 3) і дерева (4, 3). Останнє дерево містить тільки одну дугу, але це не заважає йому бути, відповідно до вищенаведеного визначення, деревом.

Граф, що має покривне дерево, є однозв'язним. Вірне й протилежне: для того, щоб граф був однозв'язним, він повинен мати покривне дерево.

У загальному випадку граф може мати кілька покривних дерев. Особливо показове це явище для неорієнтованих графів. Хоча можливе і для орієнтованих. Для того, щоб це побачити, розглянемо граф на рис.2.7.

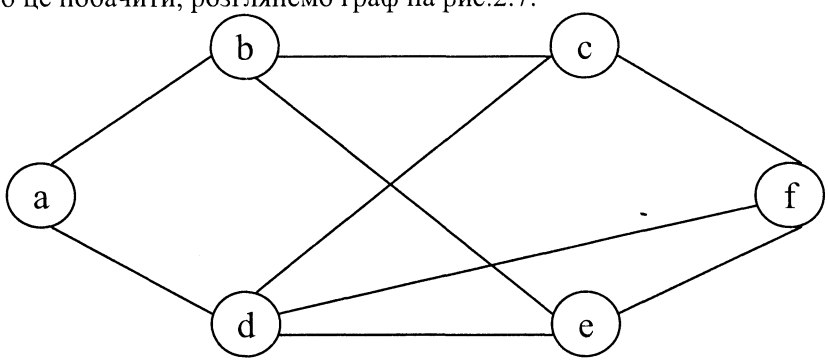


Рис. 2.7. Приклад графа, для якого існує кілька покривних дерев.

Для графа на рис.2.7 покривними будуть і дерево (a, b), (b, c), (c, f), (f, e), (e, d), і дерево (a, b), (b, c), (c, d), (d, f), (f, e).

За бажання, тут можна знайти й інші покривні дерева. Пропонуємо перевірити це.

Множина дуг, виключення яких із графа збільшує число його компонентів називається розрізом. Розріз, що не містить, як власну підмножину, ніякого іншого розрізу, називається простим. Таким чином, простий розріз це той, котрий містить найменшу кількість дуг. Наприклад, для графа на рис.2.3 дуги γ, ε, ψ і δ утворять розріз. До складу його входить інший розріз - γ, ε і δ, що є простим.

Кожне дерево можна представити (розгорнути) таким чином, щоб воно мало вигляд відомого в історичному плані „генеалогічного" дерева, за допомогою якого зображають наявність родинних зв'язків. Вигляд генеалогічного дерева зображено на рис.2.8.

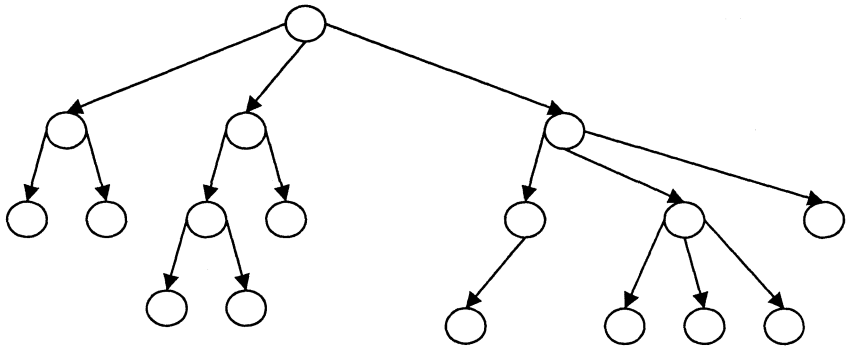


Рис. 2.8. Вигляд генеалогічного дерева.

Так само відбивають різного роду ієрархію і супідрядність для широкого кола реальних об'єктів. При цьому для неорієнтованого дерева, як корінь, можна вибрати будь-яку вершину, для орієнтованого – одну, а саме ту, в котру не заходять дуги.

2.2 Мережі.

Узагальненням поняття графа є поняття мережі. Воно вводиться відповідно до поняття мережної системи на загальноприйнятому рівні.

Мережею називається граф, кожному ребру або дузі якого поставлено у відповідність деяке число, що називається вагою ребра або дуги і відбиває певні властивості цього ребра чи дуги (наприклад, відстань, швидкість, ціну, пропускну здатність, дохід, прибуток).

Мережі на практиці, природно, використовуються набагато частіше, ніж графи як такі, тому що ваги ребер чи дуг визначають процес функціонування об'єкта, представленого мережею. У деяких літературних джерелах поняття мережі і графа не розрізняються.

Усі поняття, уведені для графа, стосуються і мереж. Мережі, як і графи, можуть бути орієнтованими або ні. Вигляд орієнтованої мережі зображено на рис.2.9. На ньому поруч з кожною дугою проставлено її вагу.

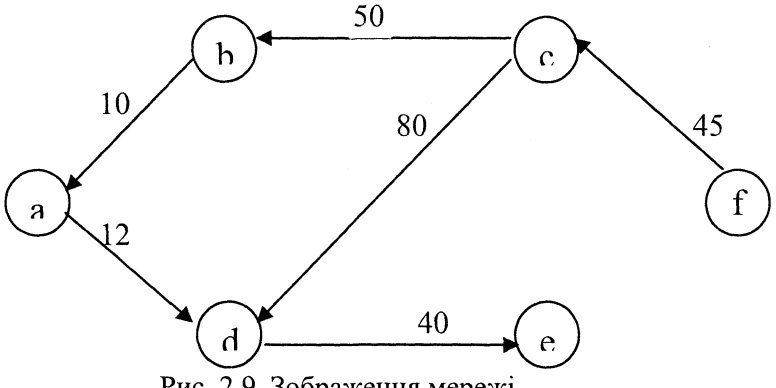


Рис. 2.9. Зображення мережі.

Завдання ваг у такий спосіб є не завжди зручним для мереж великого розміру чи при зображенні їх у малому масштабі. Тому часто ваги для мереж задаються у вигляді таблиці. Зразок табличного задання ваг для мережі, зображеної на рис.2.9, наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Спосіб задання ваг для мережі на рис.2.9.

З / У	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
a		10				
b			50			
c						45
d	12		80		40	
e						
f						

Кажучи загалом, таблиця 2.1 являє собою задання самої мережі. Вона відображає усе, що притаманне мережі: вершини, зв'язки і ваги, тобто числа, поставлені у відповідність цим зв'язкам. За нею, не знаючи конфігурації мережі, можна відтворити всю мережу. Масштаб і вигляд зображення мережі для формалізованої задачі не мають принципового значення, крім виконання ролі наочності. Саме так описуються мережі при розв'язанні мережних задач на комп'ютерах. Цей метод зручний для програмування на алгоритмічних мовах.

Взагалі, не тільки мережі, а й графи можуть задаватися таблицею. У цьому випадку замість конкретних ваг у відповідних клітинках таблиці ставиться будь-яка ознака, що вказує на наявність зв'язку.

Розширення мережі Петрі — це така їх модифікація, яка збільшує можливості мережі стосовно опису та моделювання систем. Існують різні розширення мереж Петрі, орієнтовані на моделювання систем різних типів: стохастичних, динамічних, предикатних та ін. Кольорові мережі Петрі дають змогу значно зменшити розміри мереж, які використовуються, наприклад, для опису моделей комп'ютерних систем.

Необхідність дослідження динаміки ресурсних потоків у системах змусила шукати шляхи включення до мереж Петрі в явному вигляді часових параметрів. Крім того, у деяких моделях необхідно розрізняти порядок надходження маркерів до вузлів та вибору маркерів з них, що дає змогу впорядкувати події в часі.

На практиці широко використовуються проблемно-орієнтовані розширення мереж Петрі, серед яких найбільш відомі £-мережі, комбі-мережі, *ПРО*-мережі, М-мережі та ін.

У простих мережах Петрі допускається наявність у вузлі лише одного маркера, тоді як у розширених мережах кожний вузол може містити кілька маркерів. Кількість маркерів у вузлі позначає число поряд з вузлом.

Мереж Петрі достатньо для опису причинно-наслідкових подій, які виникають у системах, однак мережі не забезпечують повну спільність з логічними

операціями. Зрозуміло, що проста мережа Петрі відтворює роботу тільки логічного елемента «І», тому за допомогою цієї мережі не можна змоделювати збудження переходу, коли вхідний вузол не має маркерів (логічний оператор заперечення «НІ»). Для цього в розширених мережах вводяться дуги заперечення, які зображуються лініями з кружечком на кінці замість стрілки і не мають дугової ваги (дугова вага визначає пропускну здатність дуги). Дуги, визначені раніше, розглядаються як позитивні. Вони завжди направлені від деякого вузла до переходу і не можуть мати зворотного напрямку.

2.3. Матриці суміжності та інциденцій мереж Петрі.

Матриці інциденцій та принципи формалізації опису графів, є теоретичною та методологічною основою для побудови матричних моделей руху даних.

На структурному рівні, на основі топологічної моделі об'єкта, будується орієнтований граф (оргграф) $G(V,B)$, упорядкування якого змістовно описується множиною вершин V, способом дії об'єкта у вигляді множини ребер B. При цьому вершинами оргграфа є функціонально закінчені модулі системи, а ребрами b_i - інформаційні зв'язки між ними.

Структурні відношення між елементами множини описуються матрицею суміжності

$$\left\lfloor C_{ij} \right\rfloor_V = [n \times n],$$

рядки і стовпчики якої відповідають вершинам оргграфа структурної моделі, а її C_{ij}-й елемент – кількості ребер, спрямованих від вершини V_i до V_j. Відношення між елементами множини V і B відповідно опису відношень між вершинами і ребрами оргграфа, описується у вигляді булевої матриці інциденцій

$$[A_{ij}]_{V,B} = [n \times m],$$

рядки якої відповідають вершинам, а стовпчики- ребрам оргграфа, при цьому a_{ij} - елементу присвоюється „+1", якщо V_i - початкова вершина b_j і „-1", якщо V_i - кінцева вершина ребра b_j.

На рис 2.10 показаний оргграф з вершинами V_1 - V_7 та ребрами b_1 - b_{12}.

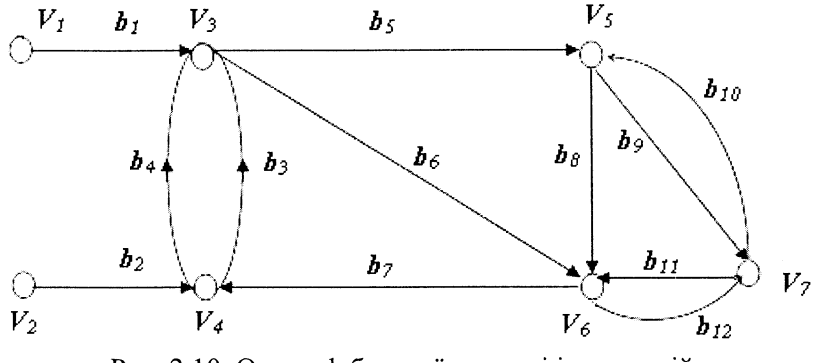


Рис. 2.10. Оргграф булевої матриці інциденцій.

Матриці суміжності C_{ij} та інциденцій A_{ij} цього оргграфа мають вигляд :

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1			1				
V_2				1			
V_3				1	1	1	
V_4			1			1	
V_5						1	1
V_6							1
V_7					1		

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}
V_1	-1											
V_2		-1										
V_3	+1		-1	+1	-1	-1						
V_4		+1	+1	-1			-1					
V_5					+1			-1	-1	+1		
V_6						+1	+1	+1			+1	-1
V_7									+1	-1	-1	+1

Отримана матриця інцидентності відображає топологічну архітектуру комп'ютерної системи і направленість інформаційних потоків між її вузлами. Дана матриця є базою для побудови матриці двохвимірної моделі руху даних, в якій конкретизуються атрибути комп'ютерної системи у вигляді символів джерел інформації, пунктів цифрового оброблення даних, зберігання та архівації даних.

Контрольні запитання і завдання.

1. Якими характеристиками описуються мережі Петрі?
2. Поясніть різні типи графів мереж Петрі.
3. Що відображають матриці інциденцій мереж Петрі?
4. Що відображають матриці суміжності мереж Петрі?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 2 РОЗДІЛУ

1. Томашевський В.М. Моделювання систем.– К.: Видавнича група BHV, 2005.– 352с.
2. Локазюк В.М., Поморова О.В., Домінов А.О. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навч. посібник для вузів. Хмельницький.- 2001.–286с.
3. Nykolaychuk Y., Pitukh I., Vozna N., Nykolaychuk L.. Information technologies of models formalization and designing for data movement in computer networks of automatic control system // Proc. of the third IEEE workshop on Intelligent data acquisition and advanced computing systems: Technology and applications (IDAACS'2005). – Sofia, (Bulgaria).-2005. – P.253–259.

РОЗДІЛ 3

АРХІТЕКТУРИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

3.1. Класифікація архітектур та характеристики СКС.

В даний час існує широка різноманітність архітектур СКС, до яких належать концентровані та розподілені системи опрацювання даних. До систем першого класу можна віднести монопольні архітектури, архітектури з розподіленим часом, архітектури з мультипрограмним та мультипроцесорним опрацюванням даних. Другий клас представлений значним числом однорівневих архітектур, в тому числі: магістральні, зіркові, кільцеві, систолічні. До класу багаторівневих розподілених архітектур СКС слід віднести ієрархічні, багаторівневі–магістральні та зірково–магістральні архітектури.

Окремим класом безпровідних архітектур представлені безпровідні радіотехнічні інформаційні системи та комп'ютерні мережі наступного типу:

- безретрансляторні;
- з пасивними ретрансляторами;
- з активними ретрансляторами, в тому числі сотові мережі.

Комп'ютерні системи з оптичними каналами зв'язку охоплюються архітектурами на основі:

- дуплексних оптичних ретрансляторів;
- оптичних активних ретрансляторів;
- оптичних сканерів;
- волоконно–оптичних ліній зв'язку.

Значною оригінальністю архітектур характеризуються спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС), які часто можуть базуватися на об'єднанні окремих елементів різних типових архітектур. До такого класу інформаційних систем, наприклад, належать:

- системи обліку витрат енергоносіїв з глибоким розпаралеленням потоків даних;
- комп'ютерні розподілені системи екологічного моніторингу;
- спеціалізовані охоронні системи;
- проблемно–орієнтовані корпоративні системи промислових та адміністративних організацій.

Така велика кількість архітектур інформаційних систем в значній мірі ускладнює вирішення задач оптимізації проектних рішень при побудові інформаційних систем, що потребує розробки відповідних моделей архітектур, які б дозволили шляхом формалізації структурних елементів різних мереж з єдиних позицій провести дослідження та порівняння їх системних характеристик. Одним з перспективних підходів до вирішення такої задачі є використання теорії та технології побудови одномірних та багатомірних матричних моделей руху даних, що визначає актуальність таких досліджень.

На рис.3.1 подана класифікація архітектур СКС з фізичними лініями зв'язку.

Рис.3.1. Класифікація архітектур СКС з фізичними лініями зв'язку

На рис. 3.2 подана класифікація архітектур СКС з безпровідними лініями зв'язку.

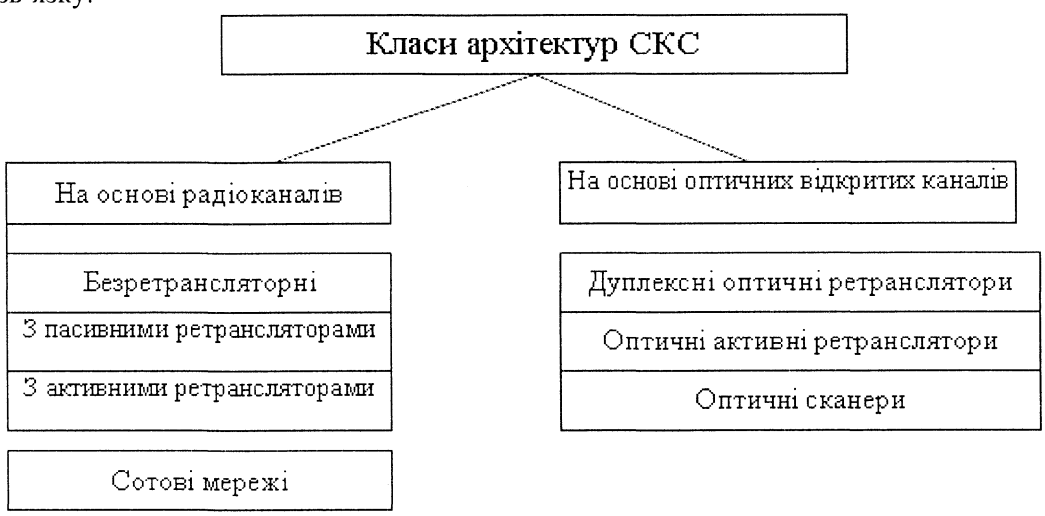


Рис.3.2. Класифікація архітектур СКС з безпровідними радіоканалами.

Подані класифікації архітектур СКС дозволяють виконати формалізований вибір відповідного класу архітектури СКС в залежності від їх проблемної орієнтації та необхідних системних характеристик.

3.1.1. Системи концентрованого опрацювання інформаційних потоків.

3.1.1.1. Монопольна СКС

Монопольна архітектура (рис.3.3) характеризується максимальним паралелізмом руху даних, внаслідок цього має максимальну подільність та живучість.

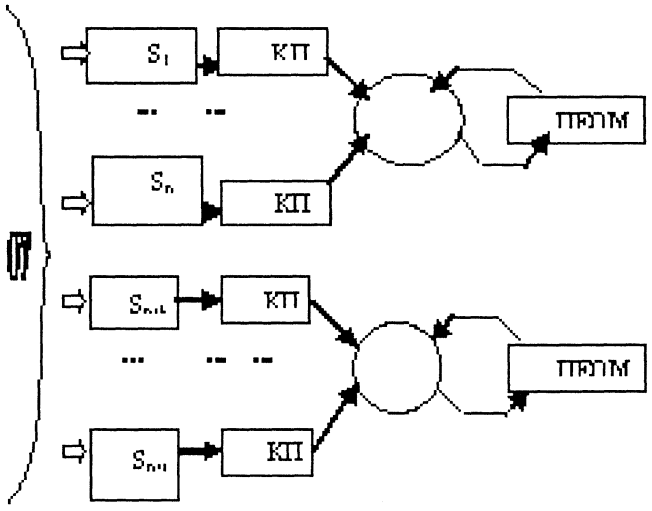


Рис.3.3. Монопольна архітектура

Крім того, кожен оператор володіє всіма ресурсами персональних ЕОМ, включаючи повний об'єм пам'яті, швидкодію, операційне та прикладне програмне забезпечення, час.

Основними недоліками такої архітектури є:

- відсутність інформаційних зв'язків між комп'ютерами, що не дозволяє операторам використовувати масиви даних та прикладні програми інших операторів без фізичного переміщення носіїв даних;
- надзвичайно висока собівартість опрацювання даних, обумовлена невідповідністю ресурсів операторів і ПЕОМ. Наприклад, швидкість формування даних оператором з клавіатури 5–12 операцій/с, а швидкість опрацювання даних ПЕОМ $10^6 - 10^9$ операцій/с;
- недостатнє використання часового ресурсу (4–6 год./добу, що складає 25% потенційних можливостей ПК);
- непрофесійність, недостатня кваліфікація та низька математична підготовка операторів, які не використовують всі можливості операційної системи та прикладного програмного забезпечення. Тому експертна оцінка ефективності монопольної архітектури складає 0,01 % ККД.

3.1.1.2. СКС розділеного часу

Архітектура розподіленого часу (рис.3.4) не забезпечує високопаралельного режиму роботи, що обумовлено наявністю комутатора інформаційних потоків.

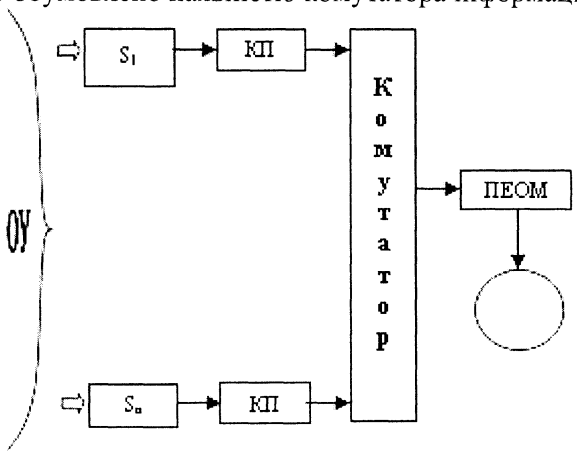


Рис.3.4. Архітектура розподіленого часу

При цьому також виникають ефекти старіння інформації. Позитивними характеристиками такої архітектури є зниження собівартості опрацювання даних за рахунок більш ефективного завантаження КС в часі та колективного користування ПЗ і масивами даних.

Основними недоліками даної архітектури є суттєве зниження надійності, яке обумовлене наявністю комутатора та одного колективного процесора, а також обмеження ресурсів часу для кожного оператора та монопрограмне рішення задач, що може призводити до створення черг на рівні операторів (ККД = 0,1 %) .

3.1.1.3. Мультипрограмна СКС

Мультипрограмна архітектура (рис.3.5) дозволяє розпаралелити інформаційні потоки та організувати одночасне виконання всіх задач в мультипрограмному режимі .

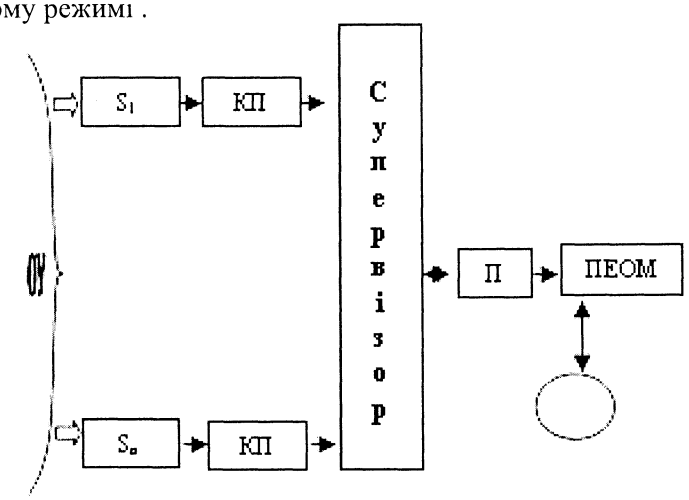


Рис.3.5. Мультипрограмна архітектура.

Недоліками такої архітектури є значна вартість опрацювання даних внаслідок використання одного потужного процесора та складного ПЗ з багаторівневою системою переривань та пріоритетів. Дана структура характеризується невисокою надійністю, великою ймовірністю зависання та невизначеністю часу завершення конкретних задач, що породжує невизначеність часу очікування окремих операторів. Крім того, завантаженість системи залежить від активності операторів (ККД= 1,0–1,2%).

3.1.1.4. Мультипроцесорна СКС

Мультипроцесорна архітектура (рис.3.6) забезпечує суттєве підвищення надійності системи, можливості розпаралелення інформаційних потоків та суттєве зниження собівартості опрацювання даних за рахунок одночасного використання супервізора та групи процесорів різної потужності.

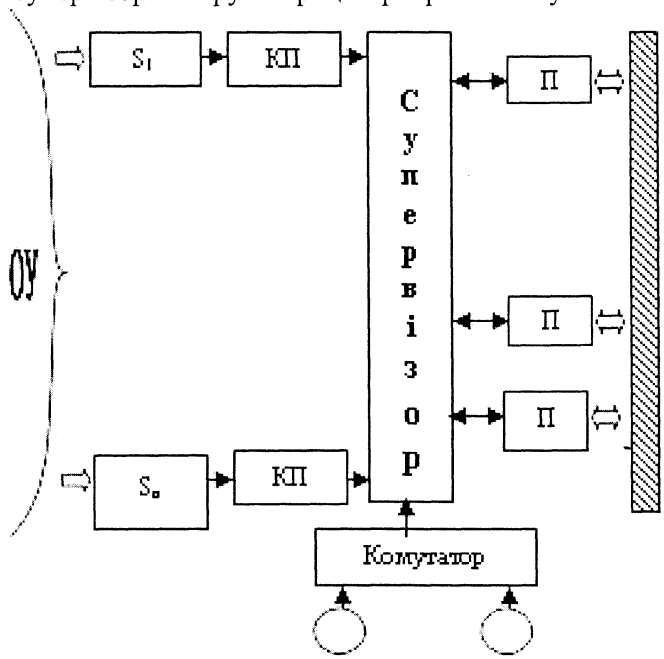


Рис.3.6. Мультипроцесорна архітектура.

При цьому супервізор не тільки аналізує активність та характер задач, які виконуються операторами, але й розподіл потужностей процесорів та їх головних ресурсів. Незалежність від активності сенсорних даних забезпечується цілодобовим рішенням фонових задач, які завантажуються в супервізор операторами через комутатор. Позитивною характеристикою даної архітектури є наявність прямих інформаційних зв'язків між процесорами на основі високошвидкісної паралельної шини (ККД= 5–10%).

3.1.2. Мережеві однорівневі СКС

3.1.2.1. Магістральна архітектура СКС.

Магістральна архітектура (рис.3.7) характеризується зниженням собівартості опрацювання розподілених даних за рахунок суттєвого зниження

вартості магістрального фізичного каналу зв'язку на основі провідних ліній (витої пари та коаксіального кабеля) або волоконно–оптичних ліній. Головними перевагами такої архітектури є можливість встановлення безпосередніх інформаційних зв'язків між станціями, а також колективне використання ресурсів сенсорних даних та сервера. В той же час дана архітектура має ряд суттєвих недоліків, обумовлених можливістю колізій та конфліктів, які ліквідуються на основі спеціальних складних протоколів доступу, а також низьку надійність, обумовлену одним каналом зв'язку. Незважаючи на ці недоліки, ККД становить 20–30%.

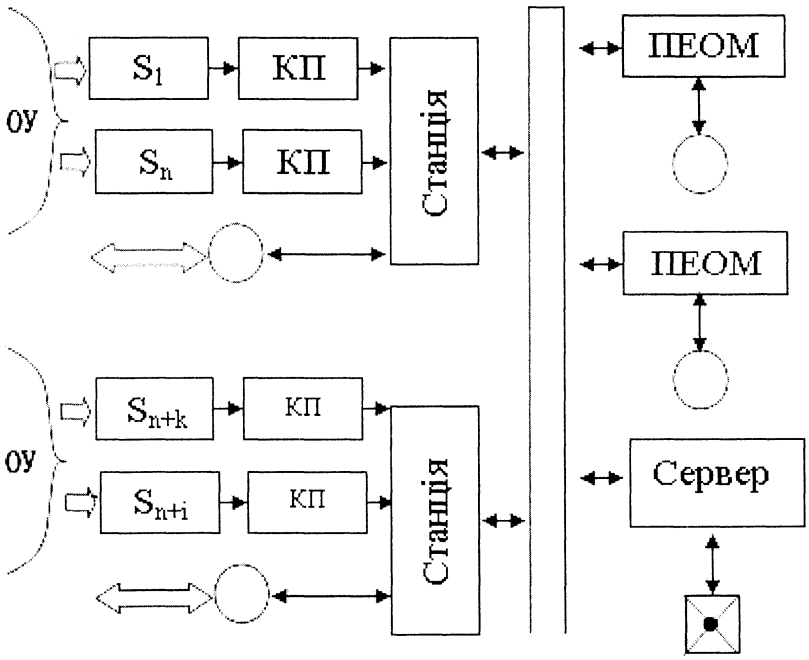


Рис.3.7. Магістральна архітектура.

3.1.2.2. Кільцева архітектура СКС.

Кільцева архітектура (рис.3.8) найбільш ефективна з даного класу архітектур. Характеризується низькою вартістю каналу зв'язку, що представляє собою шинну магістраль, замкнуту в кільце. Швидкісний маркер, який циркулює в кільці, виключає колізії та спрощує протоколи доступу до каналу. При однократному розриві каналу зв'язку робота мережі не порушується, а по часу поширення сигналів між станціями сервер може локалізувати місце розриву та видати повідомлення про необхідність його профілактики.

Головним недоліком такої архітектури є можливість довготривалої затримки маркера на станції, яка вийшла з ладу, що потребує додаткового тестування мережі з метою вилучення таких станцій.

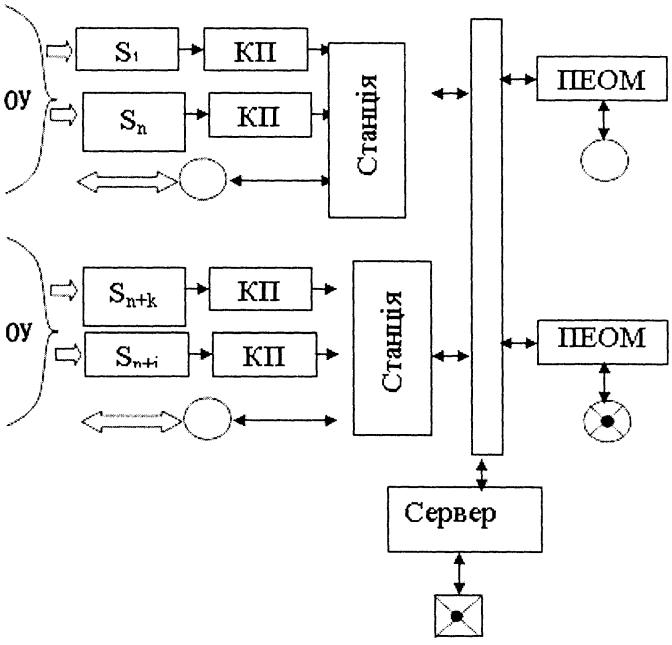


Рис.3.8. Кільцева архітектура.

ККД становить 30–40%. В окремих випадках організовується реалізація каналу на основі подвійного кільця, що суттєво підвищує надійність такої мережі. Тоді ККД може становити 50%.

3.1.2.3. Зіркова архітектура СКС.

Зіркова архітектура (рис.3.9) найчастіше використовується для створення ЛОМ з концентрованою БД на рівні сервера.

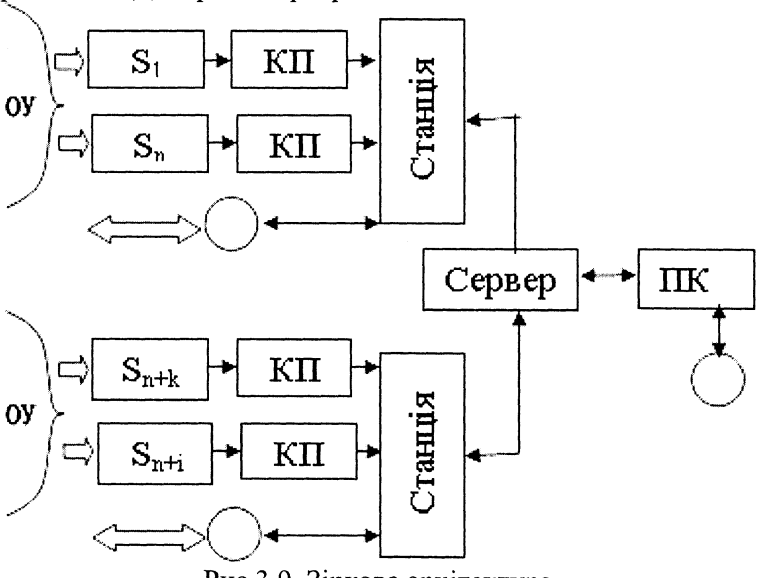


Рис.3.9. Зіркова архітектура.

В даній архітектурі відсутні колізії та організовуються прямі інформаційні зв'язки між станціями за рахунок високошвидкісного матричного комутатора. Перевагою даної архітектури є колективне користування ресурсами потужного сервера. Основним недоліком зіркової архітектури є відносно висока вартість системи каналів зв'язків та недостатня надійність, обумовлена комунікаціями через один сервер. В той же час ККД становить 20–30%.

3.1.2.4. Систолічна архітектура СКС.

Систолічна архітектура (рис.3.10) базується на організації всіх прямих інформаційних зв'язків між будь–якою парою станцій, що забезпечує максимальну надійність телекомунікаційної системи.

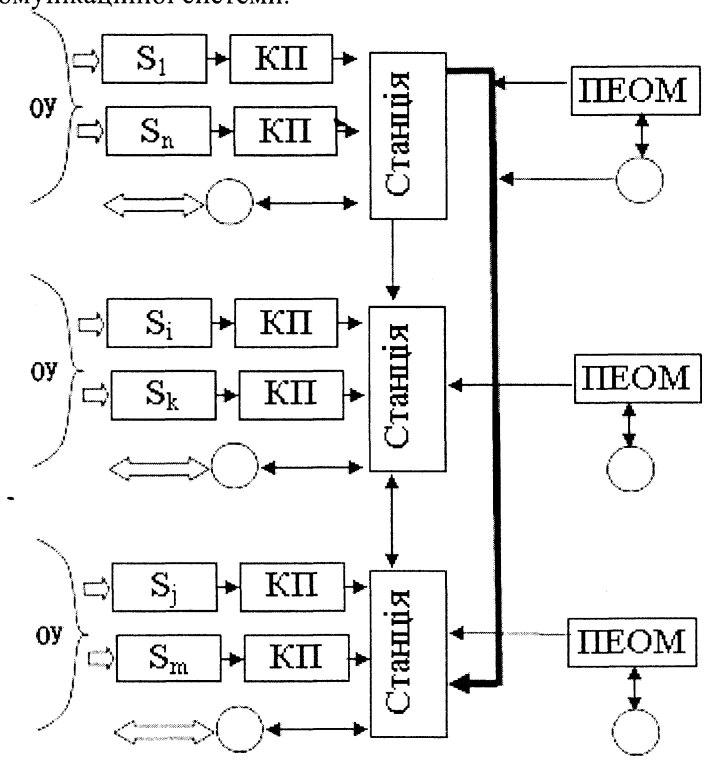


Рис.3.10. Систолічна архітектура.

До класу таких мереж належать СПД системи з комутацією каналів. ККД становить 50–60%, але в той же час ця архітектура характеризується двома основними недоліками: максимальною вартістю каналів зв'язку та можливістю кластерного збудження мережі. Систолічні архітектури є високо емерджентні $K_e > 2$.

3.1.3. Багаторівневі архітектури СКС.

3.1.3.1. Ієрархічна архітектура СКС.

Ієрархічна архітектура (рис.3.11) розподілених систем опрацювання даних багаторазово повторює зіркову архітектуру, тобто є її розширенням.

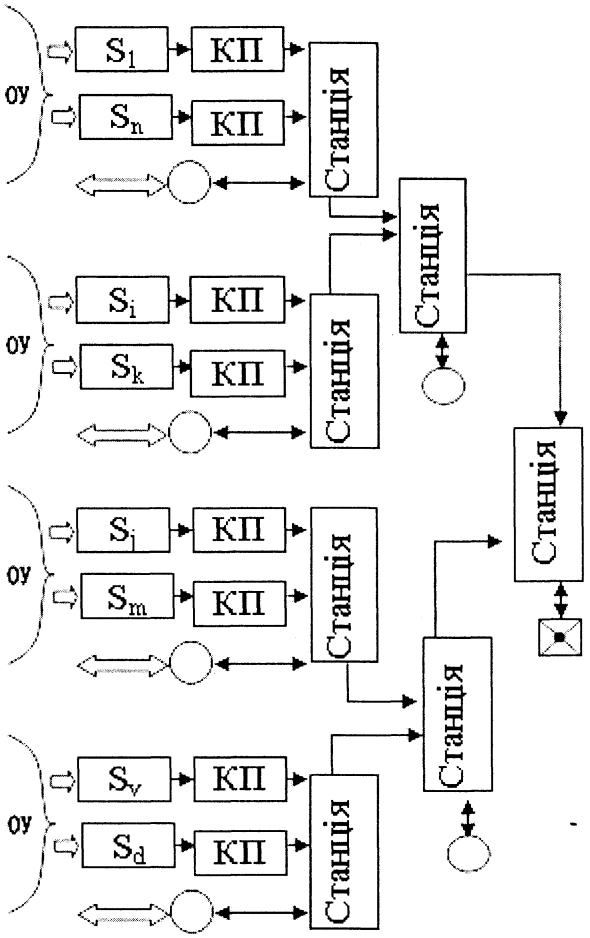


Рис.3.11. Ієрархічна архітектура.

Головною перевагою ієрархічної архітектури є зниження собівартості опрацювання даних за рахунок адаптації ресурсів КМ на кожному рівні або в окремих ієрархічних вітках. Такі архітектури характеризуються максимальною стійкістю. В той же час кожна станція або окремі абоненти мають можливість користуватися потужними обчислювальними ресурсами інших рівнів. ККД таких архітектур становить 40–60%.

Головними недоліками даної архітектури є:

- відсутність прямих інформаційних зв'язків між станціями одного рівня;
- низька емерджентність (інтелектуальність), яка визначається відношенням числа зв'язків до числа станцій, $K_e < 1$;
- можливість катастрофічного розмноження помилок при переміщенні даних з верхніх рівнів до нижніх;
- зростання ваги помилок при переміщенні даних з нижніх рівнів до верхніх.

3.1.3.2. Мережно-ієрархічна архітектура СКС.

Мережно-ієрархічна архітектура (рис.3.12) одночасно об'єднує елементи багаторівневої мережної та ієрархічної архітектур.

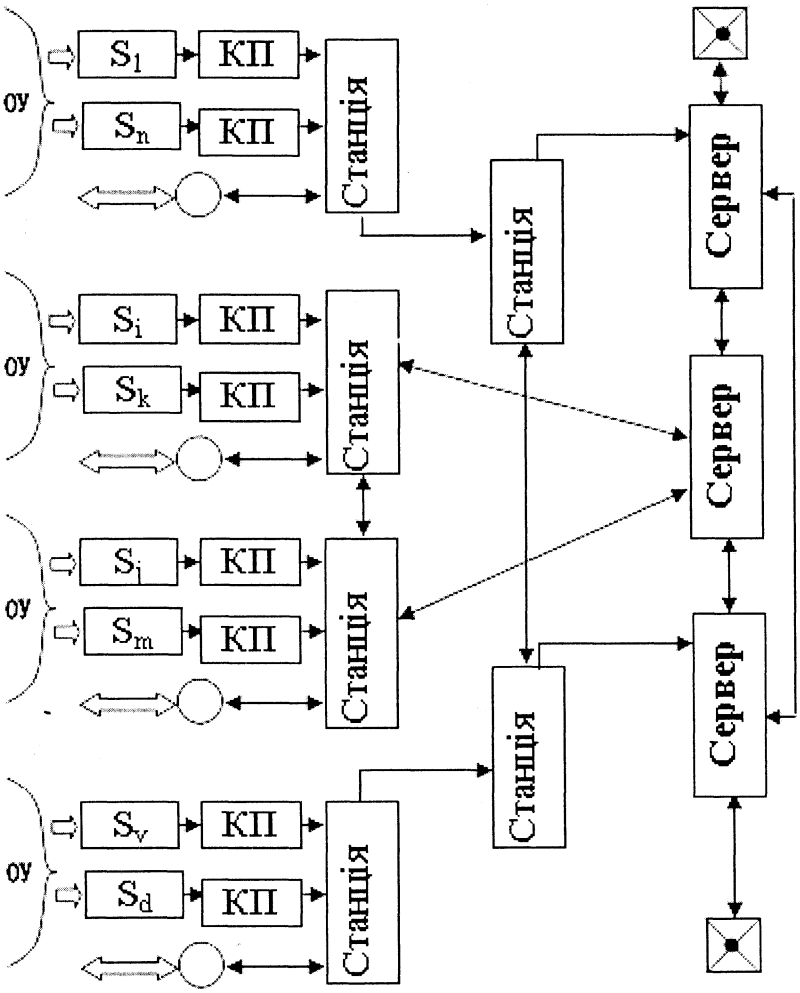


Рис.3.12. Багаторівнева мережно-ієрархічна архітектура.

Дана архітектура відрізняється наявністю групи рівноправних серверів, об'єднаних швидкісною інформаційною шиною верхнього рівня СКС. Даний елемент архітектури забезпечує високий інтелект та надійність системи. Особливістю такої архітектури є наявність зв'язків між окремими станціями на певних рівнях, а також через рівневі зв'язки між серверами верхнього рівня та будь-якого іншого рівня ієрархічної компоненти архітектури СКС. При цьому у процесі проектування СКС реалізується максимальна адаптація архітектури СКС до топології реального розподіленого ОУ.

Одним з недоліків такої архітектури СКС є складність організації та ведення розподіленої бази даних на рівні серверів.

3.1.3.3. Багаторівнева магістральна архітектура СКС.

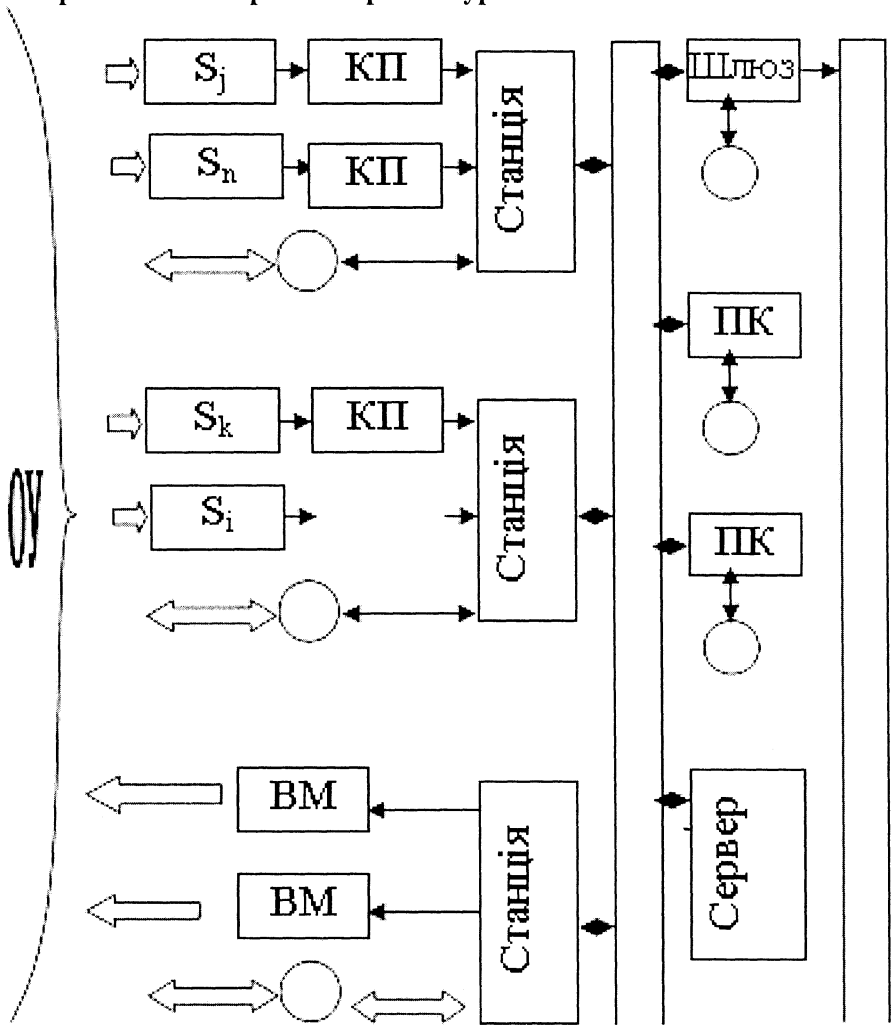


Рис.3.13. Багаторівнева магістральна архітектура.

Дана архітектура (рис.3.13) максимально адаптована до структури промислових виробництв і охоплює три рівні: технологічний (сенсори, виконавчі механізми, оператори, технологи та станції, кодери), цеховий (ЕОМ типу сервер та цехові ПК), адміністративний (ПЕОМ адміністративного апарату та системний сервер з адміністратором БД). ККД становить 50–65%.

3.1.3.4. Зірково-магістральна архітектура СКС.

Дана архітектура (рис.3.14) характеризується суттєвими перевагами по відношенню до інших описаних архітектур, що виражається в наступному:

- багаторівнева розподілена обробка даних;
- відсутність міжрівневих шлюзів, які значно обмежують ресурси багаторівневих систем;

- висока надійність і живучість за рахунок реалізації розпаралелення обробки даних, в тому числі при черезрівневих обмінах;
- висока емерджентність;
- реалізація принципів паралелізму на рівні сенсорів та ПКД.

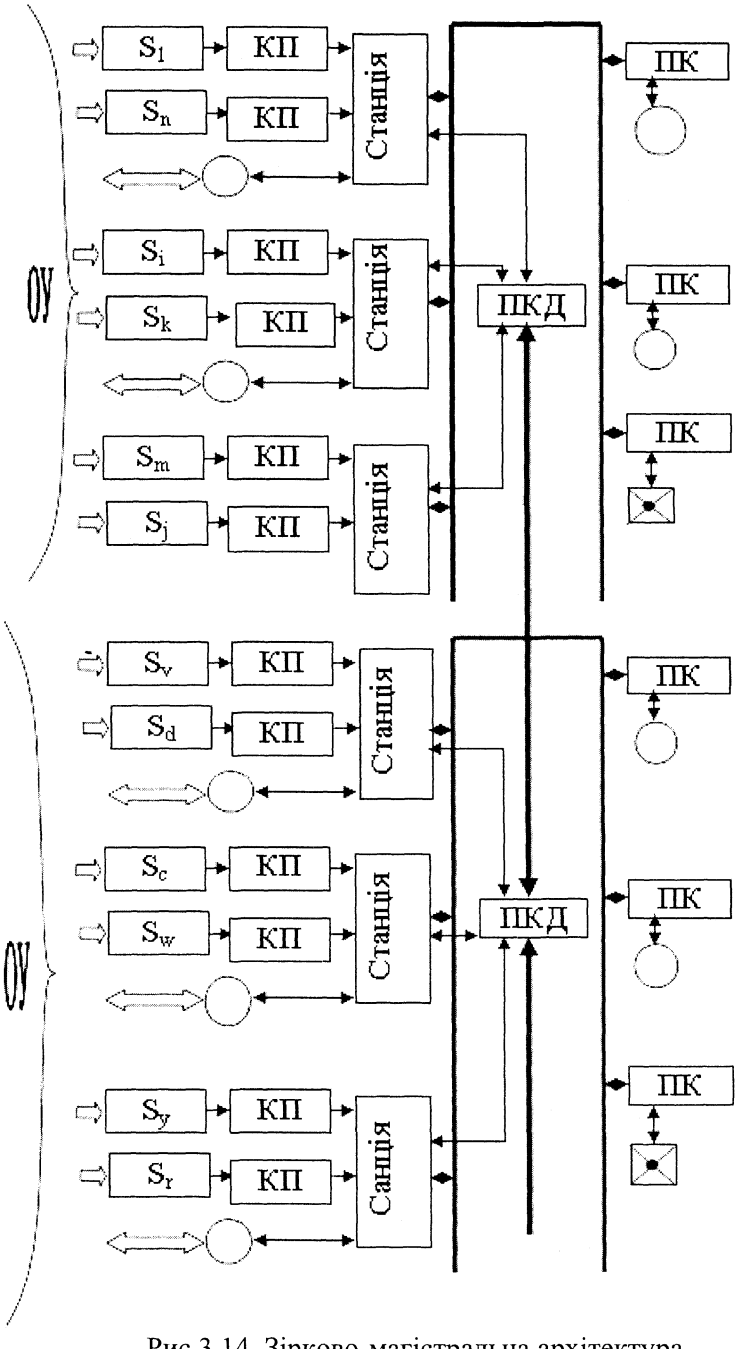


Рис.3.14. Зірково-магістральна архітектура.

Особливістю даної архітектури є організація паралельного запису даних в поштові скриньки асоціативних елементів ПКД та можливість паралельного зчитування всіма абонентами будь–яких даних всіх елементів ПКД.

Швидкісний канал міжрівневого зв'язку між ПКД, як правило, реалізується на основі волоконно–оптичних ліній зв'язку, що дозволяє вирівняти трафіки магістральних ліній кожного рівня та розпаралелити міжрівневі зв'язки.

Оцінка ККД зірково–магістральної архітектури сягає 60–80%. Тобто можна вважати дані архітектури найбільш перспективними в застосуванні у КС збору, обробки даних та управління складними об'єктами в реальному масштабі часу.

3.1.3.5. Поняття, архітектура та функції мережевої станції СКС

Мережеві архітектури СКС організовуються на основі реалізації функцій формування, цифрового опрацювання, зберігання, управління об'єктами та передавання інформації мережевими станціями (СТ) з базовою архітектурою, яка показана на рис.3.15. На рис.3.15: ОУ - об'єкт управління; О – оператор; АП – абонентський пункт; Р – процесор; ММ – модем; КМ – комп'ютерна мережа; S – сенсор; КНМ – контролер низової мережі; ВМ – виконавчий механізм.

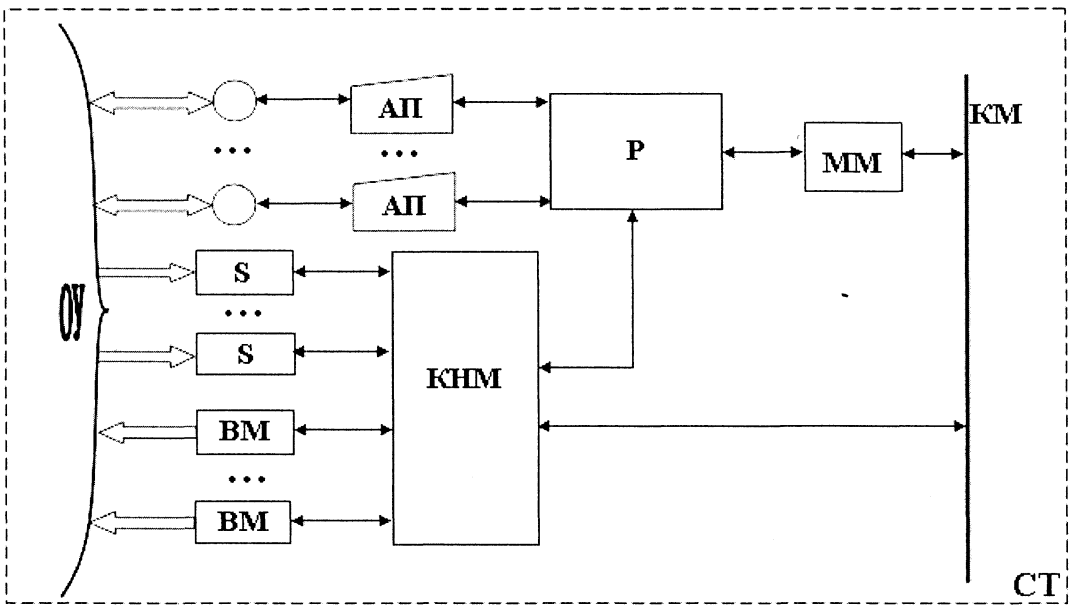


Рис.3.15. Архітектура мережевої станції СКС.

Компоненти мережевої станції виконують наступні функції:

- збір та аналіз технологічних та техніко-економічних даних (ТЕД) в реальному масштабі часу виконують оператори, оснащені спеціалізованими абонентськими пунктами у вигляді промислових комп'ютерів, спеціалізованих пультів, табло, панелей перемикачів та ін.;
- сенсори реалізують перетворення фізичних процесів в стандартні сигнали та інтерфейси;
- виконавчі механізми реалізують команди управління механізмами, автоматичними засувками, роботами, верстатами з програмним управлінням…;

- контролер низової мережі реалізується на основі двопроцесорної структури у вигляді спеціалізованого мікроконтролера з оптоелектронною гальванічною розв'язкою пиле-, волого- та вибухобезпечного виконання, в якому один процесор виконує функції збору, кодування, реєстрації технологічних даних та управління мікрокомандами виконавчих механізмів, а другий процесор реалізує функції телекомунікаційного зв'язку з базовим процесором станції, а в окремих випадках

– згідно інтерфейсу низової комп'ютерної мережі ресурсами влаштованого модему;

- базовий процесор станції Р виконує функції оперативної архівації даних на заданому інтервалі часу, побудові інформаційних моделей ОУ згідно характеристичного функціоналу $X_{OY,}$ контролю відхилень станів ОУ від норми та організації мережевого зв'язку через модем з іншими станціями та серверами СКС.

3.2. Характеристики емерджентності різних структур СКС

Дослідження та аналіз архітектур розподілених комп'ютерних систем, які використовуються в локальних, проблемно-орієнтованих та спеціалізованих комп'ютерних мережах дозволяє визначити наступні класи їх архітектур представлених в табл.3.1, до яких належать: однорівнева, багаторівнева, безпровідна, з відкритим оптичним каналом. Основним показником ефективності архітектур розподілених комп'ютерних систем є коефіцієнт емерджентності, який визначається згідно рівняння:

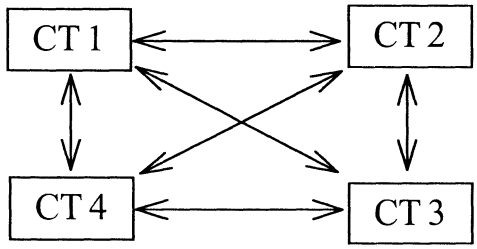
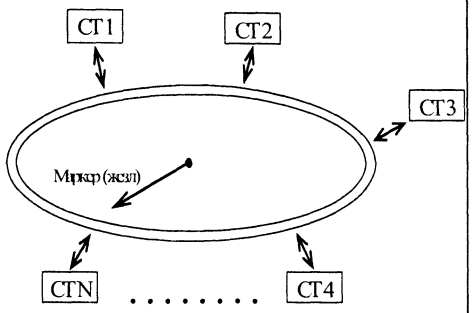
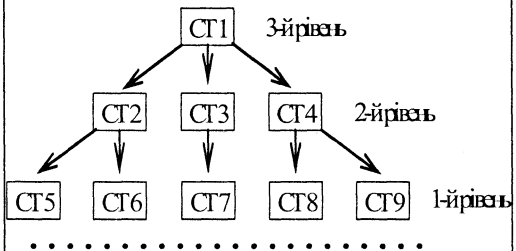
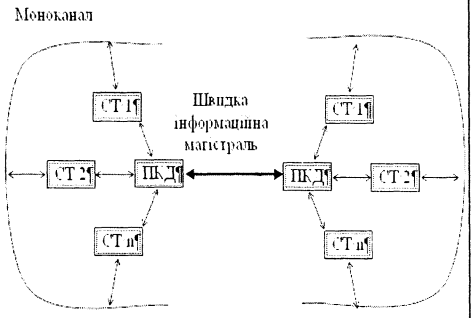
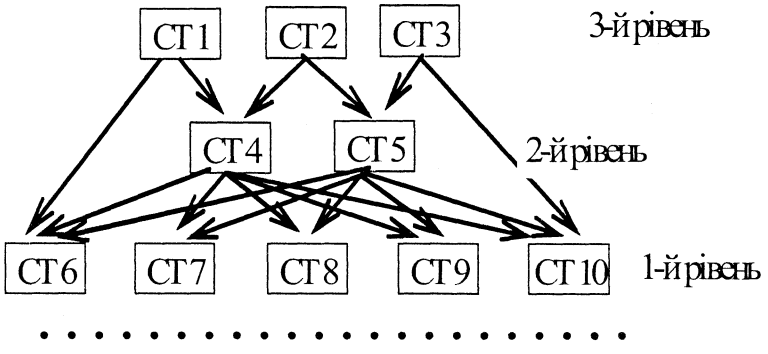
$$K_e = \frac{n_з}{n_e}, \tag{3.1}$$

де $n_з$ - число зв'язків, n_e - число компонентів.

Таблиця 3.1

Тип та архітектура комп'ютерних мереж

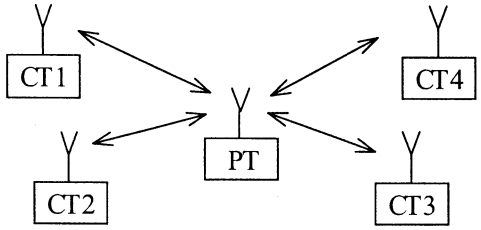
№	Тип та архітектура КС	
	Однорівневі архітектури	
1	Зіркова СТ 1 … СТ i СЕРВЕР СТ 10 … СТ N K_e=3	Моноканал СТ1 СТ1 … СТ1 K_e=1

2	Систолічна  K_e=10	Кільцева  K_e=1
Багаторівневі архітектури		
3	Ієрархічна  K_e=1	Зірково-магістральна  K_e=10
4	Мережно-ієрархічна  K_e=10	

Безпровідні архітектури

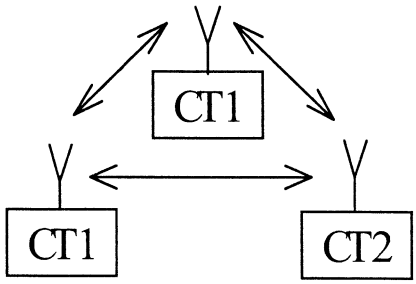
5

З пасивним ретранслятором



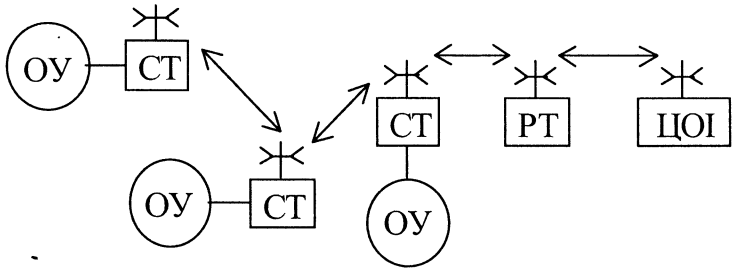
K_e=3

Безретрансляційна



K_e=10

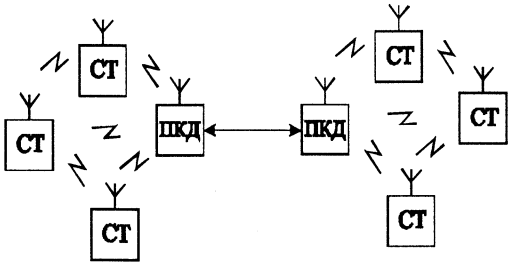
З активним ретранслятором



K_e=4

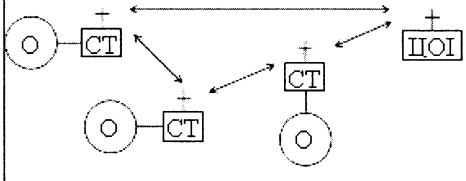
6

Зірково-магістральна

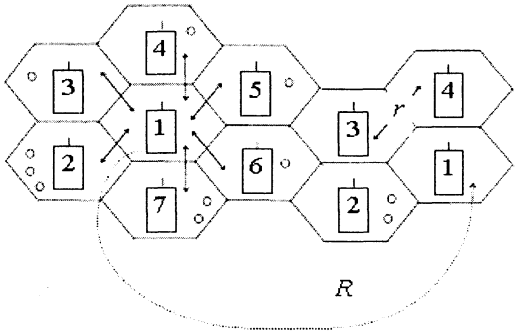
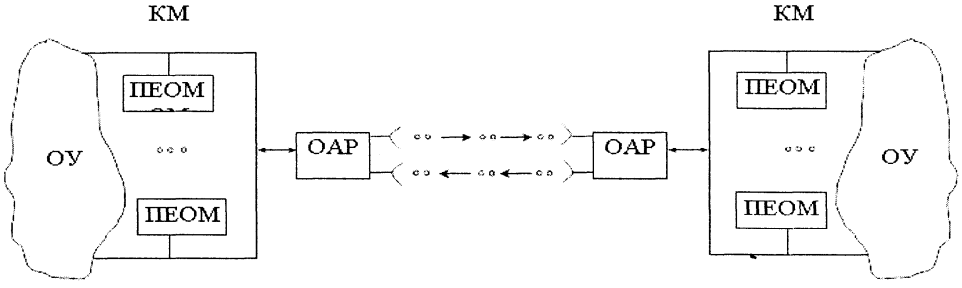
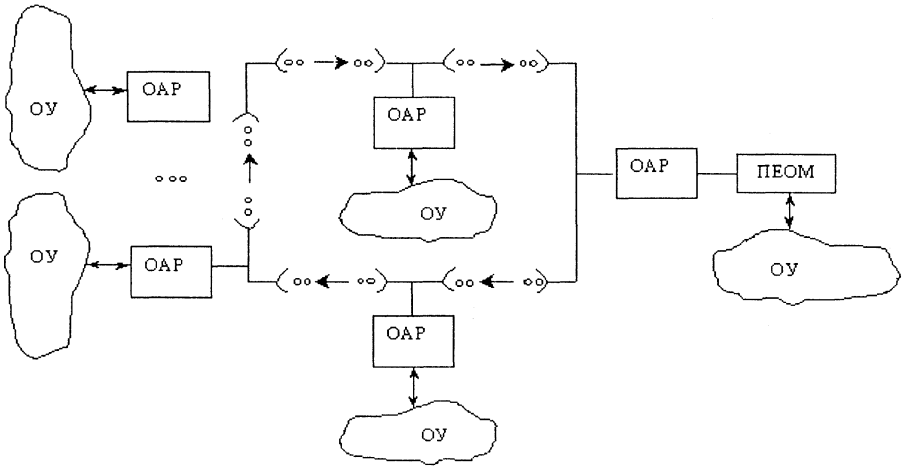


K_e=10

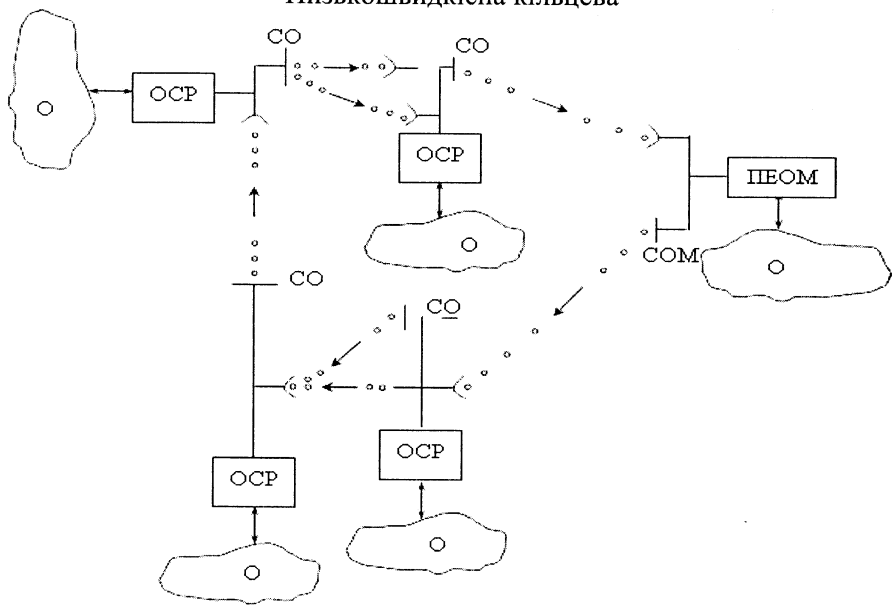
З активним ретранслятором та кільцевою структурою



K_e=6

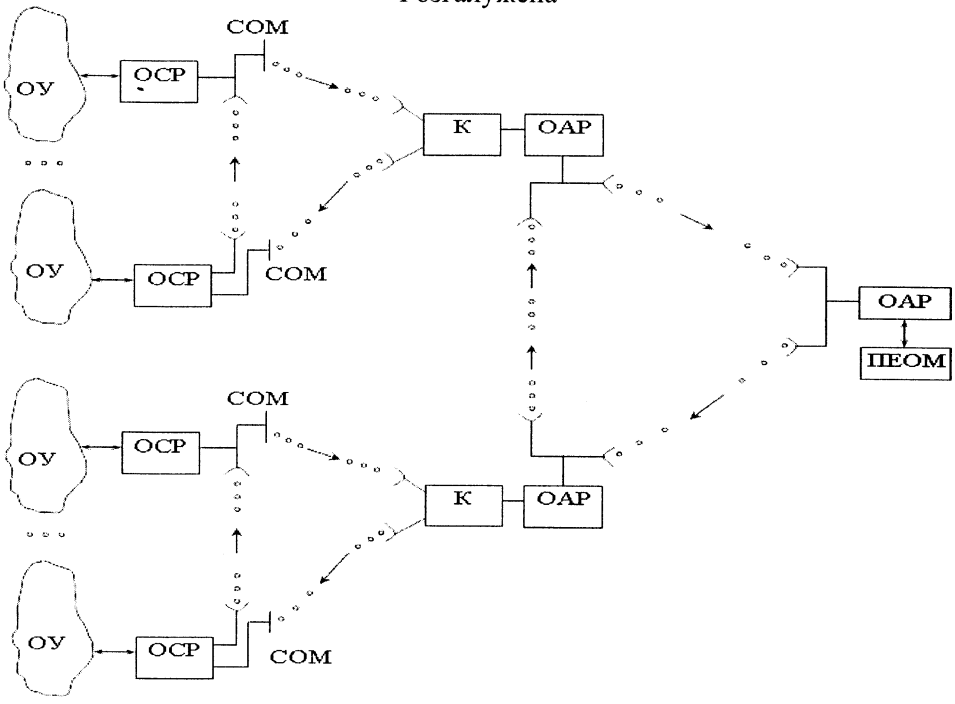
	Сотова  K_e=6
Архітектури КС з відкритими оптичними каналами зв'язку	
7	Високошвидкісна дуплексна  K_e=1
	Середньошвидкісна кільцева  K_e=3

Низькошвидкісна кільцева



K_e=3

Розгалужена



K_e=4

З таблиці 3.1 видно, що найкращими показниками емерджентності характеризуються наступні архітектури: мережево-ієрархічна; систолічна; безпровідна безретрансляційна; безпровідна зірково-магістральна; зірково-магістральна. На рис 3.16 показана гістограма коефіцієнтів емерджентності різних типів архітектур КС.

Найбільш перспективною архітектурою КС, в якій доцільно використовувати спецпроцесори та АЦК, є безпровідна зірково-магістральна архітектура. Ефективність трафіку передавання даних досліджуваним класом СП при реалізації різних процедур доступу до віддаленого концентратора даних показано на рис.3.16.

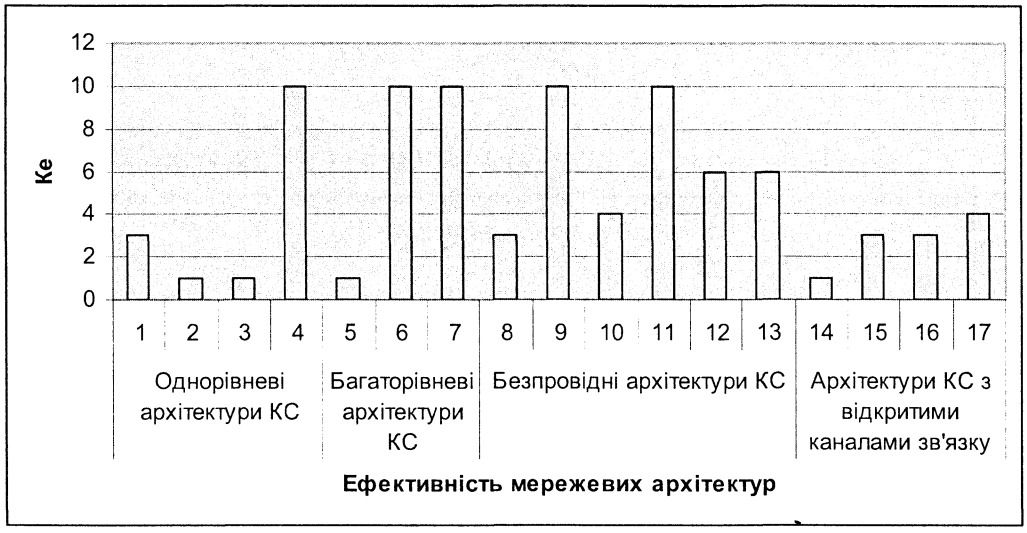


Рис.3.16. Ефективність мережевих архітектур за параметром емерджентності. Однорівневі: 1-зіркова; 2-моноканал; 3-кільцева; 4- систолічна; Багаторівневі: 5-ієрархічна; 6-зірково-магістральна; 7- мережно-ієрархічна; безпровідні: 8- з пасивним ретранслятором; 9- безретрансляційні; 10- з активним ретранслятором; 11- зірково-магістральна; 12- з активним ретранслятором та кільцевою структурою; 13- сотова; з відкритими оптичними каналами зв'язку: 14- високошвидкісна дуплексна; 15- середньошвидкісна кільцева; 16- низькошвидкісна кільцева; 17- розгалужена

На низовому рівні дистрибутивних та корпоративних відомчих КС (рис.3.17) існує тільки зв'язок сенсор – ПКД, що не дозволяє синхронізувати процес передачі даних від формувачів інформаційних потоків (ФІП). Продуктивність такої системи можна розрахувати за наступною формулою:

$$P = \frac{\sum_{i=0}^{N} \frac{K_i}{H}}{N}, \qquad (3.2)$$

де P – коефіцієнт продуктивності системи, K_i – кількість активних формувачів інформаційних потоків в і-й момент часу, H – загальна кількість формувачів інформаційних потоків системи, N – кількість відліків часу в дискретному просторі.

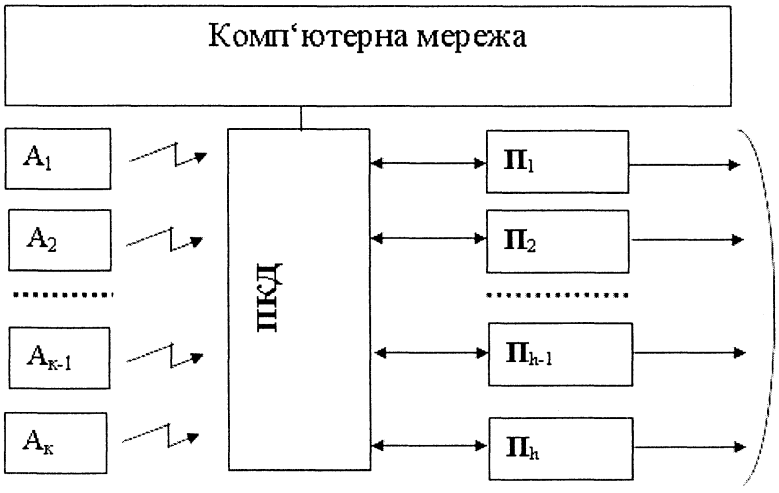


Рис.3.17. Структура системи низового рівня дистрибутивних КС на базі ПКД (A_1-$A_к$ – автономні сенсори, ПКД – пам'ять колективного доступу, $П_1$-$П_h$ – процесори).

На основі використання математичної моделі (3.2) отримано значення продуктивності при 30000 формувачів інформаційних потоків комп'ютерної системи. Результати досліджень показали, що максимальна продуктивність досягає 40 % при використанні асоціативної оперативної пам'яті системи з паралельним доступом (рис.3.18).

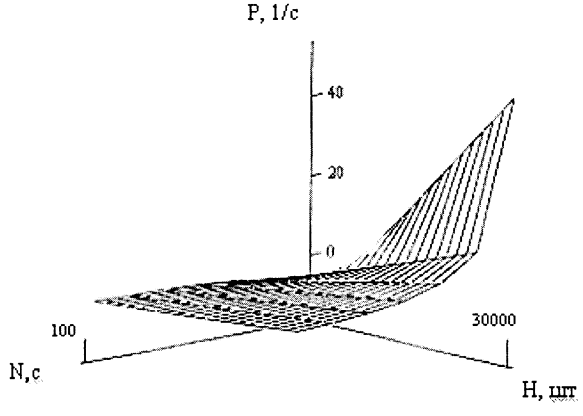


Рис.3.18. Продуктивність системи.

При збільшенні часу обміну інформації в комп'ютерній системі спостерігається зменшення продуктивності. Тому для ефективного використання

КС потрібно максимально збільшити обсяг оперативної пам'яті системи, оскільки її ефективність в значній мірі залежить від часу обміну інформації між формувачами інформаційних потоків системи.

Аналіз трафіку автономних сенсорів безпровідних архітектур КС показує, що СП низових рівнів безпровідних зірково-магістральних КС забезпечують максимальну ефективність при режимі паралельного асинхронного формування та передавання даних. Незважаючи на велику ефективність зірково-магістральних мереж, такі архітектури отримали недостатньо широке застосування, оскільки вони знаходяться на стадії розвитку і використовуються як проблемно-орієнтовані КС.

3.3. Характеристики архітектур процесорів формування та цифрового опрацювання даних.

Аналіз джерел в галузі інформаційних технологій показує, що основними елементами високопродуктивних СКС є спецпроцесори, які використовуються для швидкого опрацювання великих потоків даних та їх формування.

Зокрема, в сучасних паралельних та високопродуктивних обчислювальних системах (CRAY-1, CYBER 205, ILLIAC IV, Butterfly, ICL DAP), широко використовуються спецпроцесори, які забезпечують технічну реалізацію як традиційних, так і спеціалізованих задач цифрового опрацювання сигналів. Найбільша увага надається алгоритмам швидкого опрацювання складних сигналів. Сучасні обчислювальні засоби дозволяють виконувати в режимі реального часу задачі багатовимірної цифрової фільтрації за допомогою сигнальних процесорів або багатопроцесорних систем, а також використовуються в якості швидкодіючих співпроцесорів або комутаційних процесорів цифрових телекомунікаційних систем.

Основними елементами таких спецпроцесорів є: ядро цифрового опрацювання даних, процесор вводу/виводу, внутрішня пам'ять, комунікаційна шина (рис.3.19).

Рис. 3.19. Структура процесора цифрового опрацювання даних.

Дані та команди, що поступають на спецпроцесори опрацьовуються процесором вводу/виводу та ядром цифрового опрацювання даних. Комунікаційна шина проводить організацію внутрішньокристального середовища передавання

команд і даних між елементами кристалу та можливістю використання зовнішньої пам'яті.

Принцип паралельного опрацювання даних є основною ідеєю сучасних комп'ютерних обчислювальних систем, що зумовлює глибоке дослідження, аналіз та створення новітніх перспективних архітектур, котрі забезпечують паралельне опрацювання потоків даних та паралельний багатоканальний доступ до розподілених ресурсів, таких як блоки зовнішньої пам'яті, обчислювальні елементи інших процесорів, порти вводу/виводу. Для реалізації ідеї паралелізму та спільного доступу до розподілених ресурсів в спецпроцесорах провідних фірм виробників сигнальних процесорів (Analog Device, Texas Instruments, Motorola) використовується процесор вводу/виводу. Ці процесорні елементи забезпечують високоефективний доступ до розподілених елементів КС та загальносистемних ресурсів. До складу процесора вводу/виводу входять такі основні компоненти: контролер прямого доступу до пам'яті та контролери лінків (рис. 3.20).

Рис. 3.20. Структура процесора вводу/виводу.

Кожен лінк складається з декількох двонаправлених ліній даних, а також з двонаправлених керуючих ліній, що забезпечують асинхронне або синхронне передавання даних (рис.3.21).

Рис. 3.21. Структура лінка процесора вводу/виводу.

За останні роки було запропоновано і розроблено багато архітектур процесорів цифрового опрацювання даних, які за принципом роботи можна розділити на два класи: Фон-Неймана, де усі команди виконуються послідовно; гарвардська, де реалізовано можливість паралельної роботи процесорних елементів (рис. 3.22).

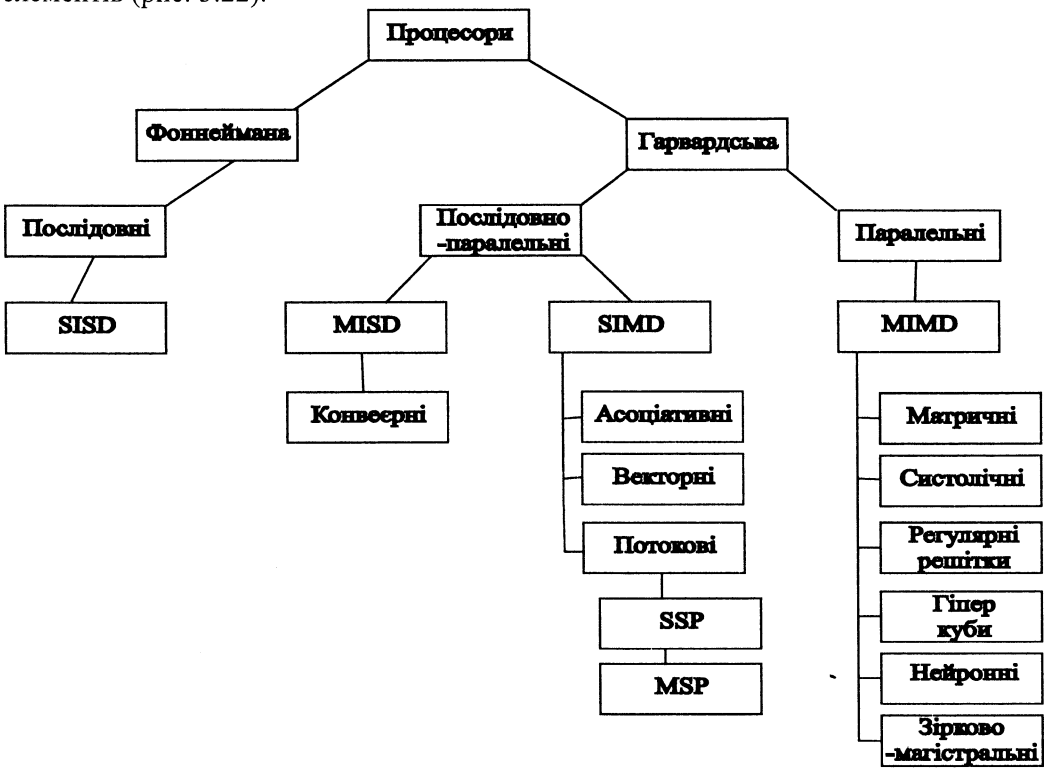


Рис. 3.22. Класифікація процесорів цифрового опрацювання даних.

Фон-Нейманівська архітектура (рис. 3.23а) складається з спільної пам'яті програм і даних та спільної шини для передавання даних і команд з центральним процесором (ЦП). Дана архітектура є низькошвидкісною і вигідною, коли всі необхідні операції можуть виконуватися послідовно.

Значно більшу швидкодію при рішенні різного роду задач забезпечує гарвардська архітектура (рис. 3.23б). Вона передбачає розділену пам'ять програм і пам'ять даних з незалежними шинами, що дає можливість одночасного доступу процесора до команд і до даних, на відміну від Фон-Нейманівської архітектури, забезпечуючи швидке виконання більшості операцій за один машинний такт, що є важливим при реалізації алгоритмів цифрового опрацювання сигналів.

а)

б)

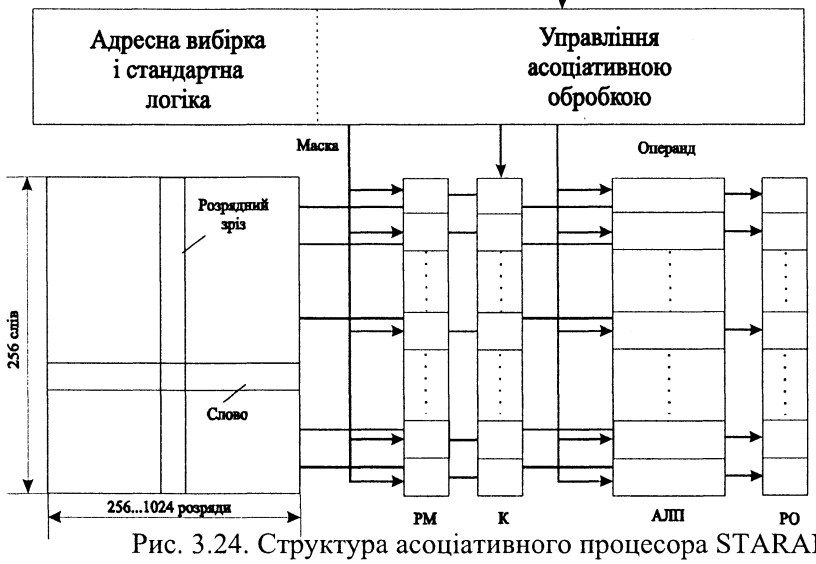
Рис. 3.23. Архітектура процесорів цифрового опрацювання даних.

Представлені архітектури є базовими для проектування та побудови процесорів залежно від класу задач та системних вимог проектування СКС.

3.3.1. Архітектури процесорів послідовного та послідовно-паралельного типу.

До цього класу послідовних архітектур належать класичні послідовні процесори Фон-Нейманівського типу, що дозволяють обробляти тільки один потік послідовно виконуваних команд, наприклад PDP-11, VAX 11/780, де обробляється тільки один потік команд, всі команди виконуються послідовно одна за одною, і кожна команда ініціює одну операцію з одним потоком даних. За класифікацією Фліна, даний тип архітектури визначається, як одиночний потік команд і одиночний потік даних SISD (single instruction stream / single data stream).

Асоціативні – асоціативний спосіб опрацювання даних дозволяє подолати багато обмежень, що притаманні адресному доступу до пам'яті, за рахунок деякого критерію вибірки та проведення необхідних перетворень тільки над тими даними, що відповідають певному критерію. Критерієм відбору може бути співпадіння з будь-яким елементом даних, достатнім для виділення необхідних даних з існуючих. Такі процесори містять велику кількість операційних пристроїв, що здатні одночасно по командах керуючого пристрою проводити опрацювання декількох потоків даних. В асоціативних процесорах інформація на опрацювання поступає від асоціативних запам'ятовуючих пристроїв, які характерні тим, що інформація в них вибирається не по адресі, а по її змісту. Прикладом асоціативного процесора є STARAN (рис.3.24).



РМ – регістр маски;
К – вхідний регістр;
АЛП – арифметико-логічний пристрій;
РО – вихідний регістр;

Рис. 3.24. Структура асоціативного процесора STARAN.

Даний клас процесорів має просту структуру послідовного типу і використовується для рішення простих задач, що не потребують високої швидкодії.

Архітектури послідовно-паралельного типу мають процесори з організацією SIMD та MISD типу: багатомірний потік команд і одинарний потік даних та одинарний потік даних і багатомірний потік команд.

SIMD – процесори векторного типу, в яких всі елементи одночасно виконують одну команду над різними даними – однократний потік команд над багатократним потоком даних. Такі системи, як правило, мають велику кількість процесорів, в межах від 1024 до 16384, що можуть виконувати одну і ту ж інструкцію над різними потоками даних в жорсткій послідовності. Процесорами, що будуються по принципу SIMD, є: асоціативні, векторні, потокові.

Всі процесори цього класу потенційно можуть асоціативно обробляти дані, проте в процесорах широкого застосування такі властивості не є явно вираженими. Тоді для прискорення спеціальних видів асоціативного опрацювання вводяться додаткові засоби, що називаються асоціативними матрицями.

3.3.2. Векторні, потокові та конвеєрні архітектури процесорів.

Векторні – процесори, в основі яких лежить векторне опрацювання даних. Векторне опрацювання збільшує продуктивність процесора за рахунок опрацювання цілого набору даних однією командою (рис.3.25). Векторні процесори маніпулюють масивами даних подібно, як скалярні машини обробляють окремі елементи таких масивів. Тоді кожен елемент вектора потрібно розглядати, як окремий елемент потоку даних. При роботі в векторному режимі векторні процесори обробляють дані практично паралельно, що робить їх в декілька раз швидкодіючими, ніж при роботі в скалярному режимі.

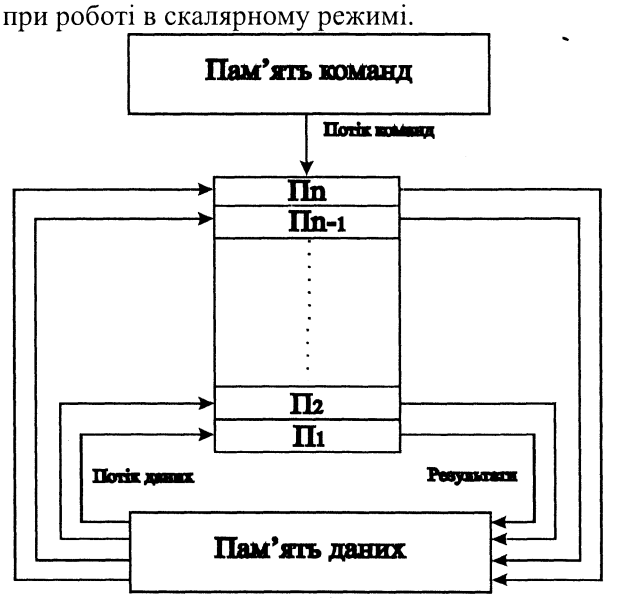


Рис. 3.25. Структура векторного процесора.

Максимальна швидкість передавання даних у векторному форматі може сягати 64 Гб/с, що на 2 порядки вище, ніж в скалярних машинах. Прикладом процесорів векторного типу є процесори фірм NEC, Hitachi.

Потокові – процесори, в основі роботи яких лежить принцип опрацювання багатьох даних за допомогою однієї команди, що дозволяє проводити одну і ту ж операцію додавання і множення над декількома масивами чисел одночасно. Такі операції для чисел подвійної точності з плаваючою крапкою прискорюють роботу ресурсомістких задач, тривимірного рендерінгу і т.д. Потоковий процесор підвищує загальну продуктивність, що особливо є важливим для опрацювання сигналів в режимі реального часу.

Може бути окремий потоковий процесор (Single-streaming processor – SSP) або багатопотоковий процесор (Multi-Streaming Processor - MSP).

Яскравим прикладом потокових процесорів може бути сімейство процесорів Intel, починаючи з Pentium III, в основі яких закладено технологію Streaming SIMD Extensions (SSE, потокове опрацювання по принципу "одна команда – багато даних"). Ця технологія дозволяє виконувати такі ресурсомісткі операції, як опрацювання мови, цифрова фільтрація, спектральний та кореляційний аналіз, кодування і декодування відео, розробка тривимірної графіки та опрацювання зображень.

Представниками процесорів даного класу є матриці процесорів: ILLIAC, IV, ICL, DAP, Goodyear Aerosoace MPP, Connectio Machine-1. В таких системах один керуючий пристрій контролює більшість процесорних елементів. Кожен процесорний елемент отримує від пристрою керування в фіксований момент часу однакову команду і виконує її над локальними даними.

Типовим представником даної класифікації є MISD – багатовимірний потік команд і одинарний потік даних (рис. 3.26). Дана архітектура характеризується наявністю багатьох процесорів, що обробляють один потік даних.

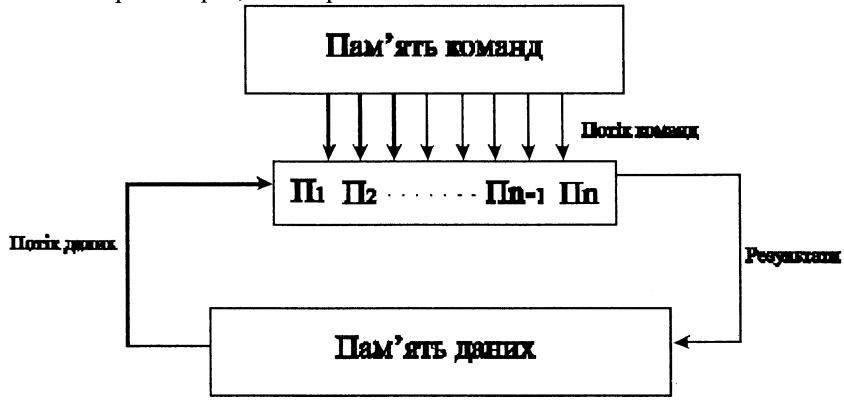


Рис. 3.26. Структура конвеєрного мікропроцесора MISD.

В конвеєрних процесорах на різних стадіях оброблення інформації одночасно знаходяться команди з різними кодами операцій. Конвеєрні процесори можуть містити тільки конвеєр команд, проте в процесорах з плаваючою крапкою часто включають і арифметичні блоки. Для виконання векторних операцій на конвеєрному процесорі на вхід потрібно подавати один код операції. Як приклад

конвеєрного процесора, розглянемо структуру мікропроцесора типу CISC "Пентіум" з сімейства МП 80x86 (рис.3.27).

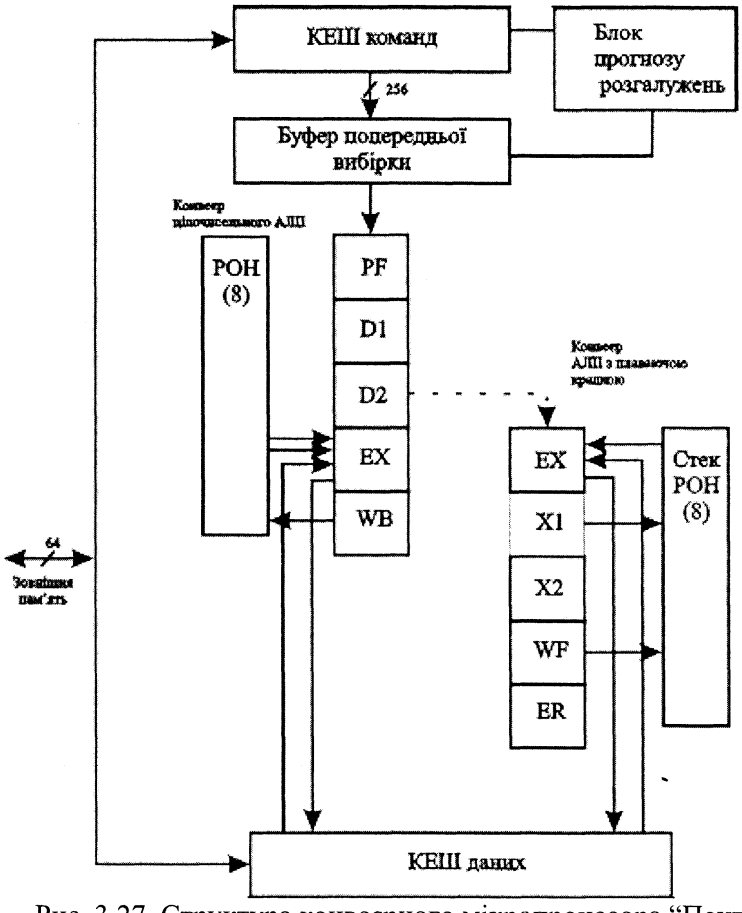


Рис. 3.27. Структура конвеєрного мікропроцесора "Пентіум".

Даний мікропроцесор складається з двох конвеєрів: цілочисельного та з плаваючою крапкою.

Цілочисельний конвеєр містить такі блоки:

- блок переробки PF (Prefetch) , що здійснює попередню превентивну вибірку групи команд у відповідний буфер;
- блок декодування полів команди D1 (Decoder 1) ;
- блок декодування D2, в якому проводиться визначення абсолютного адреса операнду, якщо операнд розміщений в пам'яті;
- блок виконання EX (Execution) , де проводиться вибірка операндів з регістрів загального призначення або з пам'яті і виконання операції в АЛП;
- блок запису результату WR (Write Back), в якому виконується передача отриманого результату в блок регістрів загального призначення.

Конвеєр з плаваючою крапкою має спільні з цілочисельним конвеєром блоки PF, D1, D2, але окрім цього, має ще п'ять додаткових блоків:

- в блоці EX виконується зчитування з пам'яті або регістрів чи запис у пам'ять;
- в блоці X1 виконується частина операцій з плаваючою крапкою або запис в регістри;
- в блоці X2 виконується продовження операції з плаваючою крапкою;
- в блоці WF виконується округлення і зворотній запис результату в регістр;
- в блоці ER (Error Reporting) виводиться повідомлення про наявність помилок.

Найбільша продуктивність конвеєра досягається тоді, коли за кожен такт на вхід поступає нова команда, а на виході отримується новий результат.

3.3.3. Паралельні та матричні архітектури спецпроцесорів.

Даний тип архітектури за класифікацією Фліна передбачає, що всі процесори системи працюють по своїх програмах з власним потоком команд типу: багатомірний потік команд і багатомірний потік даних MIMD (multiple instruction stream / multiple data stream). В найпростішому варіанті вони можуть бути автономними і незалежними. Даний клас архітектури представлений дуже широким набором різних типів процесорів.

Матричні процесори – з даним поняттям пов'язують три різних характеристики: спосіб організації даних, спосіб організації пристроїв, клас вирішуваних задач (рис. 3.28).

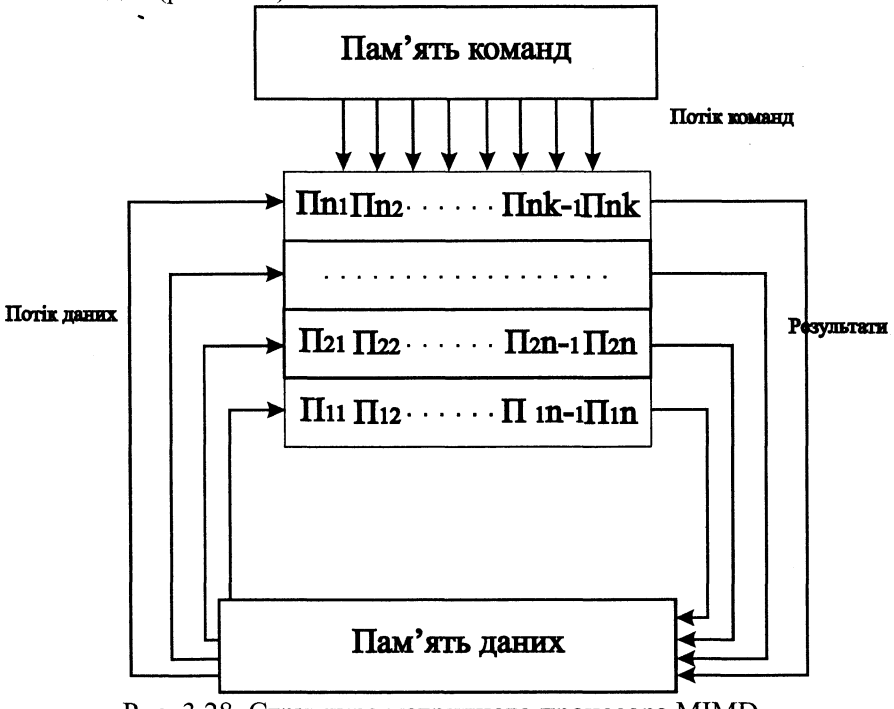


Рис. 3.28. Структура матричного процесора MIMD.

В практиці проектування елементів обчислювальної техніки під матричним процесором MIMD розуміється пристрій, що призначений, в основному, для виконання операції множення та сумування. Такий матричний процесор функціонує на основі арифметичного конвеєра і відрізняється від послідовно-паралельних архітектур SIMD і MISD, описаних вище, тим, що для зменшення вартості і спрощення програмування арифметичний конвеєр значно вкорочений і конструктивно виконаний у вигляді автономного блоку. Останній під'єднується через стандартні канали вводу/виводу до базового керуючого блоку. Власною оперативною пам'яттю матричний процесор не володіє, а програми і дані розміщуються в зовнішній пам'яті базового модуля (БМ).

Спосіб підключення матричного процесора до БМ і його структура представлено на рис. 3.29. Матричний процесор замість одного з каналів прямого доступу підключається на зовнішню шину і містить регістри для управління адресом оперативної пам'яті, буферні регістри для тимчасового зберігання даних БХ, БU, БY і двоступеневий АЛП.

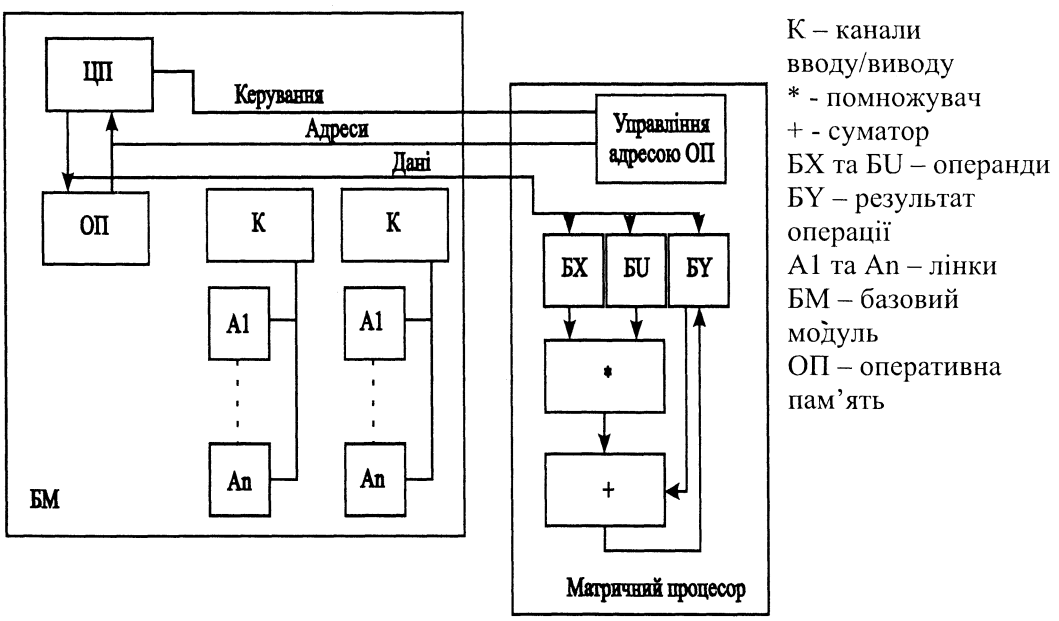


Рис. 3.29. Спосіб підключення і структура матричного процесора.

Команда матричного процесора (рис.3.30) складається з чотирьох слів по 8 байт кожне. Опис масивів операндів X, U, Y визначає початкову адресу кожного масиву, крок руху по масиву і довжину масиву. Поле "формат" вказує тип операндів (цілі числа, з плаваючою крапкою). Перше слово команди матричного процесора має структуру стандартної команди обміну даними, проте призначення полів дещо інше. Так, поле "КОП" задає код арифметико-логічної операції над масивами X, U; поле "Адрес опису масивів" задає початкову адресу опису масивів в оперативній пам'яті, поле "Довжина опису" – його довжину.

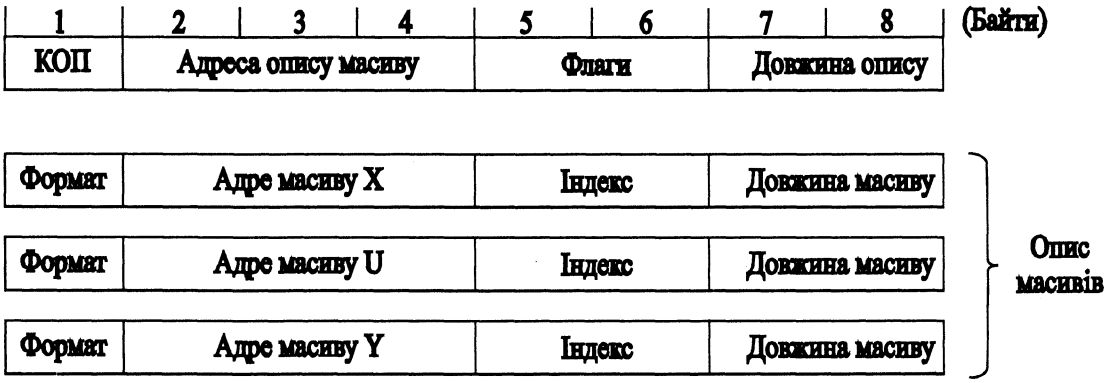


Рис. 3.30. Структура команди матричного процесора.

Програмування для матричного процесора полягає в тому, що в програму для БМ вставляються в потрібних місцях команди матричного процесора, які мають вигляд:

CALL APAM <код операції, опис масивів >

Це означає, що будь-яка команда матричного процесора еквівалентна певній програмі. Якщо в процесі виконання програми в БМ зустрічається команда CALL APAM, в матричний процесор передається інформація про адреси масивів X, U, Y, після чого матричний процесор самостійно генерує адресу оперативної пам'яті (ОП) , вибирає з ОП в БХ, БU операнди і розміщує в ОП з БY результати. Після виконання команди матричного процесора центральний процесор продовжує виконання основної програми.

Таким чином, вище описані типи архітектур процесорів мають різні системні характеристики, специфіку програмування, використання спільних ресурсів і т.д.

SISD і MISD архітектури використовують спільну оперативну пам'ять, звернення до якої відбувається через системну шину. Один простір оперативної пам'яті значно спрощує програмування за рахунок більш зручних механізмів синхронізації між задачами. Проте з ростом кількості процесорів наявність спільної пам'яті призводить до зростання навантаження на системну шину, що може привести до виходу системи з робочого стану, тобто стане неможливим якісний обмін даними між оперативною пам'яттю і процесорами в потрібному темпі. Використання локальної кеш-пам'яті в кожному процесорі частково вирішує проблему. Але незалежно від наявності локальної кеш-пам'яті системна шина все-таки є вузьким місцем даної архітектури при 8 і більше процесорах.

SIMD і MIMD архітектури дозволяють уникнути проблем з системною шиною за рахунок відсутності спільної для всіх процесорів оперативної пам'яті. Кожен процесор забезпечується власною локальною пам'яттю. Щоб здійснити доступ до локальної пам'яті іншого процесора, використовуються мережі зв'язку, об'єднуючи процесори в систему. Таким чином, в паралельній архітектурі вдається зменшити навантаження на шину, що веде до локальної пам'яті процесорів, оскільки в даному випадку вона обслуговує тільки запити на доступ саме до цієї

пам'яті, а не кожен запит на доступ до спільної оперативної пам'яті. Це дозволяє проектувати системи, що об'єднують сотні і навіть тисячі процесорів.

Основним недоліком паралельної архітектури є складність в програмуванні, особливо для задач, яким необхідна пам'ять, що перевищує розмір локальної пам'яті одного процесора. Також виникають проблеми з синхронізацією процесорних елементів, при здійсненні паралельними шляхами рішення задачі процесорами, що розділені значною відстанню в мережі зв'язку.

В загальному, сучасна технологія обчислень опирається на два типи паралелізму: крупноблочний і дрібнозернистий. Даний поділ є досить умовним, проте дозволяє класифікувати систему за певним набором системних характеристик.

Крупноблочний паралелізм притаманний обчислювальним системам, що складаються з невеликої кількості потужних процесорів, об'єднаних зв'язками певного типу.

Дрібнозернистий паралелізм характерний для систем, які складаються з великої кількості відносно простих процесорних елементів. Зв'язки між процесорними елементами регулярні і дуже часто організовані по принципу близькодії. Як правило, такі системи вузько спеціалізовані. Характерними рисами систем такого типу є: елементарність і скороченість окремої обчислювальної операції, приблизно однакова інтенсивність обчислень та обміну даними.

3.3.4. Архітектури процесорів за класифікацією Шора.

Класифікація Дж.Шора є спробою виділення типових способів компоновки обчислювальних систем на основі фіксованого числа базисних блоків: пристрою управління, арифметико-логічного пристрою, пам'яті команд і пам'яті даних. Додатково передбачається, що вибірка з пам'яті даних може здійснюватися словами, тобто вибираються всі розряди одного слова, або бітовим шаром - по одному розряду з однієї і тієї ж позиції кожного слова (горизонтальною і вертикальною вибірками). Згідно класифікації Шора, всі комп'ютери розбиваються на шість класів, які так і називаються: машина типу I, II і т.д.

Машина I - це обчислювальна система, яка містить пристрій управління, арифметико-логічний пристрій, пам'ять команд і пам'ять даних з послівною вибіркою (рис.3.31.).

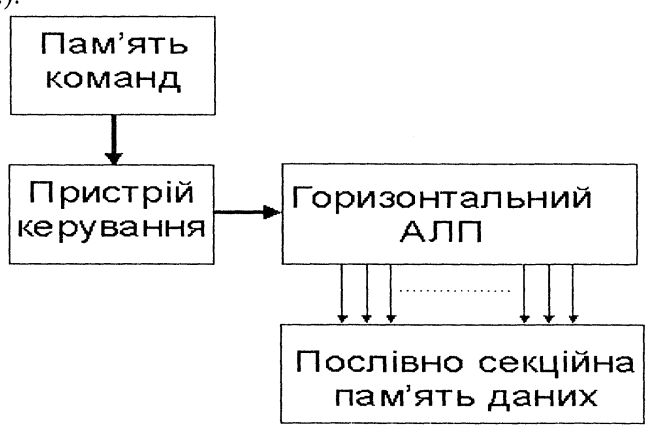


Рис. 3.31. Структура машини I.

Зчитування даних здійснюється вибіркою всіх розрядів деякого слова для їх паралельного опрацювання в АЛП. Склад АЛП не розкривається, що допускає наявність декількох функціональних пристроїв конвеєрного типу. В даний клас потрапляють як класичні послідовні машини (IBM 701, PDP-11, VAX 11/780) , так і конвеєрні скалярні (CDC 7600) і векторно-конвеєрні (CRAY-1).

Якщо в машині I здійснювати вибірку не по словах, а по вмісту одного розряду зі всіх слів, то отримаємо машину II (рис.3.32).

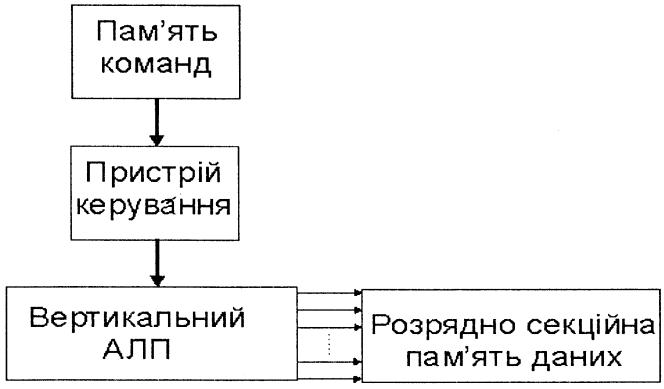


Рис. 3.32. Структура машини II.

Слова в пам'яті даних розташовуються горизонтально, але доступ здійснюється інакше. Якщо в машині I відбувається послідовне опрацювання слів при паралельній обробці розрядів, то в машині II - послідовне опрацювання бітових шарів при паралельній обробці безлічі слів.

Структура машини II лежить в основі асоціативних процесорів (наприклад, центральний процесор машини STARAN), причому фактично такі процесори мають не один АЛП, а множину порівняно простих пристроїв порозрядного опрацювання. Іншим прикладом є матрична система ICL DAP, яка може одночасно обробляти по одному розряду з 4096 слів.

При об'єднанні принципів побудови машин I і II отримаємо машину III (рис.3.33.).

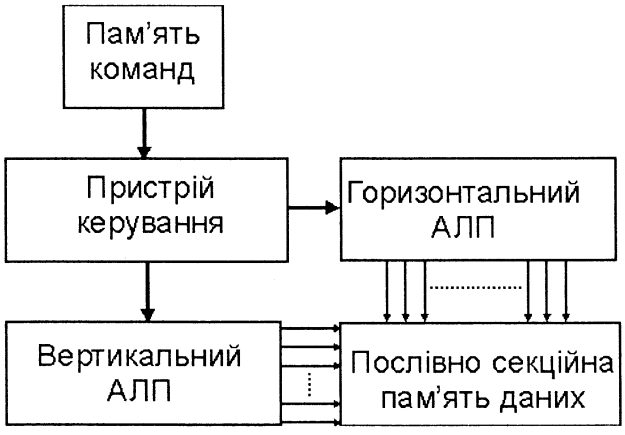


Рис. 3.33. Структура машини III.

Ця машина має два АЛП (горизонтальний і вертикальний) і модифіковану пам'ять даних, яка забезпечує доступ як до слів, так і до бітових шарів. Вперше ідею побудови таких систем у 1960 році висунув У.Шуман, що називав їх ортогональними, якщо пам'ять представляти як матрицю слів, то доступ до даних здійснюється не в напрямі "ортогональному" традиційному, тобто - не по словах - рядках, а по бітових шарах - стовпцях. В принципі, як машину STARAN, так і ICL DAP можна запрограмувати на виконання функцій машини III, але оскільки вони не мають окремих АЛП для опрацювання слів і бітових шарів, віднести їх до даного класу не можна. Повноправними представниками машин класу III є обчислювальні системи сімейства OMEN-60 фірми Sanders Associates, побудовані в прямій відповідності з концепцією ортогональної машини.

Якщо в машині I збільшити число пар АЛП <==> пам'ять даних (іноді цю пару називають процесорним елементом), то отримаємо машину IV (рис.3.34).

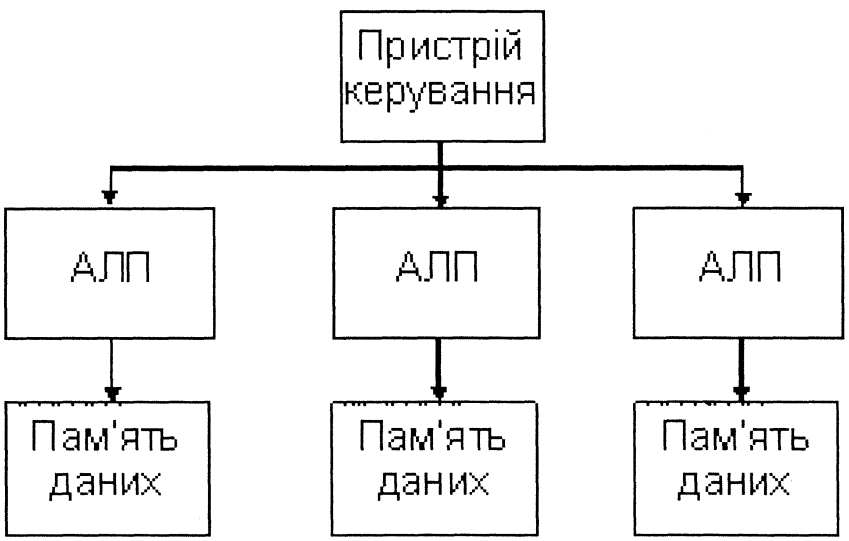


Рис. 3.34. Структура машини IV.

Єдиний пристрій управління видає команду за командою відразу всім процесорним елементам. З одного боку, відсутність з'єднань між процесорними елементами робить подальше нарощування їх кількості відносно простим, але з іншого, дуже обмежує застосування машин цього класу. Таку структуру має обчислювальна система PEPE, що об'єднує 288 процесорні елементи.

Будь-який процесорний елемент тепер може звертатися до даних як в своїй пам'яті, так і в пам'яті безпосередніх сусідів. Подібна структура характерна, наприклад, для класичного матричного комп'ютера ILLIAC IV.

Якщо ввести безпосередні лінійні зв'язки між сусідніми процесорними елементами машини IV, наприклад, у вигляді матричної конфігурації, то отримаємо схему машини V (рис.3.35).

Машини з I-ї по V-у архітектури дотримуються концепції розділення пам'яті даних і АЛП, припускаючи наявність шини даних або якого-небудь комутуючого елементу між ними.

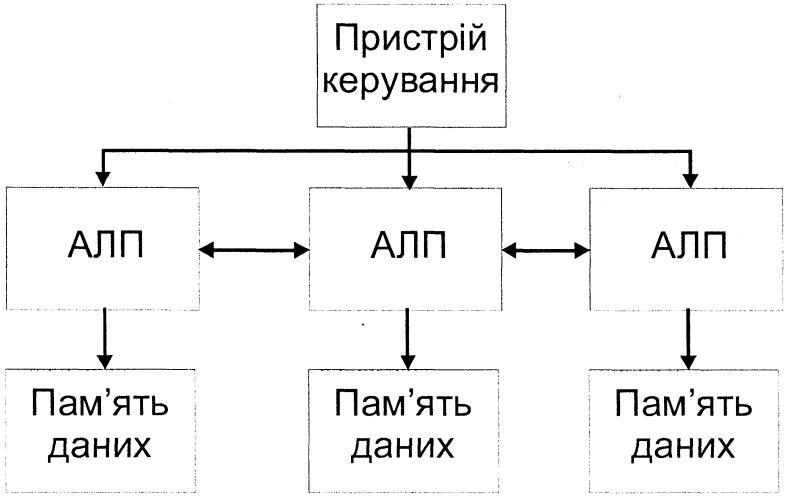


Рис. 3.35. Структура машини V.

Машина VI (рис.3.36.) , названа матрицею з функціональною пам'яттю (або пам'яттю з вбудованою логікою), реалізує інший підхід, що передбачає розподіл логіки процесора по всьому пристрою пам'яті.

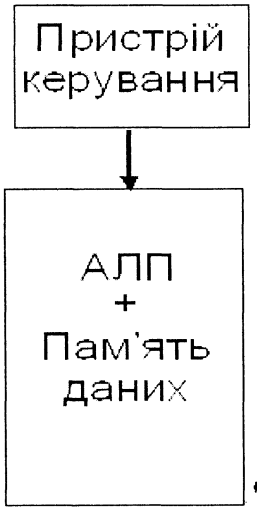


Рис. 3.36. Структура машини VI.

Прикладами таких машин можуть бути як прості асоціативні пристрої, що запам'ятовують, так і складні асоціативні процесори.

Проведена оцінка характеристик процесорів формування та цифрового опрацювання даних провідних фірм виробників за класифікацією Шора дозволяє визначити перспективи їх використання при проектуванні спецпроцесорів проблемно-орієнтованих комп'ютерних систем.

3.3.5 Процесори на основі вертикальної інформаційної технології.

Сучасні досягнення мікроелектроніки забезпечують тактові частоти роботи

процесорів до 10 Ггц, що дозволяє розглянути розвиток архітектур процесорів і, особливо, спецпроцесорів на основі BIT, яка передбачає реалізацію біт-орієнтованих потоків кодів команд та адресів пам'яті процесора. У загальному випадку чіп такого процесора може включати не більше 8 зовнішніх з'єднань (рис.3.37), які включають біт-орієнтовані шини: Y- управління; A- адреса; D-даних; та C/S – вибір кристала ; W/V пристрій вводу-виводу.

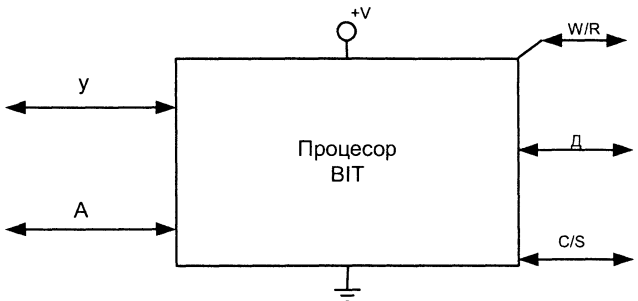


Рис.3.37. Структура зовнішньо-інформаційних зв'язків BIT процесорів.

Особливістю реалізації BIT є використання рекурентного числового базису Галуа, який характеризується рекурентними властивостями. При цьому, як показано на рис.3.38 можлива ефективна реалізація адресного регістра процесора у вигляді генератора послідовності кодів Галуа.

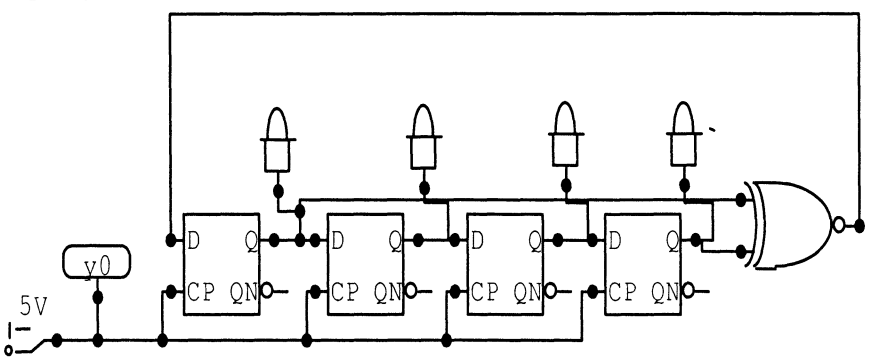


Рис.3.38. Структура генератора кодів Галуа на основі регістра із зворотнім логічним зв'язком y0) R2:= 24-1;

Тому потрібно використовувати код Галуа, який є рекурентним. Незважаючи на те, що код Галуа є непозиційним, в цьому коді існує правило операції рекурсивного зсуву, яке дозволяєь виконувати арифметичні дії та обчислення над двійковими числами – полями кодів.

При цьому потік адресних кодів виконання команд процессора змінюється біт-орієнтованими потоками коду Галуа. При виконанні операцій інкрементування і декрементування код Галуа є найефективніший, оскільки дані операції виконуються шляхом виконання операцій зсуву – паралельно у всіх розрядах за один такт. А звідси випливає можливість реалізовувати швидкодіючі прямі алгоритми обчислень, що зумовлені простотою апаратної реалізації.

Контрольні запитання і завдання.

1. Назвіть класи архітектур СКС.
2. Класифікуйте архітектури СКС концентрованої обробки даних.
3. Класифікуйте архітектури СКС розподіленого опрацювання даних.
4. Охарактеризуйте архітектури СКС з безпровідними електромагнітними каналами.
5. Систематизуйте архітектури СКС з оптичними каналами зв'язку.
6. Яка ефективність монопольних СКС.
7. Порівняйте характеристики СКС монопольного та розподіленого часу.
8. Вкажіть особливості мультипрограмних та мультипроцесорних СКС.
9. Якими недоліками характеризуються однорівневі архітектури СКС?
10. Якими перевагами характеризується шинно-магістральна СКС?
11. Вкажіть характеристики зіркової топології СКС.
12. Визначіть переваги та недоліки кільцевих архітектур СКС.
13. Які характеристики ефективності систолічних архітектур СКС?
14. Перечисліть характеристики архітектур СКС з волоконно-оптичними лініями зв'язку.
15. Вкажіть переваги та недоліки ієрархічних архітектур СКС.
16. Назвіть компоненти багаторівневих магістральних СКС.
17. Поясніть характеристики пам'яті колективного доступу зірково-магістральних архітектур СКС.
18. Назвіть класи та характеристики архітектур безпровідних СКС на основі радіоканалів.
19. Класифікуйте СКС з відкритими оптичними каналами.
20. Поясніть властивість емерджентності мережевих архітектур СКС.
21. Назвіть компоненти процесора цифрового опрацювання даних.
22. Поясніть структуру процесора вводу-виводу.
23. Назвіть класи процесорів цифрового опрацювання даних.
24. Якими характеристиками описується асоціативний спосіб опрацювання даних?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 3 РОЗДІЛУ.

1. Анисимов А.В. Конвейерное вычисление элементарных функций по методу цифра за цифрой// Известия ЛЭТИ: сб.науч.тр.: -Л. – 1991. – Вып.438. – С. 20-23.
2. Ахо Альфред, В. Хопкрофт, Джон, Ульман, Джеффри Структуры данных и алгоритмы.: Пер.с англ.: М.: Издательский дом "Вильямс", 2001.- 384с.
3. Балашов Е.П. и др. Высокопроизводительные специализированные процессоры для вычисления элементарных функций // Электронное моделирование. - 1983. - № 4 - С. 61-65.
4. Бердышев Е. Технология ММХ. Новые возможности процессоров Р5 и Р6.- М.:ДИАЛОГ-МИФИ, 1998.- 234 с.
5. Брамм П., Брамм Д. Микропроцессор 80386 и его программирование. - М.: Мир, 1990.- 448 с.

   Буров Є. Комп'ютерні мережі. – Львів: БаК, 1999. – 468 с.
6. В.И. Гриценко, Е.А. Котиков, А.А. Урсатьев и др. Модель распределенной информационной системы широкого применения // УСиМ.-1999.-№5- С.32.-42.
7. Григорьев В.Л. Микропроцессор i486. Архитектура и программирование: - кн. 1-4. - М.: ГРАНАЛ, , 1993.
8. Гриценко В.И., Урсатьев А.А. Распределенные информационные системы. Состояния. Перспективы развития // Управляющие системы и машины. №4. 2003. С.11-21.
9. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК: Энциклопедия .- СПБ.: Питер, 2003 .- 528 с.
10. Гук М. Процессоры P-II, P-Pro и просто Pentium. С-Пб.: Питер Ком, 1999.- 288 с.
11. Гук М., Юров В. Процессоры Pentium 4, Athlon и Duron.- СПб.: Питер, 2001.- 512 с.
12. Гулямов С.С., Зайнидинов Х.Н. Синтез параллельно-конвейерных вычислительных структур для выполнения быстрых преобразований Хаара.// Методы и модели систем обработки. - Сб. научн. трудов НПО "Кибернетика" АН РУЗ. Ташкент. -1994. - С.124-127.
13. Дэвис Д., Барвер А., Прайс У. и др. Вычислительные сети и сетевые протоколы.- М.: Мир, 1982.- 196 с.
14. Жаровский С.Н. Сетевая организация распределенных систем управлення.- К.: И-во "Знание", 1990.- 23 с.
15. Каляев А.В. Многопроцессорные системы с перестраиваемой архитектурой. - М.: Радио и связь, 1984. - 240 с.
16. Корнеев В. В., Киселев А. В. Современные микропроцессоры. -М.: НОЛИДЖ, 1998. - 240 с.
17. Корнеев В.В. Паралельные вычислительные системы. - М.: Нолидж, 1999. - 320 с.
18. Коуги П.М. Архитектура конвейерных ЭВМ: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1985. - 360 с.

19. Майоров С.А., Новиков Г. И. Принципы организации цифровых машин. Л., Машиностроение, 1974.- 432с.
20. Марков С. Цифровые сигнальные процессоры. Книга 1. -М.: фирма МИКРОАРТ, 1996.- 144 с.
21. Мартин Дж. Системный анализ передачи данных.-- М.: Мир, 1975 - 256с.
22. Микропроцессорные вычислительные системы обработки информации: проектирования и отладка / А.В. Палагин, Е.Л. Денисенко, Р.И. Белицкий, В.И. Вигалов. – К.: Наукова думка, 1993. – 352с.
23. Николайчук Я.М. Низові обчислювальні мережі: Учбовий посібник.–К:УМК ВО, 1990.– 64с.
24. Николайчук Я.М. Теорія цифрових перетворень мультибазисного супершвидкодіючого процесора // Научно-теоретический журнал "Искусственный интеллект". ІПШІ МОН і НАН України "Наука і освіта". – 2008. - №4. – С.387-394.
25. Николайчук Я.М., Круцкевич Н.Д. Перспективи використання зірково - магістральної архітектури з пам'яттю колективного доступу в комп'ютерних мережах з глибоким розпаралелюванням // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць- Хмельницький: ТУП, - 2002. -Т2. - №9. - С. 122 –126.
26. Озкарахан З. Машины баз данных и управление базами даных: Пер. с анг.- М.: Мир, 1989.- 696 с.
27. Остапенко А. Г., Лавлинский С. И., Сушков А. В. и др. Цифровые процессоры обработки сигналов: Справочник. / Под ред. А. Г. Остапенко. - М.: Радио и связь, 1994. - 264 с.
28. Палагин А.В., Николайчук Я.Н. Опыт разработки микропроцессорных распределенных систем реального времени.- К.: Знание, 1988.- 19 с.
29. Палагин А.В., Яковлев Ю.С. Системная интеграция средств компьютерной техники: Монографія. – Вінниця: УНИВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 680с.
30. Ракощиц В.С., Козлов А.В., Можаев И.А. и др. Специализированные микропроцессоры, реализующие быстрые преобразования // Цифровая обработка сигналов: сб. статей. - М.: Наука, 1981. - С. 206-217.
31. Садыхов Р.Х., Чеголин П.М., Шмерко В.П. Методы и средства обработки сигналов в дискретных базисах. – Мн.: Наука и техника, 1987. - 296 с.
32. Справочник по цифровой вычислительной технике: Процессоры и память / Б.Н. Малиновский, Е.И. Брюхович, Е.Л. Денисенко и др. / Под. ред. Б.Н. Малиновского. – К.: Техника, 1979. – 366с.
33. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети.: Пер. с англ. – М.: Издательський дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
34. Столлингс В. Структурная организация и архитектура компьютерных систем., 5-е изд.: Пер. с англ. - М.: Издательський дом "Вильямс", 2002. - 896с.
35. Хаусли Т. Системы передачи и телеобработки данных: Пер. с англ.– М.: Радио и связь, 1994.–456 с.
36. Хокни Р., Джессхоуп К. Параллельные ЭВМ. Архитектура, программирование и алгоритмы. М.: Радио и связь. 1986. 392 С.

37. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных.- М.: Финансы и статистика, 1985.-343 с.
38. Широчин В.П., Ху Чженбин. Средства сопровождения адаптивных комплексных систем защиты информации // Сб. трудов IV междунар. научно-практической конф. "Проблемы внедрения информационных технологий в экономике и бизнесе". – Ирпень. - 2003. – С. 661 – 664.
39. Digital Signal Processing Applications Using the ADSP-2100 Family, Vol. 1 and Vol. 2, Analog Devices, Free Download at: http://www.analog.com.
40. DSP Designer's Reference (DSP Solutions) CDROM // Analog Devices, 1999.
41. DSP Navigators: Interactive Tutorials about Analog Devices' DSP Architectures (Available for ADSP-218x family and SHARC family) : http://www.analog.com/industry/dsp/training/index.html.
42. Neto J.P., Siegelmann H.T., COSTA J.F., ARAUJO C.P.S. Turing Universality of Neural Nets (revisited). // Lecture Notes in Computer Science- 1333, Springer-Verlag. - 1997. - P. 361-366.
43. 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 // Proc. of International Conf. “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunicatioons and Computer Science”. (TCSET'2004). Lviv-Slavske (Ukraine).-2004.- P.417 – 419.
44. Shore J.E. Second Thoughts on Parallel Processing // Comput. - Elect. Eng. - N1. - P.95-109.

РОЗДІЛ 4

СТРАТЕГІЯ, КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЗАКОНИ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ СКС

4.1. Поняття та характеристики руху даних в СКС

Розвиток сучасних комп'ютерних систем та мереж супроводжується постійним зростанням потужності комп'ютерної та телекомунікаційної техніки, підвищенням швидкодії процесорів, вдосконаленням операційної системи, зменшенням собівартості та вартості мікроелектронного обладнання і т.д.

Одночасно успішно розвиваються методи моделювання руху потоків даних на основі матричних моделей, моделей теорії мережевих графів, а також моделей інтелектуального діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем.

При цьому актуальними є питання взаємозв'язку проблем економічної доцільності вдосконалення створюваних СКС та оптимізації процесів руху даних в середовищі їх компонентів.

В даному контексті під рухом даних вважаємо процедури, які виконуються над даними на всіх рівнях архітектури комп'ютерних мереж, включаючи низовий та адміністративний. Наприклад:

- формування даних на рівні сенсорів різних типів, включаючи інтелектуальні;
- аналого-цифрове кодування даних в різних теоретико-числових базисах (Радемахера, Крестенсона, Галуа та ін.);
- перетворення даних з метою їх захисту від помилок, зменшення надлишковості, захисту від несанкціонованого доступу, адаптації до процедур передавання різними каналами зв'язку;
- передавання даних, що включає формування стандартних фреймів протоколів та інтерфейсів зв'язку;
- приймання та цифрова обробка даних з метою підвищення завадозахищеності, виправлення помилок, декодування повідомлень, цифрова фільтрація сигналів, демонтаж пакетів даних;
- цифрова обробка та моделювання руху даних з метою побудови сімейства матричних та інших похідних моделей руху даних;
- реєстрація та демонстрація даних на різних носіях та засобах відображення з різними процедурами доступу до даних;
- архівація даних, яка включає процедури захисту баз даних та зменшення їх об'ємів.

4.2 Стратегія проектування СКС.

Теорія проектування комп'ютерних систем та мереж базується на ряді фундаментальних підходів та теоретичних положень, які охоплюють теорію мереж Петрі, теорію масового обслуговування, теорію ймовірностей та теорію великих систем. При цьому активно використовується методологія організації та проектування архітектури комп'ютерних систем, а також інформаційна технологія організації руху даних та побудови сукупності моделей руху даних КС.

Значний вклад в розвиток теоретичних положень проектування комп'ютерних систем та мереж внесли відомі зарубіжні вчені, зокрема, Уільямс Столлінс, Джеймс Мартін та Ендрю Таненбаум.

Розвитком теорії проектування розподілених комп'ютерних систем в Україні активно займається наукова школа під керівництвом О.В. Палагіна.

В той же час надзвичайна складність сучасних комп'ютерних мереж, особливо їх просторово–розподілених та проблемно–орієнтованих модифікацій, приводить до великого числа інваріантних рішень з слабою випуклістю максимумів оптимізаційних критеріїв, що ускладнює вибір оптимального варіанта на практиці.

Розроблена методологія та інформаційна технологія проектування комп'ютерних мереж на основі двохвимірних та трьохвимірних матричних моделей дозволяє диференціювати етапи проектування на два рівні:

1) оптимізаційне моделювання руху даних у вузлах матричної моделі ;

2) стратегічне проектування комп'ютерної мережі на основі евристичних підходів оптимізації параметрів двохвимірних та трьохвимірних моделей руху даних.

Даний підхід дозволяє суттєво звузити число інваріантних рішень, підвищити випуклість функцій оптимізаційних критеріїв, а також суттєво спростити інформаційну технологію проектування комп'ютерних мереж при врахуванні багатьох оптимізаційних факторів.

Кожен вузол ММ ідентифікується номером документа і обєкта $D_i \bullet O_j$, де i –номер документа, j –номер обєкта. При проектуванні комп'ютерної мережі на основі ММ на рівні окремих вузлів необхідно класифікувати типи задач технічного, інформаційного, організаційного та іншого забезпечення. Наприклад наявність: 1) приміщень для розміщення операторів та комп'ютерної техніки, які виконують функції вузла ММ; 2) комп'ютерного мережевого обладнання відповідної потужності (сервери, ПК, сканери, принтери, модеми та інше); 3) телекомунікаційного обладнання (кабельні лінії, репітори, ретранслятори, трансівери та інше); 4) обладнання низових рівнів мереж (інтелектуальні сенсори, АЦП, кодери, декодери та інше); 5) відповідного рівня підготовки операторів, в тому числі оснащених мобільними ПК; 6) стабільного енергоживлення (UPS, автономні джерела живлення та інше).

Запропонована еврістична стратегія проектування вузла комп'ютерної мережі включає три масиви вихідних даних, які отримуються шляхом аналізу готовності підприємства до впровадження окремих задач, які повинна реалізувати проектована мережа:

1) готовність підприємства до впровадження та реалізації конкретних задач (рис.4.1);

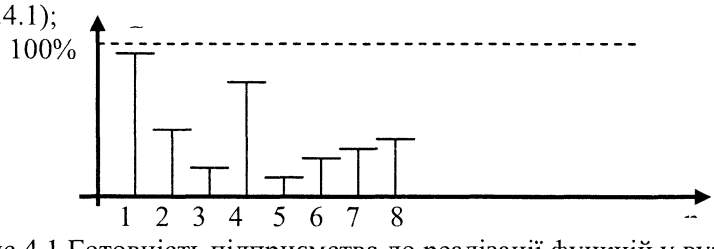


Рис.4.1 Готовність підприємства до реалізації функцій у вузлі матричної моделі

2) вартість постановки та запуску функцій вузла ММ (рис.4.2);

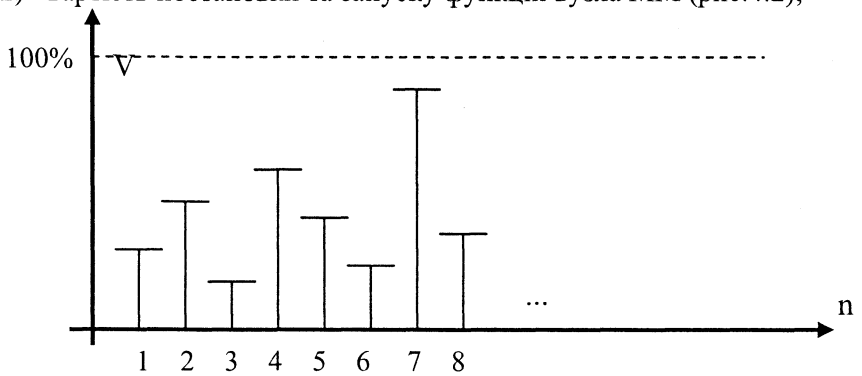


Рис.4.2. Вартість постановки та запуску функцій у вузлі ММ.

3) ефект від впровадження функцій вузла ММ (рис.4.3);

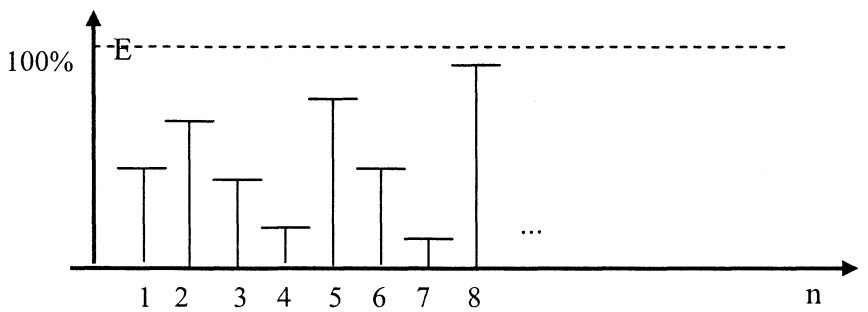


Рис.4.3. Економічний ефект від впровадження функцій вузла ММ.

4) затрати часу на реалізацію функцій вузла ММ (рис.4.4).

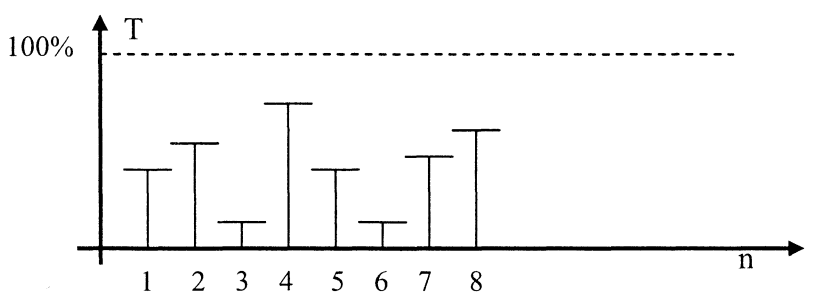


Рис. 4.4. Затрати часу на реалізацію функцій вузла ММ.

На основі вказаних масивів вихідних даних реалізується наступна стратегія проектування економічних характеристик вузлів матричної моделі:

1) визначається номер функції з максимальною готовністю підприємства до його реалізації згідно рис.4.2.;

2) визначається функція з максимальним економічним ефектом для досліджуваного підприємства;

3) виконується пункт 1 і рекуррентно процедури 1, 2 до моменту реалізації всіх функцій комп'ютерної мережі .

Формалізація даної стратегії має наступний вигляд:

$$\begin{cases} \max e.G_i;\ e.V_i = \text{var};\ e.P_i = \text{var}; \\ \max e.P_j;\ e.V_j = \text{var};\ e.G_j = \text{var}; \end{cases}$$

В результаті реалізації описаної стратегії оптимізації проектування вузла ММ в комп'ютерній мережі рис.4.1, 4.2, 4.3, отримаємо послідовність проектування запуску функцій вузла $D_i \bullet O_j$ комп'ютерної мережі у вигляді наступної послідовності виконання задач 1,8,4,5,2,6,7,3

$e.G$	1		4		2		7	
$e.P$		8		5		6		3

На основі отриманого алгоритму виконується побудова епюри собівартості затрат і прибутків при реалізації функцій в конкретному вузлі ММ, при цьому необхідно враховувати проектовані, регламентовані часові затрати на реалізацію конкретних функцій у вузлах ММ.

4.3. Закони доцільності та ефективності проектних рішень СКС.

У загальному випадку під законами економічної доцільності розуміють ряд критеріїв доцільності, які описуються системою характеристичних функцій та дозволяють оптимізувати РКС на основі законів: фрактальності; Гроша; max прибутку; якості; собівартості.

4.3.1. Закон Фрактальності.

Закон фрактальності, застосований до архітектури комп'ютерних мереж, встановлює співвідношення між мережею і підмережею, мережею і фрагментом мережі і описується рівнянням

$$\Phi = \frac{\Phi_{i+1}}{\Phi_i} = const\ , \qquad (4.1)$$

де Φ_{i+1}, Φ_i – відповідно – системні характеристики на границі двох рівнів комп'ютерної мережі.

На рис.4.5 показаний приклад реалізації закону фрактальності в комп'ютерній мережі, де 1 – глобальна мережа; 2 – локальна мережа; 3 – низова комп'ютерна мережа; 4 – користувач.

Виконання закону фрактальності передбачає не тільки ієрархію архітектури комп'ютерної мережі, але й можливість безпосереднього зв'язку користувача з глобальною мережею.

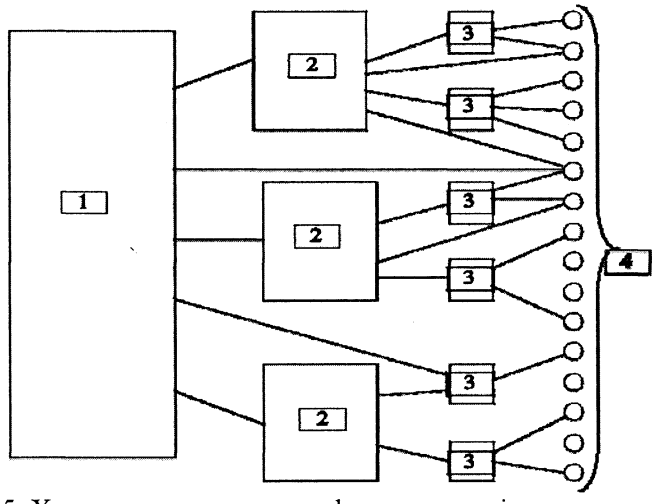


Рис.4.5. Характеристика закону фрактальності при проектуванні комп'ютерних систем.

4.3.2. Закон Гроша.

Закон Гроша встановлює співвідношення між системними характеристиками проектованої комп'ютерної мережі та системними характеристиками діючих мереж і виражається умовою:

$$G_{i+1}(T > T_0) \geq 2G_i(T > T_0), \tag{4.2}$$

де G_{i+1} G_i – відповідно – системні характеристики проектованої та діючих комп'ютерних мереж.

На рис.4.6 показаний приклад реалізації закону Гроша, де T_0 – момент часу зміни системних характеристик комп'ютерної мережі; B(T) – епюра економічних затрат, необхідних для покращення системних характеристик комп'ютерної системи.

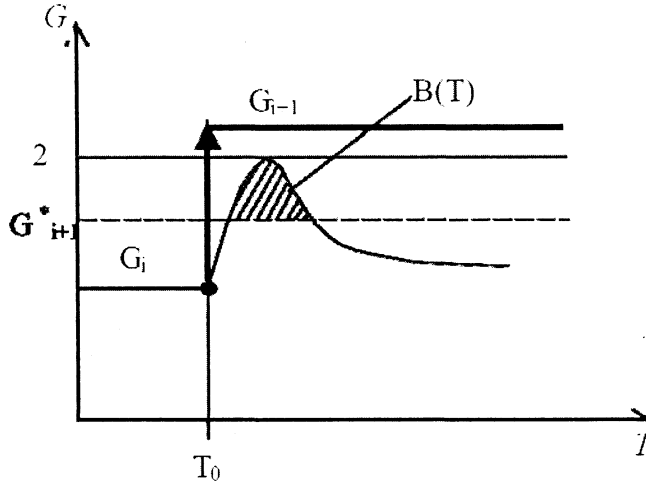


Рис.4.6. Характеристика закону Гроша

З рис.4.6 видно, що якщо G_{i+1} не задовільняє вираз (4.2), що показано пунктиром, G^*_{i+1}, то економічні затрати будуть перевищувати прибуток, і така зміна системних характеристик є економічно не доцільною і може привести до деградації комп'ютерної мережі та банкрутства фірми-виробника.

4.3.3. Закон максимального прибутку.

Закон max прибутку характеризує часові характеристики та конкуренцію впровадження проектованої комп'ютерної мережі (рис.4.7) і виражається рівняннями:

$$P(T_1)_{\max} > P(T_{i+1})_{\max}; \tag{4.3}$$

$$P(T_i)_{\max} = \int_{T_0}^{\infty} P(T)dT \ . \tag{4.4}$$

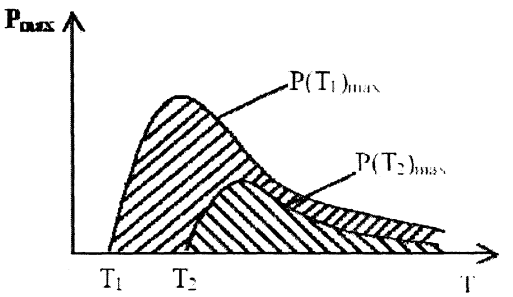


Рис.4.7. Характеристика закону max прибутку при однаковій потужності виробників нових засобів комп'ютерних мереж.

Дана характеристика закону max прибутку відповідає умовам обмеженої, приблизно однакової, потужності проектних організацій та організаторів масового випуску комп'ютерних мереж.

Зниження прибутків пропорційно часовому параметру відповідно моральному старінню комп'ютерного обладнання та ін.

При різній потужності проектних організацій та відповідних підприємств тиражування закон max прибутку має інший характер, який представлений на рис.4.8 та описується системою рівнянь (4.5):

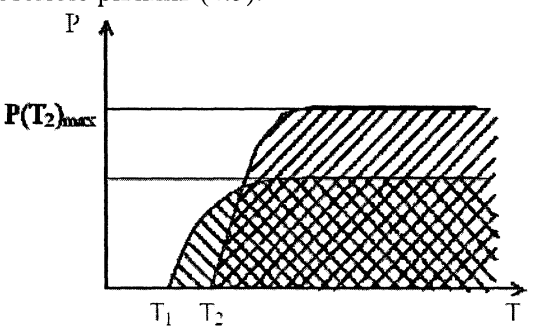


Рис.4.8. Характеристика закону max прибутку при різній потужності проектантів комп'ютерних мереж.

$$\begin{cases} P(T_1)_{\max} < P(T_2)_{\max} = const; \\ P(T_1)_{\max} = \int_{T_1}^{\infty} P(T_1)dT; \\ P(T_2)_{\max} = \int_{T_2}^{\infty} P(T_2)dT - \int_{T_2}^{\infty} P(T_1)dT. \end{cases} \quad (4.5)$$

4.3.4. Закон якості.

Закон якості характеризує системні характеристики комп'ютерних мереж на етапах їх розробки, освоєння виробництва, гарантійної експлуатації та післягарантійного використання. Даний закон описується системою рівнянь (4.6), представлений на рис.4.9 і відповідає розподілу Вейбула, який описує характеристики надійності комп'ютерної системи.

$$\begin{cases} Y(T_1) - Y^* = \min; \\ Y(T_1) > Y^*; \\ Y(T_1) - Y(T_2) = \min; \\ T(T > T_2) = \text{var}. \end{cases} \quad (4.6)$$

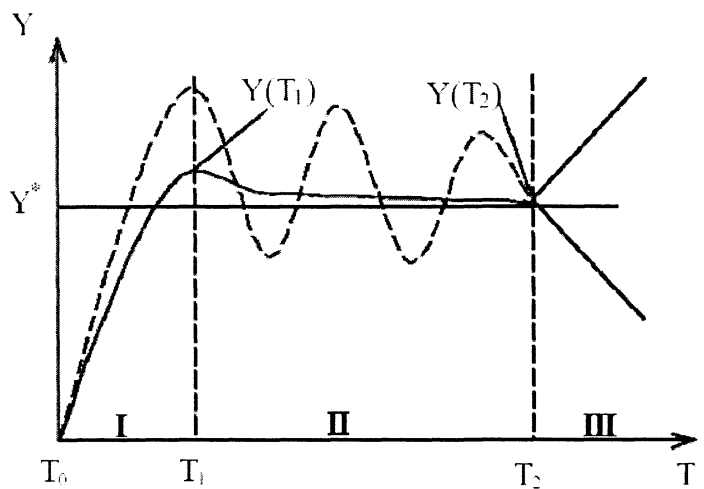


Рис.4.9. Характеристика закону якості.

На рис.4.9: I, II, III – відповідно функції якості на етапах проектування, гарантійної та післягарантійної експлуатації комп'ютерної мережі. Пунктиром показано характеристики підтримки якості при ремонтах та відновленні гарантійних функцій комп'ютерної мережі.

Суть закону якості полягає в тому, що на етапі проектування, освоєння виробництва нової комп'ютерної мережі, її системні характеристики повинні перевищувати світовий рівень якості на min величину, при цьому повинно забезпечуватися min перевитрат виробництва, а на етапі гарантійної експлуатації забезпечуватися min зниження системних характеристик комп'ютерної мережі. В післягарантійний період характеристики мережі не регламентуються.

4.3.5. Закон собівартості.

Закон собівартості визначає характер зміни собівартості створення та впровадження нових комп'ютерних мереж в залежності від умов зміни їх системних характеристик. В першому варіанті задається умова підтримки заданих системних характеристик комп'ютерної мережі при нарощуванні її виробництва та тиражуванні. Даний варіант закону собівартості описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} S(T) = const; \\ N(T) = \text{var}; \\ P(T) = (Z(T) - C(T)) * N(T). \end{cases} \quad (4.7)$$

На рис.4.10 показаний приклад реалізації закону собівартості.

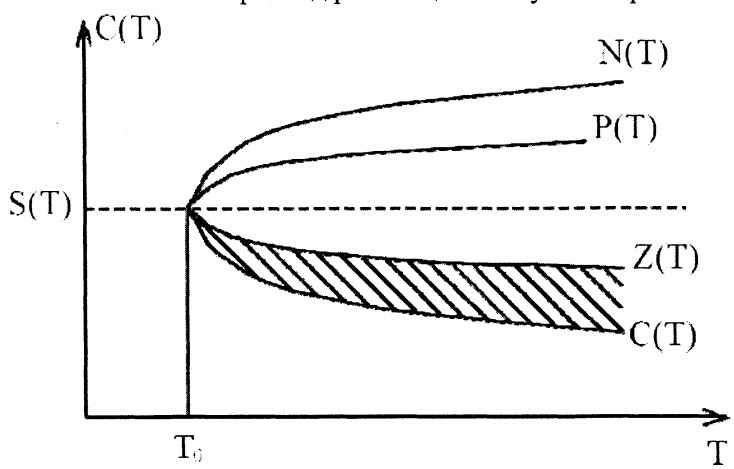


Рис.4.10. Характеристика закону собівартості (перша модифікація). S(T) – системні характеристики мережі; N(T) – об'єм виробництва; P(T) – прибутки; Z(T) – вартість мережі; C(T) – собівартість виробництва.

Собівартість виробництва визначається згідно виразу:

$$C_T = \sum_{i=1}^{m} C_i N_i ,$$

де m - кількість видів продукції підприємства;

C_i - повна собівартість і-го виду продукції підприємства;

N_i - обсяг випуску продукції і-го виду в натуральному вираженні.

Другий варіант закону собівартості (рис.4.11) визначається на основі проектованого покращення системних характеристик створюваних комп'ютерних мереж при незмінному об'ємі випуску і описується рівняннями:

$$\begin{cases} N(T) = const; \\ S(T) = \text{var}; \\ P(T) = (Z(T) - C(T)) * N(T). \end{cases} \quad (4.8)$$

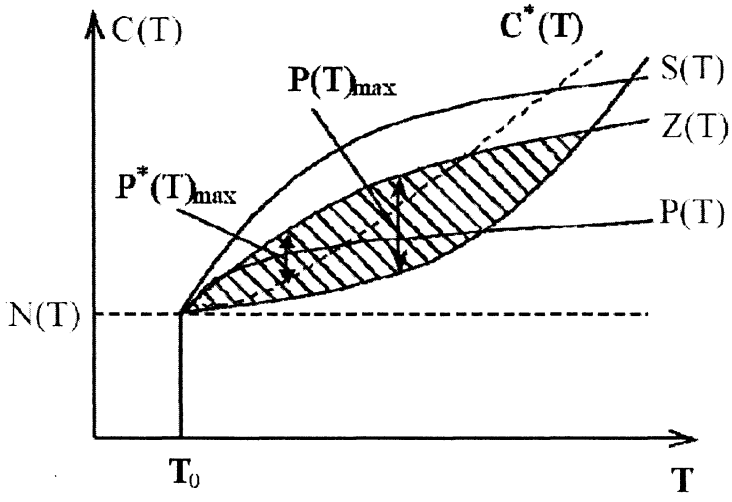


Рис.4.11. Демонстрація закону собівартості (друга модифікація).

З рис. 4.11 видно, що max прибуток виникає при max різниці між вартістю продажі і собівартістю виробництва комп'ютерної мережі. Очевидно, що при відсутності досконалої технології виробництва відмічається суттєве зростання собівартості виробництва С(Т), що показано на рисунку пунктиром. При цьому max прибутки $P^*(T)$ набагато менші від прибутків, досягнутих за рахунок досконалої технології, тобто $P^*(T)max << P(T)max$. Крім того, виробництво з низьким рівнем технології, в принципі, не може випускати комп'ютерні мережі з високим рівнем системних характеристик, інакше воно буде збитковим.

Слід зауважити, що впровадження нових технологій виробництва за рахунок винаходів та "ноу-хау" на рис.4.11 штрих-пунктир $C^0(T)$, то прибутки $P^0(T)$ будуть набагато більші по відношенню до P(T)max, і комп'ютерна мережа буде характеризуватися досконалими системними характеристиками.

Таким чином, викладені закони доцільності розробки та впровадження комп'ютерних мереж з покращеними системними характеристиками демонструють основні напрямки та базові можливості зростання їх економічної доцільності. При проектуванні комп'ютерних мереж та їх компонентів, особливо це стосується засобів формування ТЕД на основі викладених законів економічної доцільності, може бути ефективно використана технологія побудови матричних моделей руху даних, а також розроблена інформаційна технологія економічних епюр затрат і прибутків для кожного елементу матричних моделей.

Контрольні запитання і завдання.

1. Охарактеризуйте етапи проектування СКС в залежності від готовності, вартості, економічного ефекту, впровадження та затрат часу на реалізацію функцій у вузлах СКС.
2. Назвіть характеристики закону фрактальності та Гроша.
3. Якими характеристиками описується закон max прибутку?
4. Охарактеризуйте етапи та функції закону якості.
5. Опишіть модифікації закону собівартості.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 4 РОЗДІЛУ

1. Бунин С. Г., Войтер А.П. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью. – Киев: Техніка, 1989. – 223с.
2. Буров Є. Комп'ютерні мережі. – Львів: БаК, 1999. – 468 с.
3. Возна Н., Шандровська-Николайчук Л. Проблеми юриспруденції та інформаційна технологія проектування комп'ютерних мереж на основі законів економічної доцільності.- Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім.. Г.Є.Пухова НАН України.- Випуск 26.- Київ.- 2004.- С.33-40.
4. Возна Н.Я., Давлетова А.Я. Перспективні принципи кодування техніко-економічних даних в АСУ // Збірник тез доповідей третьої міжнародної науково-технічної конференції. - Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця".- 2005.- С. 99-100.
5. Дуж Я. Организация системы информации на предприятии.– М.: Прогресс, 1972.– 352 с.
6. Дунець Р.Б. Аналіз та синтез топологій комп'ютерних видавничо–поліграфічних систем. – Львів: НВФ „Українські технології", 2003. – 192с.
7. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації: Навч. посібник. –Львів: «Новий світ – 2000», 2001. – 424 с.
8. Конюховский П.В., Колесов Д.Н. Экономическая информатика.- СПб,: 2001.- 560 с.
9. Коуров Л.В. Информационные системы и сети. Мн.: Издание НИУП, 1997.
10. Локазюк В.М., Поморова О.В., Домінов А.О. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навч. посібник для вузів. Хмельницьк 2001.–286с.
11. Мартин Дж. Вычислительные сети и распределенная обработка данных.– М.:Финансы и статистика, 1985.–256с.
12. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем.- М.: Финансы и статистика, 1984.- 169 с.
13. Николайчук Я., Сегін А., Сабадаш І. Теоретичні основи формування ентропійних моделей на базі кореляційних функцій. // Інформаційні технології і системи. - Львів.- 2002.- Т.5.- №1-2.- С.13-21.
14. Олифер В.Г., Олифер Н.А., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. –СПб: Питер, 2000.– 672с.
15. Олифер В.Г., Олифер Н.А., Сетевые операционные системы. – СПб: Питер, 2002.– 544с.
16. Пітух І. Особливості структурної організації фреймів в комп'ютерних мережах з глибоким розпаралеленням інформаційних потоків// Вісник Технологічного університету Поділля . –Хмельницький.- 2005.- №4,Ч.1, Т.2. С.7–10.
17. Пітух І. Кореляційні та ентропійні моделі об'єктів управління розподілених комп'ютерних мереж// Наукові вісті інституту менеджменту та економіки "Галицька академія". - Ів. Франківськ.–2006. – № 2 (10).– С.117 – 120.

18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Пітух І., Николайчук Я., Возна Н. Принципи побудови комп'ютерних мереж з глибоким розпаралелюванням інформаційних потоків на основі матричних моделей руху даних // Вісник НУ „Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2004.- № 508. - С. 263–268.
22. Пономаренко В.С. Проектування інформаційних систем.–К:"Академія", 2002.– 488с.
23. Пуртов С.Т. Автоматизированные системы управления предприятием.–М.: Высшая школа, 1989.–396с.
24. Столлингс В. Структурная организация и архитектура компьютерных систем: Пер. с англ.–М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.–896с.
25. Точчи, Рональд, Дж., Уидмер, Нил, С. Цифровые системы. Теория и практика.: Пер. с англ.–М. : Издательский дом „Вильямс", 2004.– 1024 с.
26. Таненбаум Є. Современные компьютерные сети.–СПб.: Питер, 2003.–992с.
27. I. Pitukh, Y. Nykolaychuk, N. Vozna. Information technologies of models data movement construction in the automatic management systems // Proc. of the VIIII–th International Conf. CADSM 2005. – Lviv–Polyana (Ukraine). – 2005.- P.427–428.
28. Patrick J Zabinski. Surface roughness of pcb tracks…// Correspondence to the SI–LIST.- 11 Jun 2001.
29. Ralph D., Graham P. MMS: Technologies, Usage and Business Models.: Пер. с англ.. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 986 с.
30. 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 // Proc. of the third IEEE workshop on Intelligent data acquisition and advanced computing systems: Technology and applications (IDAACS 2005). – Sofia, (Bulgaria).-2005. – P.253–259.
31. Svensson C., Dermer G. Time Domain Modeling of Lossy Interconnect//, IEEE Trans. Advanced Packaging.-2001.- Vol. 24, №.2.

РОЗДІЛ 5

ФУНКЦІЇ, СИСТЕМНІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ ГЛОБАЛЬНОЇ МОДЕЛІ СКС

Глобальна модель комп'ютерної системи, яка формально описує структуру СКС, вперше була запропонована Николайчуком Я.М. у вигляді взаємодії пятьох типів системних об'єктів (рис.5.1).

Рис.5.1. Глобальна модель спеціалізованої комп'ютерної системи.

Кожен з наведених системних об'єктів може виконувати в середовищі КС чотири системні функції:

- формування даних ;
- передавання даних;
- цифрова обробка даних;
- приймання та зберігання даних.

Тобто, кожен з системних об'єктів (СО) може бути одним з функціональних об'єктів наступного типу:

- джерело інформації (ДІ);
- середовище передавання інформації (СПІ);
- середовище цифрової обробки інформації (СОІ);
- приймач інформації (ПІ).

Отже, системні об'єкти КС характеризуються дуальними (поліфункціональними) властивостями, що в значній мірі ускладнює методологію проектування та теоретичні основи оптимізації параметрів КС.

Виходячи з класифікації п'яти системних об'єктів КС, можна побудувати таблицю пар їх взаємодії через інтерфейсні засоби комунікацій (табл.5.1).

Таблиця 5.1.

	Р	Д	СПД	ОУ	О
Р	Р→Р	Р→Д	Р→СПД	Р→ОУ	Р→О
Д	Д→Р	Д→Д	Д→СПД	Д→ОУ	Д→О
СПД	СПД→Р	СПД→Д	СПД→СПД	СПД→ОУ	СПД→О
ОУ	ОУ→Р	ОУ→Д	ОУ→СПД	ОУ→ОУ	ОУ→О
О	О→Р	О→Д	О→СПД	О→ОУ	О→О

Очевидно, що для вивчення названих інтерфейсних взаємодій СО та використання їх при проектуванні КС необхідно описати взаємодію 25–ти їхніх пар. В той же час, враховуючи, що теорія, методологія та техніка реалізації КС на основі стандартних технічних засобів, міжнародних протоколів та інтерфейсів достатньо повно подана у відповідних виданнях та інструкціях, при проектуванні низових рівнів проблемно–орієнтованих та спеціалізованих КС особливу увагу слід надавати вивченню системних характеристик об'єктів управління та їх взаємодії з іншими об'єктами КС. Дані взаємодії ОУ та СПД з іншими СО відображені в табл.5.1 відповідним фоном. Широка різноманітність реальних ОУ (наприклад, космічні апарати, літаки, підводні та наземні човни, атомні станції, енергетичні та нафтопромислові системи, транспортні засоби, інформаційні системи, телекомунікації та інше) вимагає відповідної проблемної орієнтації та адаптації КС до характеристик ОУ при проектуванні та аналізі діючих КС. Ця адаптація потребує по - новому осмислити формалізацію опису характеристик системних об'єктів.

5.1. Формалізація опису характеристик системних об'єктів СКС.

У загальному випадку ресурсні характеристики СО проектованої КС можуть бути достатньо повно описані функціоналом, який заданий коефіцієнтом Eco та четвіркою параметрів

$$Eco = F(T, V, M, S), \tag{5.1}$$

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

При цьому границі зміни параметрів задаються системою нерівностей

$$\begin{aligned} 0 \le T \le T_0; \\ 0 \le V \le V_0; \\ 0 \le M \le M_0; \\ 0 \le S \le S_0, \end{aligned} \tag{5.2}$$

де T_0 – час формування, передавання, цифрової обробки та зберігання даних, використання технічного засобу та інше, V_0–пропускна здатність каналу зв'язку, максимальна швидкість читання/запису, максимальна частота обміну даними та інше, M_0– максимальний об'єм пам'яті, що використовується (ОЗП, ПЗП, магнітних, оптичних та твердих копій носіїв), S_0– максимальний ресурс системних функцій (операційні системи, пакети прикладних програм тощо).

Якщо задати нормовані границі зміни кожного параметра (5.1) в діапазоні від 0 до 1, то реалізація коефіцієнта Eco отримає вигляд:

$$Eco = F(0.3, 0.4, 0.7, 0.2).$$

Даний коефіцієнт доцільно привести до безрозмірної форми на основі функції адитивності $E_{CO} = \frac{T+V+M+S}{4}$, що забезпечує діапазон зміни Eco в межах $0 \le E_{CO} \le 1$ та відповідає гіпотезі про статистичну незалежність ресурсних параметрів СО (5.1). При цьому економічна собівартість руху даних може бути обчислена на основі рівняння:

$$P_{CO} = E_{CO} \cdot P_0 - V_0, \tag{5.3}$$

або

$$P_{CO} = \frac{T+V+M+S}{4} \cdot P_0 - V_0, \tag{5.4}$$

де P_0, V_0 – відповідно прибутки та затрати на реалізацію функцій СО.

На рисунку 5.2 показані характеристики собівартості руху даних на рівні формалізованого опису системного об'єкту.

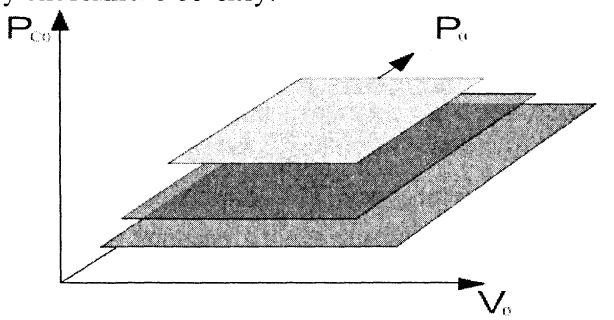


Рис.5.2. Характеристики собівартості руху даних системного об'єкту.

Аналогічні формули можуть бути застосовані для інших системних об'єктів, в яких формальні параметри S будуть відрізнятися наступними системними функціями:

Р – процесор (апаратне, системне та прикладне програмне забезпечення);

Д – дані (зберігання даних в архівах, способи кодування даних, захист від помилок, захист від несанкціонованого доступу, семантичні властивості даних і.т.д.) ;

СПД – мережеве програмне забезпечення, оптимізація маршрутів передавання даних, використання спецканалів, інформаційна технологія моделювання руху даних ;

ОУ – характеристики стаціонарності, нестаціонарності, квазістаціонарності, інформаційні технології кодування станів та контролю їхнього відхилення від норми, статистичні, кореляційні та ентропійні моделі, функції керування та побудови моделей руху даних;

О – система знань та професійних навиків і.т.д.

Функціонал характеристик системних об'єктів в багатьох випадках доцільно розширити до п'яти параметрів шляхом диференціації параметру

швидкості виконання системних операцій, тобто V_R–швидкість запису (вхідний інформаційний потік), V_W –швидкість зчитування (вихідний інформаційний потік), звідки характеристики системного об'єкта будуть описуватися параметрами:

$$Eco = F(T, V_R, V_W, M, S). \quad (5.5)$$

Характеристика (5.5) дозволяє врахувати асиметричність характеристик швидкодії вхідних та вихідних пристроїв системних об'єктів.

Розроблені аналітичні моделі характеристик системних об'єктів комп'ютерної мережі є базою для теоретичної формалізації руху даних. На основі вказаних моделей проводиться аналіз ефективності та розробка проектів комп'ютерних мереж з проблемною орієнтацією для конкретних технологічних процесів та підприємств.

5.2. Системні характеристики процессора.

Процесори (Р) містять у своєму складі інтелектуальні, оснащені однокристальними спец процесорами, сенсори, сигнальні процесори, мікро– та міні–контролери, контролери низових мереж, комутаційні процесори, сервери та комп'ютерні кластери. Системні характеристики Р достатньо повно описуються функціоналом

$$Ep = F(T, V, M, S),$$

де T – час використання ресурсу, V – швидкість виконання системних операцій V_R / V_W, M – об'єм використовуваного ресурсу пам'яті, S – системні функції операційної системи та прикладного програмного забезпечення.

Параметр часу використання ресурсу T оцінюється у відсоткових значеннях його безперервної роботи протягом доби. Використання ресурсу даної характеристики залежить від типу та призначення процесорів. Наприклад, мікропроцесори, технологічні мікроконтролери та промислові процесори призначені для цілодобової роботи, тобто $T = 1.0$. Для процесорів ЕОМ режим роботи може складати 6, 8 або 16 годин за добу, що відповідає використанню ресурсу відповідно $T_i = 0.25, 0.3, 0.6$.

Характеристика використання об'єму ресурсів пам'яті процесора M також залежить від конкретної інформаційної технології її застосування. Наприклад, мікроконтролери масового застосування на основі 8 та 16 розрядних мікропроцесорів, які оперують з обмеженою пам'яттю, використовують її ресурси практично на 100 відсотків, тобто $M_i = 1.0$. В процесорах універсального призначення, якими оснащено ПЕОМ, використання ресурсів пам'яті залежить від характеру задач, які вирішує оператор та динамічності їх реалізації в часі, тобто дану оцінку треба розраховувати на основі математичного сподівання :

$$\overline{M}_i = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} M_i, \quad (5.6)$$

де M_i – поточні або миттєві коефіцієнти використання ресурсів пам'яті процесора. Аналогічно може бути обчислена характеристика використання ресурсів функціональних характеристик процесора (S_i).

Приклад вхідних та вихідних інформаційних сигналів процесорів поданий в табл.5.2.

Таблиця 5.2.

Формувачі сигналів процесора

Формувачі вхідних та вихідних інформаційних сигналів процесора	Характеристики інформаційних потоків
Паралельний порт	1 Гбіт/с
Послідовний порт	100 Мбіт/с
Маніпулятор "мишка"	8 біт/с
Клавіатура	8–12 біт/с
Модем	10–100 Мбіт/с
Мікрофон	2000 * 8=біт/с 2,4–3,6 кГц
Технологічний сканер	100 Мбіт/с

Аналіз табл.5.2 показує, що швидкість створення повідомлень процесорів може змінюватися в широких межах. Діапазон швидкості обміну даними процесорів може змінюватися в межах $1–10^9$ біт/с.

5.3. Системні характеристики даних.

Сучасна систематизація даних охоплює три їх основні класи:

- фізичні дані;
- логічні дані;
- віртуальні дані.

Ресурсні характеристики СО „Дані" представлені часом зберігання, швидкістю запису, швидкістю зчитування, об'ємом та захистом даних від помилок

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

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

Фізичні дані – це дані, які представлені в адресному просторі фізичних носіїв (жорстких магнітних дисків, гнучких магнітних дисків, оптичних та лазерних дисків), а також на твердих носіях (документи, таблиці, графіки).

Поняття логічних даних використовується в теорії та практиці опису логічних моделей баз даних, а також в програмних продуктах, як формальні параметри.

Віртуальні дані – це такий тип даних, які відсутні у фізичному вигляді в КС і можуть формуватися в процесі рішення задач, розрахунків, а також бути в динамічному стані при передаванні в КМ.

Способи кодування даних визначаються теоретико–числовими базисами (ТЧБ), які застосовуються для їх представлення. Найбільш широко вживаними ТЧБ

в сучасних КС є наступні базиси: унітарний, Хаара, Крейга, Грея, Радемахера, Крестенсона, Уолша та Галуа.

5.4. Системні характеристики СПД.

Системні характеристики СПД, в першу чергу, визначаються способами формування, перетворення та кодування даних. Згідно аналізу застосування основних кодових систем, встановлено, що первинними при реалізації системних функцій інформаційних технологій кодування даних є унітарні, розрядно-позиційні та коди Лібова-Крейга. Внаслідок надлишковості, зумовленої значною розрядністю подання, первинні коди застосовуються в перетворювачах форми інформації, при аналого-цифровому перетворенні, функціональних вузлах комп'ютерних систем.

Підвищити ефективність кодування даних шляхом зменшення розрядності дозволяє використання менш надлишкових двійкових та кодів Грея. Двійкові коди (Радемахера) використовуються, як основні в комп'ютерних системах. Коди Грея застосовуються, як основа кодових шкал та в перетворювачах форми інформації завдяки унікальній властивості зміни лише одного розряду при переході між позиціями, яка дозволяє однозначно ідентифікувати кодові комбінації.

Здійснити перехід від паралельного подання коду повідомлення до вертикальної інформаційної технології та покращити показники систем дозволяють кодові системи Ґалуа. Кодові системи Ґалуа, як і двійкові коди, використовують при реалізації процедур цифрової обробки інформації.

До основних дискретних теоретико-числових базисів належать унітарні функції та коди, функції Хаара та розрядно-позиційні коди, дискретно-фазові функції та коди Лібова-Крейга, функції Радемахера та двійкові коди, функції Грея та коди Грея, функції Уолша, функції Ґалуа та кодові системи Ґалуа. Вибір кодової системи, базису або системи функцій залежить від задачі, властивостей інформаційного потоку, умов застосування даних та інш.

Зокрема, базисами для виконання дискретних ортогональних перетворень і дискретного подання одновимірного інформаційного потоку зі скінченною енергією, визначеного в просторі $L_2[a,b]$ на часовому інтервалі $T=[a,b]$, є повні ортонормовані системи функцій. Вейвлет-аналіз здійснюється на основі ортогональних або базисів Ріса. Повними ортонормованими системами функцій у просторі $L_2[a,b]$ є тригонометрична система та дискретні експоненціальні функції – як базис перетворення Фур'є, системи Уолша, Хаара, функції пилкоподібного базису, Віленкіна-Крестенсона та інші, проте актуальною залишається задача визначення галузей, способів і методів їх ефективного застосування, формування та дослідження інших базисів. Визначення особливостей та ефективності застосування різних систем функцій для виконання дискретних перетворень і аналізу інформаційних потоків зумовлює необхідність дослідження властивостей цих систем, наведених у наступних викладках.

1. Унітарні функції та коди.

В якості вихідних у засобах перетворення форми інформації широкого застосування набули унітарні коди, розрядність бінарного подання слова яких відповідає повній шкалі квантування діапазону перетворення N. Здійснити перехід до ефективніших кодів із меншою розрядністю дозволяє аналітичне подання

унітарних кодів і встановлення функціональних залежностей з іншими кодами чи системами кодування.

Для подання унітарних кодів використовуються унітарні функції

$$Uni(m,\theta,i) = sign(sin(2^m \pi(\theta + i \cdot 2^{-n}))), \qquad (5.7)$$

де $m = 0,\ 1,\ \ldots,\ n+1$ – порядок набору системи функцій; $n = \log_2 N$; N – модуль цілочислових дискретних значень системи; $\theta = t/T$; $(0 \le \theta < 1)$ – нормований параметр часу; $T = 2\pi$; t – потокове значення часу; $0 \le t < 2\pi$; $i = 0,1,\ldots,2^{n-m+1} - 1$ – порядковий номер функції в наборі порядку m.

Набір нульового порядку $Uni(0,\theta,i)$ містить *2N* функцій (рис.5.3).

Властивості унітарних функцій:

1. Система з перших *N* унітарних функцій порядку *m* є лінійно незалежною, оскільки виконується достатня умова лінійної незалежності: ранг матриці *N* функцій дорівнює кількості функцій *N*. Наступні *N* функцій є лінійними комбінаціями *N* перших.

2. Унітарні функції не ортогональні, оскільки $\int_0^1 Uni(m,\theta,i)Uni(k,\theta,j)d\theta \neq 0$.

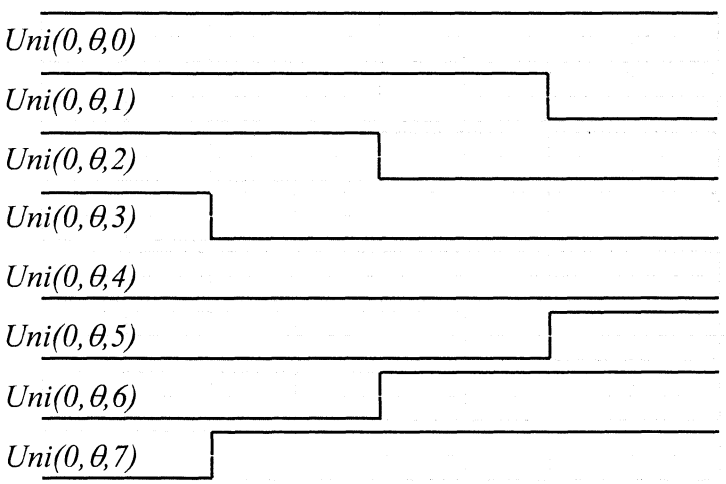


Рис. 5.3. Унітарні функції нульового порядку.

Неортогональність системи унітарних функцій зумовлює некомпактне пакування кодових елементів системи, що приводить до значної надлишковості інформаційних потоків. Внаслідок неортогональності та відсутності досліджень властивостей система не використовується як основа ТЧП.

Породжуючу кодову матрицю унітарного коду розміру *N*×*N* одержують при дискретизації з інтервалом $1/N$ за параметром часу перших $N=2^n$ із системи *2N*

унітарних функцій та здійсненні бінарної заміни значень функцій *1* на *0*, *–1* на *1* в точках $\theta_s = s/2^n$, $s=0,1,...,2^n-1$, яка реалізується за допомогою операції

$$u_i = (1 - Uni(0, \theta_s, 2^n - 1 - i))/2, \qquad (5.8)$$

де $u_0, u_1, ..., u_i, ..., u_{2^n-1}$ – значення розрядів унітарного коду θ_s, $i=0,1,...,2^n-1$.

Для прикладу, при $n=3$ восьми функціям відповідають такі елементи кодової матриці

$$\begin{aligned}
Uni(0,\theta,0) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\\
Uni(0,\theta,1) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\\
Uni(0,\theta,2) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\\
Uni(0,\theta,3) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\\
Uni(0,\theta,4) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\\
Uni(0,\theta,5) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\\
Uni(0,\theta,6) &\rightarrow 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\\
Uni(0,\theta,7) &\rightarrow 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1
\end{aligned}$$

Наведені властивості системи унітарних функцій дозволяють у наступних викладках визначити процедури перетворення до інших базисів. У ролі первинних при перетворенні форми інформації та при переході від *N*-розрядних унітарних до кодів із меншою розрядністю також використовуються розрядно-позиційні коди.

2. Функції Хаара та розрядно-позиційні коди.

Основою розрядно-позиційних кодів є система функцій Хаара. Функції Хаара $Har(n,\theta,j)$ (рис.5.4) визначаються за формулою:

$$Har(n,\theta,j) = \begin{cases} 2^{\frac{n-1}{2}}\, sign(\sin 2^n \pi\theta), & \frac{j}{2^{n-1}} \le \theta < \frac{j+1}{2^{n-1}}, \\ 0 \quad при\ інших\ \theta \in [0,1), \end{cases} \qquad (5.9)$$

де $n = 0,1,...,log_2 N$; $j = 0,1,...,2^{n-1}-1$; ($j = 0$ при $n = 0$), $0 \le \theta < 1$.

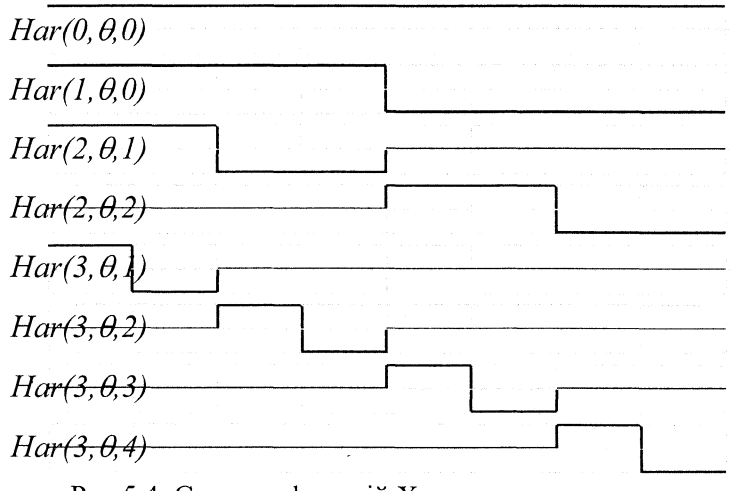


Рис.5.4. Система функцій Хаара.

При реалізації ТЧП використовуються наступні властивості системи Хаара.

1. Функції Хаара $\{Har(n,\theta,j)\}$ утворюють повну ортонормовану систему в просторі інтегровних із квадратом функцій $L_2[0,1)$, що дає можливість використовувати систему в якості базису для виконання ортогонального перетворення, яке є вейвлет-перетворенням.

2. На значній частині інтервалу визначення функції дорівнюють нулю, що дає можливість скоротити кількість арифметичних операцій при обчисленні перетворення. У результаті зменшується час обробки інформації.

Ненормований базис Хаара $\{sign(\sin 2^n \pi\theta)\}$ (без нормуючого множника $2^{\frac{n-1}{2}}$), в якому функції набувають значень ±1, 0, є основою розрядно-позиційних кодів. Розрядно-позиційні коди застосовуються в засобах перетворення форми інформації, в якості проміжних при аналогово-цифровому перетворенні, в давачах переміщень, для ініціювання комірок пам'яті тощо.

Для встановлення аналітичних співвідношень зв'язку систем функцій, які лежать в основі перетворення даних із розрядно-позиційного коду та в розрядно-позиційний код, використовуються розрядно-позиційні функції

$$RP(i,\theta)=\begin{cases}-1, \dfrac{i}{2^n}\le\theta\le\dfrac{i+1}{2^n},\\ 1 \text{ при інших } \theta\in[0,1],\end{cases} \tag{5.10}$$

$n=0,1,2,\ldots,\ i=0,1,\ldots,2^n-1$.

Дискретне подання 2^n розрядно-позиційних функцій та бінарна заміна значень функцій *1* на *0*, *–1* на *1*, яка подається за допомогою виразу

$$p_i=(1-RP(i,\theta_s))/2=\frac{1}{2^{n/2}}Har(n+1,\theta_s,i-1), \tag{5.11}$$

де p_i – значення розрядів розрядно-позиційного коду,
породжує кодову матрицю

$$\begin{array}{cccccccc}0&0&0&0&\ldots&0&1\\0&0&0&0&\ldots&1&0\\ \hdashline 0&1&0&0&\ldots&0&0\\1&0&0&0&\ldots&0&0\end{array}$$

За умови простої реалізації перетворення інформації унітарному та розрядно-позиційному кодам властивий недолік необхідності використання повної N-розрядної шини кодового подання даних для кодування N дискретних повідомлень. Це зумовлює необхідність переходу до ефективніших методів кодування зі зменшеною розрядністю кодів до $n=log_2 N$ в системах Радемахера та Грея.

В якості проміжних при переході до n-розрядних кодів використовуються коди Лібова-Крейга, які дозволяють у два рази зменшити розрядність коду та характеризуються властивістю абсолютного позиціонування.

3. Дискретно-фазові функції та коди Лібова-Крейга.

Залежність унітарних кодів з іншими встановлюється за допомогою системи дискретно-фазових функцій, що є основою кодів Лібова-Крейга.

Дискретно-фазові функції порядку m подаються згідно наступного аналітичного виразу

$$Dyf(m,\theta,i) = sign(\sin(2^m \pi(\theta + i \cdot 2^{-n}))), \qquad (5.12)$$

де $i = 0,\ 1,\ldots,\ 2^{n-m+1}-1$ – порядковий номер функції в наборі порядку m.

Графіки дискретно-фазових функцій першого порядку наведені на рис.5.5.

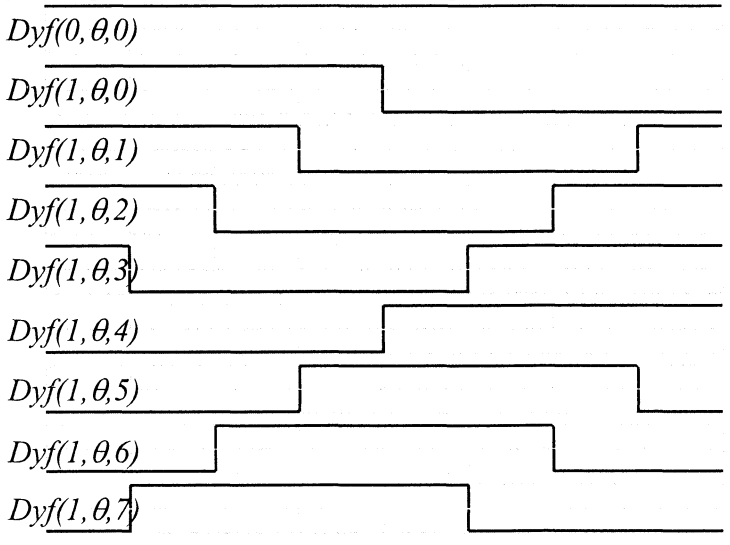


Рис.5.5. Дискретно-фазові функції першого порядку.

Властивості дискретно-фазових функцій:

1. Система з N дискретно-фазових функцій є лінійно залежною, оскільки частина функцій системи є лінійною комбінацією інших функцій системи

$$Dyf(m,\theta,j + 2^{n-m}) = -Dyf(m,\theta,j),$$

де $j = 0,1,\ldots,2^{n-m}-1$.

Внаслідок лінійної залежності перші N функцій не утворюють повної системи.

2. Система є неортогональною, тому що

$$\int_0^1 Dyf(m,\theta,i)Dyf(m,\theta,j)d\theta \neq 0.$$

Породжуючу кодову матрицю розміру $\frac{N}{2} \times N$ одержують за допомогою дискретизації перших $N=2^{n-1}$ дискретно-фазових функцій порядку m та здійснення бінарної заміни значень функцій 1 на 0, –1 на 1, яка реалізується за формулою

$$d_j = (1 - Dyf(1,\theta_s,2^{n-1}-1-j))/2, \qquad (5.13)$$

де $d_0, d_1, ..., d_j, ..., d_{2^{n-1}-1}$ – значення розрядів коду Лібова-Крейга $\theta_s = \frac{s}{2^n}$, $s=0,1,...,2^n-1$.

Наприклад, при N=8 елементи матриці відповідатимуть таким функціям

$$\begin{aligned}
Dyf(1,\theta,0) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\\
Dyf(1,\theta,1) &\rightarrow 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\\
Dyf(1,\theta,2) &\rightarrow 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\\
Dyf(1,\theta,3) &\rightarrow 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\\
s &\rightarrow 0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7.
\end{aligned}$$

Внаслідок неповноти, система не використовується як основа для ортогональних ТЧП. Дискретно-фазові функції розглядаються як перехідні та як основа творення базисів і систем функцій Радемахера, Грея, кодування даних в яких здійснюється з розрядністю $n = log_2 N$ порівняно з N для унітарних кодів. Із цією метою в складі системи дискретно-фазових функцій виокремлюють дві підсистеми функцій виду $sign(sin(2^n \pi\theta))$ та $sign(cos(2^n \pi\theta))$.

4. Система функцій Радемахера та двійкові коди.

Екстракція *sin*-складових набору дискретно-фазових функцій утворює систему функцій Радемахера (рис. 5.6).

$$Rad(n,\theta) = Dyf(n,\theta,0) = sign(\sin(2^n \pi\theta)). \qquad (5.14)$$

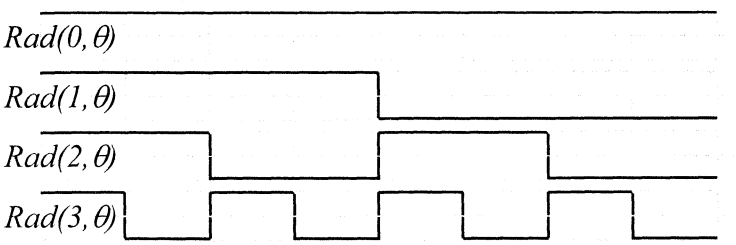


Рис.5.6. Функції Радемахера.

Система Радемахера є основою двійкової системи числення.

Відповідність між значеннями функцій у точках $\theta_s = s/2^n$, $s=0,1,...,2^n-1$ та їх поданням у двійковому коді $\theta_s = r_n r_{n-1} \ldots r_0$ встановлюється співвідношенням

$$r_k = (1 - Rad(n-k, \theta_s))/2, \qquad (5.15)$$

де r_k – значення розрядів двійкового коду, $k = 0,1,...,n$.

Наприклад, при $n=3$ чотирьом функціям відповідають такі елементи кодової матриці розміру 4×8

$$
\begin{array}{lcccccccc}
Rad(0,\theta) & \rightarrow & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
Rad(1,\theta) & \rightarrow & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
Rad(2,\theta) & \rightarrow & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
Rad(3,\theta) & \rightarrow & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
s & \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7.
\end{array}
$$

Наступні властивості системи Радемахера:

- функції Радемахера ортонормовані на відрізку $[0,1)$, оскільки

$$\int_0^1 Rad(n,\theta)Rad(k,\theta)d\theta = 0 \text{ та } \int_0^1 Rad(n,\theta)Rad(n,\theta)d\theta = 1.$$

- система функцій Радемахера утворює в просторі інтегровних із квадратом функцій $L_2[0,1)$ неповну систему ортонормованих функцій, оскільки для довільного n не виконується означення повноти системи

$$\int_0^1 Rad(n,\theta)Rad(1,\theta)Rad(2,\theta)d\theta = 0,$$

тобто існує функція $Rad(1,\theta)Rad(2,\theta)$, яка тотожно не дорівнює нулю на інтервалі $[0,1)$ та ортогональна до всіх функцій системи.

Неповнота системи Радемахера обмежує її застосування для подання інформаційних потоків на основі ортогональних перетворень. Одночасно із широким застосуванням, творенням за допомогою системи Радемахера двійковим кодам властивий недолік, що полягає в неоднозначності формування відліків суміжних кодів при міжрозрядному позиціонуванні. Уникнути такої вади дозволяє перехід до кодів Грея

5. Система функцій Грея та коди Грея.

Екстракція *cos*-складових згідно кожного з порядків n набору дискретно-фазових функцій утворює систему функцій Грея. Система функцій Грея є підмножиною системи дискретно-фазових функцій

$$Gry(0,\theta) = Dyf(0,\theta + 2^{-1},0);$$

$$Gry(m,\theta) = Dyf(m,\theta,2^{n-m-1}),\ m = 1,2,\ldots,n. \qquad (5.16)$$

Графіки функцій Грея наведено на рис.5.7.

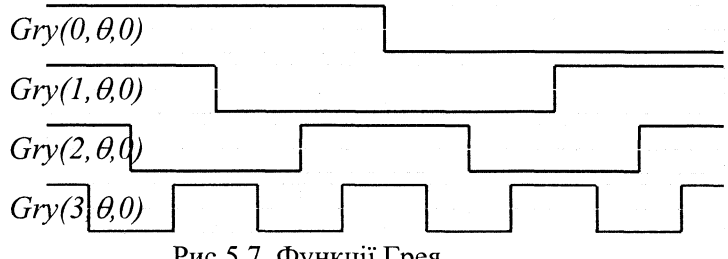


Рис.5.7. Функції Грея.

Система функцій Грея є ортонормованою та неповною, що доводиться наступними викладками.

Відомо, що система Грея є складовою підсистемою функцій Уолша. Оскільки система функцій Уолша є ортонормованою, то і функції Грея, як її підсистема, є ортонормованими, тобто

$$\int_0^1 Gry(n,\theta)Gry(k,\theta)d\theta = 0,\ \int_0^1 Gry(k,\theta)Gry(k,\theta)d\theta = 1.$$

Функції Грея утворюють у $L_2[0,1)$ неповну систему, оскільки існують функції, які тотожно не дорівнюють нулю та ортогональні до всіх функцій системи, зокрема, для довільного n

$$\int_0^1 Gry(n,\theta)Rad(2,\theta)d\theta = 0.$$

Неповнота системи Грея обмежує її застосування для розкладання інформаційних потоків та реалізації ТЧП.

Розширення функціональних можливостей при реалізації системних функцій перетворення форми та обробки інформації забезпечує перехід до базису Уолша. Аналітичні залежності процедури переходу базуються на наступній властивості скінченних добутків функцій системи Грея.

Якщо $(k_1,\ldots,k_m)$ і $(l_1,\ldots,l_r)$ дві різні скінченні послідовності, то

$$\int_0^1 [Gry(k_1,\theta)\ldots Gry(k_m,\theta)][Gry(l_1,\theta)\ldots Gry(l_r,\theta)]d\theta = 0. \qquad (5.17)$$

Для доведення властивості необхідно перепозначити множники в підінтегральному виразі $Gry(j_1,\theta)$, $Gry(j_2,\theta),\ldots,Gry(j_p,\theta)$ $(j_1<j_2<\ldots<j_p)$. Добуток пар функцій $Gry(j_k,\theta)Gry(j_k,\theta)=1$. Добуток інших множників $Gry(j_1,\theta)\ Gry(j_2,\theta)\ldots Gry(j_{p-1},\theta)$ є частково-сталою функцією, кожний з інтервалів сталості якої можна поділити на парне число рівних підінтервалів, на яких $Gry(j_p,\theta)$ набуває почергово значення $+1$ і -1 або -1 і $+1$. Із врахуванням чого

$$\int_0^1 [Gry(j_1,\theta)\ldots Gry(j_p,\theta)]d\theta = const\int_I Gry(j_p,\theta)d\theta = 0,$$

а тому буде рівним нулю значення інтегралу на інтервалі $[0;1)$. Тобто два різні добутки функцій системи є ортогональними, що і треба довести.

Система функцій Грея є основою кодів Грея. Відповідність між значеннями функцій у точках $\theta_s = s/2^n$, $s=0,1,\ldots,2^n-1$ та їх поданням у коді Грея $\theta_s = h_n h_{n-1}\ldots h_0$ встановлюється співвідношенням

$$h_k = (1 - Gry(n-k-1,\theta_s))/2, \qquad (5.18)$$

де $k = 0,1,\ldots,n-1$.

Наприклад, чотирьом функціям відповідають елементи кодової матриці розміру 4×8

$$
\begin{array}{lcccccccc}
Gry(0,\theta) & \rightarrow & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
Gry(1,\theta) & \rightarrow & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
Gry(2,\theta) & \rightarrow & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
Gry(3,\theta) & \rightarrow & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
s & \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7.
\end{array}
$$

Кодування Грея дозволяє зменшити похибки формування відліків суміжних кодів унаслідок зміни тільки одного розряду порівняно із застосуванням двійкових кодів. Однак, неповнота систем функцій Радемахера та Грея звужує галузі їх ефективного застосування. Розширення функціональних можливостей при реалізації системних функцій перетворення форми та обробки інформації забезпечує базис Уолша.

6. Система функцій Уолша.

Властивості систем Радемахера, Грея та відповідних кодів визначають процедуру переходу в базис Уолша $Wal(i,\theta)$, $i = 0,1,\ldots,2^n - 1$, впорядкований за Уолшем, із системи Радемахера $Rad(n,\theta)$. Функції Уолша $Wal(i,\theta)$ (рис.5.8) визначаються, як добуток функцій Радемахера

$$Wal(i,\theta) = Rad(1,\theta)^{b_0}\, Rad(2,\theta)^{b_1} \ldots Rad(n,\theta)^{b_{n-1}} = \prod_{k=0}^{n-1} (Rad(k+1,\theta))^{b_k}, \quad (5.19)$$

де $i = b_{n-1}b_{n-2}\ldots b_1 b_0$ – подання в коді Грея порядкового номера функції $Wal(i,\theta)$.

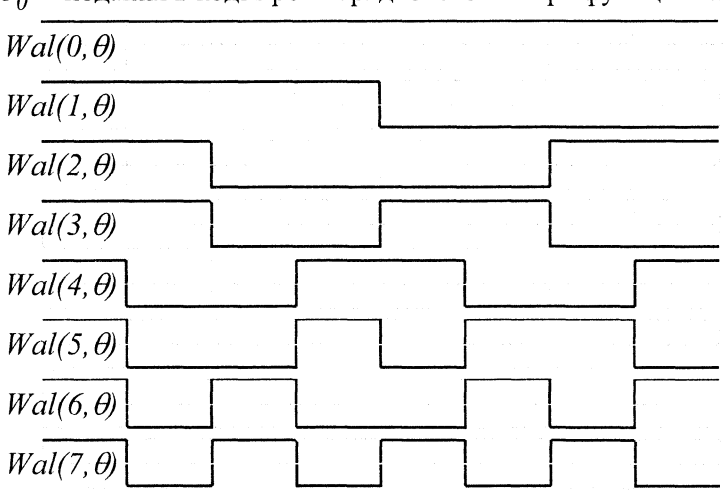


Рис.5.8. Система функцій Уолша.

Система функцій Уолша є ортонормованою, повною та мультиплікативною. Функції Уолша ортонормовані на інтервалі $0 \le \theta \le 1$

$$\int_0^1 Wal(k,\theta)Wal(i,\theta)d\theta = \begin{cases} 1 \ при \ k = i, \\ 0 \ при \ k \neq i. \end{cases}$$

Функції Уолша утворюють мультиплікативну систему

$$Wal(k,\theta)Wal(i,\theta) = Wal(k \oplus i,\theta).$$

Системи Радемахера та Грея є підсистемами функцій Уолша

$$Wal\,(2^n{-}1,\theta) = Rad(n,\theta),$$

$$Wal\,(2^n,\theta) = Gry(n,\theta).$$

Відомі схеми генераторів функцій Уолша базуються на методі формування функцій Уолша із системи Радемахера, але використання в ньому двійкового коду зумовлює виникнення помилки неоднозначності. На основі доведеної властивості (1.11) ортогональності добутків функцій Грея розроблено альтернативний метод формування функцій Уолша із системи функцій Грея:

$$Wal(i,\theta) = Gry(0,\theta)^{a_0}\, Gry(1,\theta)^{a_1} \ldots Gry(n-1,\theta)^{a_{n-1}} = \prod_{k=0}^{n-1} (Gry(k,\theta))^{a_k} \ ,(5.20)$$

де $i = a_{n-1}a_{n-2}\ldots a_1 a_0$ – подання в двійковому коді порядкового номера функції Уолша $Wal(i,\theta)$.

У відомих генераторах і перетворювачах функції Уолша формуються згідно (5.19) на основі двійкового коду наступним способом. Функції Радемахера відповідають значенням розрядів двійкового коду

$$Rad(m,\theta_s) = \overline{r_{n-m}} - r_{n-m} = \begin{cases} 1, & якщо \ r_{n-m} = 0, \\ -1, & якщо \ r_{n-m} = 1, \end{cases} \qquad (5.21)$$

де r_m – значення m-го розряду двійкового коду аргумента θ_s, $m=0,1,\ldots,n$.

При підстановці (5.21) у вираз (5.19) функції Уолша визначаються на основі двійкового коду аргументу θ_s

$$\begin{aligned} Wal(i,\theta_s) &= (\overline{r_{n-1}} - r_{n-1})^{b_0} (\overline{r_{n-2}} - r_{n-2})^{b_{n1}} \ldots (\overline{r_0} - r_0)^{b_{n-1}} = \\ &= \overline{(b_0 r_{n-1} \oplus b_1 r_{n-2} \oplus \ldots \oplus b_{n-1} r_0)} - (b_0 r_{n-1} \oplus b_1 r_{n-2} \oplus \ldots \oplus b_{n-1} r_0) = , \\ &= \overline{\varphi_i(\theta_s)} - \varphi_i(\theta_s) \end{aligned} \qquad (5.22)$$

де $\varphi_i(\theta_s) = b_0 r_{n-1} \oplus b_1 r_{n-2} \oplus \ldots \oplus b_{n-1} r_0$.

Із використанням наведеної методики можна визначити спосіб формування функцій Уолша на основі аргумента, поданого в коді Грея.

Функції Грея $Gry(k,\theta_s)$ відповідають значенням n розрядів коду Грея θ_s згідно залежності

$$Gry(k,\theta_s) = \overline{h_{n-k-1}} - h_{n-k-1} = \begin{cases} 1, & якщо \ h_{n-k-1} = 0, \\ -1, & якщо \ h_{n-k-1} = 1, \end{cases} \qquad (5.23)$$

де h_k – значення *k*-го розряду коду Грея аргумента θ_s; $k = 0,1,\ldots,n-1$.

Функції Уолша визначаються при підстановці функцій Грея з (5.23) у (5.20)

$$Wal(i,\theta_s) = (\overline{h_{n-1}} - h_{n-1})^{a_0} (\overline{h_{n-2}} - h_{n-2})^{a_1} \ldots (\overline{h_0} - h_0)^{a_{n-1}},$$

де $\theta_s = h_{n-1}\ldots h_1 h_0$ – код Грея, $i = a_{n-1}a_{n-2}\ldots a_0$ – подання у двійковому коді числа *i*.

Перетворення добутку в правій частині рівності з використанням основних тотожних співвідношень булевої алгебри дозволяє визначити функції Уолша

$$Wal(i,\theta_s) = \overline{(a_0 h_{n-1} \oplus a_1 h_{n-2} \oplus \ldots \oplus a_{n-1} h_0)} - (a_0 h_{n-1} \oplus a_1 h_{n-2} \oplus \ldots \oplus a_{n-1} h_0), \quad (5.24)$$

$$Wal(i,\theta_s) = \overline{\varphi_i(\theta_s)} - \varphi_i(\theta_s), \quad (5.25)$$

де $\varphi_i(\theta_s) = a_0 h_{n-1} \oplus a_1 h_{n-2} \oplus \ldots \oplus a_{n-1} h_0$.

Перевагою перетворювача на основі (5.24) є використання кодів Грея, які дозволяють зменшити помилки в засобах перетворення та обробки.

Таким чином, повна система Уолша, яка утворюється із систем Радемахера та Грея, є базисом для виконання ортогональних перетворень і формування функцій Ґалуа.

7. Система функцій Ґалуа та кодові системи Ґалуа.

Перехід до різних упорядкувань функцій у системі Ґалуа здійснюється з базису Уолша з упорядкуванням функцій за рекурсивним законом. За *n*-розрядними фрагментами рекурсивної послідовності, яка утворюється відповідно до породжуючого вектора поля Ґалуа $GF(2^n)$, згідно відображення через систему функцій Радемахера формуються номери функцій Уолша та Ґалуа в системі.

Наприклад, у полі $GF(2^3)$ існують породжуючі вектори 1011 та 1101. Для даного поля $GF(2^3)$ рекурсивні послідовності $v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, \ldots$ формуються з початкового вектора $(v_0 v_1 v_2) = (111)$ за правилами:

1) $1101 \rightarrow v_{i+3} = v_i \oplus v_{i+1}$:

$v_0, v_1, v_2, v_0 \oplus v_1, v_1 \oplus v_2, v_0 \oplus v_1 \oplus v_2, v_0 \oplus v_2, v_0, v_1, v_2, \ldots;$

2) $1011 \rightarrow v_{i+3} = v_i \oplus v_{i+2}$:

$v_0, v_1, v_2, v_0 \oplus v_2, v_0 \oplus v_1 \oplus v_2, v_0 \oplus v_1, v_1 \oplus v_2, v_0, v_1, v_2, \ldots.$

Для початкового вектора $(v_0 v_1 v_2) = (111)$ утворена на основі породжуючого вектора 1101 рекурсивна послідовність {0 0 0 1 0 1 1 1}, визначає наступне рекурсивне впорядкування номерів функцій Уолша в системі {0 1 2 5 3 7 6 4}.

$$
\begin{array}{cccccccccc}
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & & & & & & & \rightarrow 0 \\
 & 0 & 0 & 1 & & & & & & \rightarrow 1 \\
 & & 0 & 1 & 0 & & & & & \rightarrow 2 \\
 & & & 1 & 0 & 1 & & & & \rightarrow 5 \\
 & & & & 0 & 1 & 1 & & & \rightarrow 3 \\
 & & & & & 1 & 1 & 1 & & \rightarrow 7 \\
 & & & & & & 1 & 1 & 0 & \rightarrow 6 \\
 & & & & & & & 1 & 0 & 0 \rightarrow 4
\end{array}
$$

Утворена на основі породжуючого вектора 1011 рекурсивна послідовність {0 0 0 1 1 1 0 1} визначає інше рекурсивне впорядкування номерів функцій Уолша: {0 1 3 7 6 5 2 4}.

Із рекурсивно впорядкованої системи Уолша відповідно впорядковані перші n функцій Ґалуа формуються згідно співвідношення

$$Gal(n,\theta,i) = Wal(Ent(2^n\theta),\frac{2^{i+1}-1}{2^n}), \qquad (5.26)$$

де $i = 0,1,\ldots,2^n - 1$, *Ent*– функція виділення цілої частини.

Проведені дослідження встановили можливість формування функцій Ґалуа із систем Радемахера та Грея. Згідно співвідношень (5.19) та (5.20) перші n функцій Ґалуа в системі подаються у вигляді добутку функцій Радемахера та Грея

$$Gal(n,\theta,i) = \prod_{k=0}^{n-1}(Rad(k+1,\frac{2^{i+1}-1}{2^n}))^{h_k} = \prod_{k=0}^{n-1}(Gry(k+1,\frac{2^{i+1}-1}{2^n}))^{r_k}, \qquad (5.27)$$

де $h_{n-1}h_{n-2}\ldots h_0$ – запис у коді Грея числа q, двійковий код якого є n-розрядним фрагментом $v_i v_{i+1} v_{i+2}\ldots v_{i+n-1}$ рекурсивної послідовності $v_0, v_1, v_2, \ldots$; $r_{n-1}r_{n-2}\ldots r_0$ – двійковий код, який є n-розрядним фрагментом $v_i v_{i+1} v_{i+2}\ldots v_{i+n-1}$ рекурсивної послідовності $v_0, v_1, v_2, \ldots$.

Повний набір 2^n функцій рекурсивної системи Ґалуа $Gal(n,\theta,i)$ отримують із перших n функцій системи процедурою рекурсивного зсуву на $\Delta\theta = \frac{1}{2^n}$ згідно другої діагоналі кожної наступної функції відносно попередньої

$$Gal(n,\theta,i+1) = Gal(n,\theta+\Delta\theta,i). \qquad (5.28)$$

Впорядкування функцій Ґалуа в наборі відповідає синтезованому за породжуючим вектором упорядкуванню функцій Уолша.

Процедура переходу від дискретних значень функцій Уолша до дискретних значень функцій Ґалуа подається матричною операцією

$$\|Gal\| = \|W\| \cdot \|R\|,$$

де $\|Gal\|$ – матриця розміру $N \times n$ системи Ґалуа; $\|W\|$ – матриця розміру $N \times N$ рекурсивно впорядкованих функцій Уолша; $\|R\|$ – матриця розміру $N \times n$ відображеної вагової мережі Радемахера.

Для прикладу, матрична операція переходу від функцій Уолша до функцій Ґалуа та матриця розміру *8×8* дискретних значень функцій Ґалуа в полі $GF(2^3)$ з породжуючим вектором 1101 згідно процедури рекурсивного розширення подаються відповідно

$$\begin{Vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{Vmatrix} \rightarrow \begin{Vmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \end{Vmatrix}.$$

Графіки функцій Ґалуа $Gal(n,\theta,i)$ з породжуючим вектором 1101 при *n=3* наведено на рис.5.9.

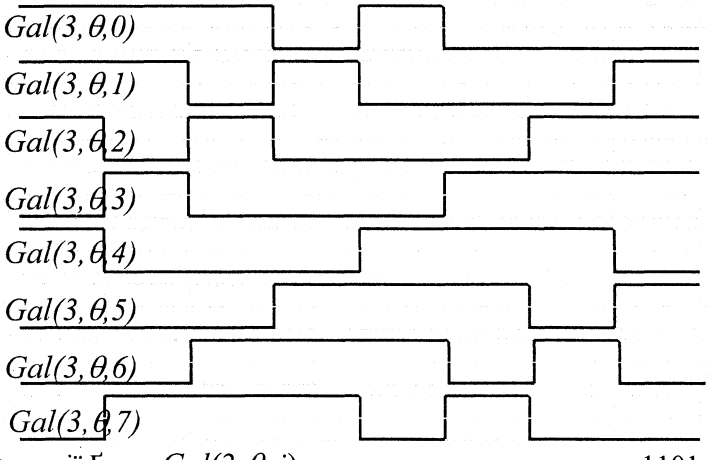


Рис.5.9. Функції Ґалуа $Gal(3,\theta,i)$ з породжуючим вектором 1101.

При виконанні перетворень використовуються наступні властивості системи функцій Ґалуа.

1. У системі 2^n функцій n-го порядку кожна підсистема із n функцій $\{Gal(n,\theta,i),\ Gal(n,\theta,i+1), Gal(n,\theta,i+2),\ldots, Gal(n,\theta,i+n-1)\}$ ортогональна.

2. Симетрія індекса та аргумента. Елементи матриці системи Ґалуа симетричні відносно головної діагоналі

$$Gal(n,\theta_s,i) = Gal(n,\frac{i}{2^n},s),$$

де $i,s \in \{0,1,\ldots.2^n-1\}$.

Таким чином, матриці системи Ґалуа є ганкелевими антициклічними, оскільки при $i+j=k+l$ $G_{ij}=G_{kl}$. Якщо рекурсивний зсув у (5.28) здійснюється згідно головної діагоналі та у формулі (5.28) $\Delta\theta = -\frac{1}{2^n}$, то матриці є тоепліцевими циклічними (циркулянтними), оскільки $i+j=k+l$ $G_{ij}=G_{kl}$.

3. Міри довжин інтервалів, на яких $Gal(n,\theta_s,i)=1$ і $Gal(n,\theta_s,i)=-1$ однакові, отже

$$\int_0^1 Gal(n,\theta,i)d\theta = \sum_{s=0}^{2^n-1} Gal(n,\theta_s,i) = 0, \qquad (5.29)$$

тобто множина функцій Ґалуа задовольняє необхідну умову для вейвлет-функцій.

При дискретизації за параметром часу перших n функцій Ґалуа та здійсненні бінарної заміни значень функцій 1 на 0, –1 на 1, згідно виразу

$$g_k(\theta_s) = (1 - Gal(n-k-1,\theta_s))/2, \qquad (5.30)$$

одержують матрицю кодових елементів Ґалуа розміру $n \times N$, $k = 0,1,\ldots,n-1$.

Наприклад, при N=8 рядки матриці кодових елементів Ґалуа з породжуючим вектором 1101 відповідатимуть таким функціям

$$\begin{array}{cccccccccc}
Gal(3,\theta,0) & \rightarrow & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\
Gal(3,\theta,1) & \rightarrow & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
Gal(3,\theta,2) & \rightarrow & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
s & \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7
\end{array}$$

Елементи матриці кодових елементів Ґалуа з породжуючим вектором 1011 відповідатимуть наступним функціям

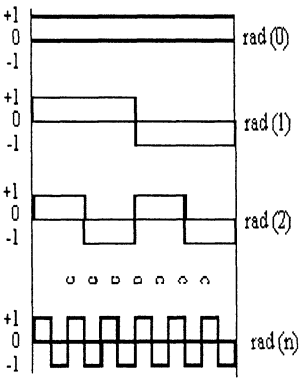
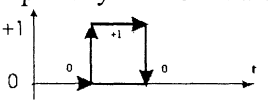
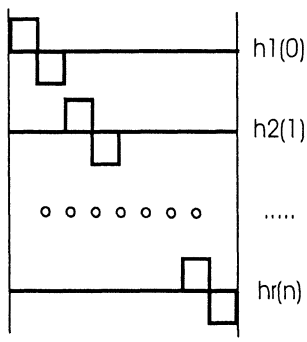
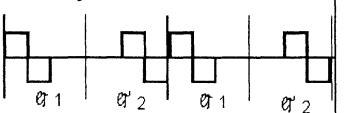
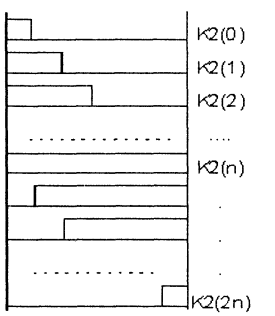
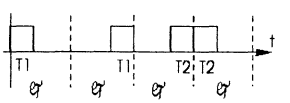
$$\begin{array}{cccccccccc}
Gal(3,\theta,0) & \rightarrow & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\
Gal(3,\theta,1) & \rightarrow & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
Gal(3,\theta,2) & \rightarrow & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
s & \rightarrow & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7
\end{array}$$

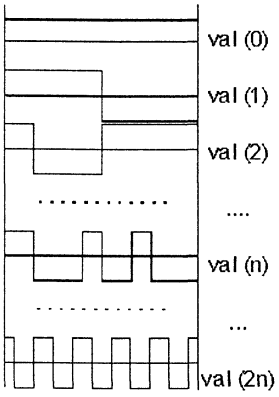
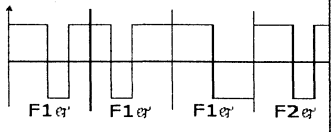
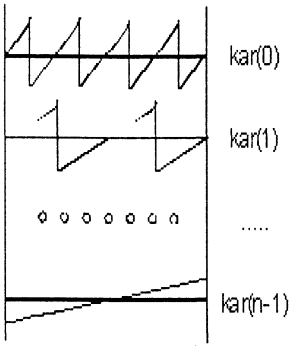
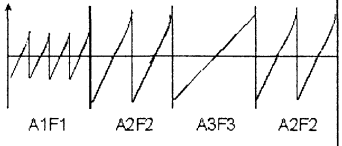
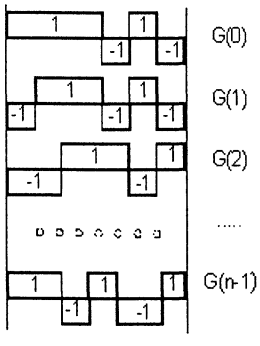
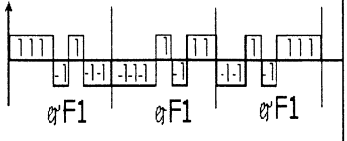
При дискретизації системи N функцій Ґалуа $\{Gal(n,\theta,i)\}$, $i = 0,1,\ldots.2^n-1$ та перетворенні значень функцій згідно (5.30) отримують повну матрицю кодових елементів Ґалуа розміру $N \times N$, впорядкованих із поелементним рекурсивним зсувом згідно другої діагоналі матриці Ґалуа. Номер s повідомлення однозначно визначається n-координатним вектором $n = log_2 N$.

Представлення систем ортогональних функцій різних ТЧБ подані у табл.5.3.

Таблиця 5.3

Представлення теоретико-числових базисів

Базис	Представлення базису	Базисна функція та об'єм матриці V	Модуляція сигналу та спектр
Радема хера		Rad(n,θ)=sign[$2^n\pi\cdot\theta$] V=N·$\log_2$ N	Базисні функції Радемахера є основою для модуляції Прямокутних сигналів  Базис Радемахера породжує двійкову систему числення і двійкові коди
Хаара		$Har(n,\theta,i) =$ $= sign\left[\sin(i2^n\pi,\theta)\right]$ V=N^2	Використовується при фазовій модуляції сигналу.  В даному базисі використовуються розрядно-позиційні коди.
Крейга		Crg(n,θ)=sign[sin((2^n-1)·π·θ)] $V = \frac{N^2}{2}$	Породжує тривалісні і фазовіметоди модуляції сигналу. 

Уолша		Had (h,x) = $\prod_{i=1}^{\kappa}[ri\,(x)]hi$	Породжує частотно-фазові методи модуляції сигналу.  Базис Уолша має найбільш широкий спектр сигналу
Крес-тенсона		$N_i = res\sum_{i=1}^{n}(B_i \cdot b_i)\bmod P$ $V = \sum_{i=1}^{m}\log_2(P_i)$	Даний базис породжує амплітудно-частотні методи модуляції.  Базис представлений трикутними функціями. Спектр сигналів такого базису є експоненціальний.
Галуа		N_j=f(C_{j-n-1},…C_{j-1},C_j), $C_j = \sum_{j=0}^{n=1} C_{j-1} \cdot A \cdot (\bmod 2)$ V=N	Базис Галуа породжує коди поля Галуа і систему числення Галуа.  Модуляція в базисі як фазова, так і частотна.

З метою оцінки ефективності кодування даних на основі різних ТЧБ доцільно провести аналіз кодових матриць, які породжують різні системи числення.

При цьому важливою характеристикою кожного базису є об'єм його кодової матриці M_j та число активних елементів m_j (рис.5.10), що визначає характеристики надлишковості представлення інформації на основі аналітичної оцінки

$$V_i = n_i \cdot N_i,$$

де n_j – розрядність числа; N_i – число незалежних кодових значень.

$M_{Uni} =$

0	0	0	…	0	0
1	0	0	…	0	0
1	1	0	…	0	0
1	1	1	…	0	0
…	…	…	…	…	…
1	1	1	…	1	0
1	1	1	…	1	1

а)

$M_{har} =$

0	0	0	…	0	0
1	0	0	…	0	0
0	1	0	…	0	0
0	0	1	…	0	0
…	…	…	…	…	…
0	0	0	…	1	0
0	0	0	…	0	1

б)

$M_{Gr} =$

0	0	0	…	0	0	0
0	0	0	…	0	0	1
0	0	0	…	0	1	1
…	…	…	…	…	…	…
1	1	1	…	1	1	1
1	1	1	…	1	1	0
1	1	1	…	0	1	1
…	…	…	…	…	…	…
1	0	0	…	0	0	0

в)

$M_{Rad} =$

0	0	0	0	0	0
0	0	0	…	0	1
0	0	0	…	1	0
0	0	0	…	1	1
…	…	…	…	…	…
1	0	0	…	0	0
1	0	0	…	0	1
1	0	0	…	1	0
…	…	…	…	…	…
1	1	1	…	1	0
1	1	1	…	1	1

г)

$M_{LibCr} =$

0	0	0	…	0	0
1	0	0	…	0	0
1	1	0	…	0	0
…	…	…	…	…	…
1	1	1	…	1	0
1	1	1	…	1	1
0	1	1	…	1	1
0	0	1	…	1	1
…	…	…	…	…	…
0	0	0	…	1	1
0	0	0	…	0	1

д)

$M_{Cres} =$

P_1	P_2	…	P_n
0	0	…	0
1	1	…	1
2	2	…	2
0	3	…	3
1	4	…	4
2	0	…	5
0	1	…	6
…	…	…	…
a_1	a_2	…	a_n

е)

$M_{Gal} =$

1
1
1
0
1
0
0

є)

Рис.5.10. Кодові матриці дискретних базисів:
а) унітарного; б) Хаара; в) Грея; г) Радемахера; д) Крейга; е) Крестенсона; є) Галуа.

Кожен з названих базисів характеризується визначеним 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 отримали базиси Радемахера та Крестенсона, в яких $V = N \log_2 N$. Дані базиси відповідно породжують двійкову систему числення та систему числення залишкових класів.

Базис Уолша максимально широко використовується в сучасних телекомунікаційних КС. Даний базис породжує систему ортогональних шумоподібних сигналів, які використовуються в сотових системах мобільного зв'язку.

Найменшу надлишковість кодування даних забезпечує базис Галуа, кодова матриця якого $V = N$, а $n = N/2$.

Згідно викладеного, характеристики ТЧБ кодування даних, як системного об'єкта, подані в табл.5.4.

Таблиця 5.4.

Характеристики потоків даних

Формувачі вхідних та вихідних інформаційних сигналів даних	Характеристики інформаційних потоків даних
Унітарний базис	$V = N^2;\ n = N^2/2$
Базис Хаара	$V = N^2,\ n = N$
Базис Крейга	$V = N^2/4,\ n = N^2/8$
Базис Радемахера	$V = N \cdot \log_2 N,\ n = \frac{N}{2}\log_2 N$
Базис Крестенсона	$V = N \cdot \log_2 N$
Базис Уолша	$V = N^2, n = N^2/2$
Базис Галуа	$V = N,\ n = N/2$

СПД представлені швидкістю приймання, швидкістю передавання даних, імовірністю помилок, часом затримки в каналі

$$E_{СПД} = F(V_R, V_W, P_i, T),$$

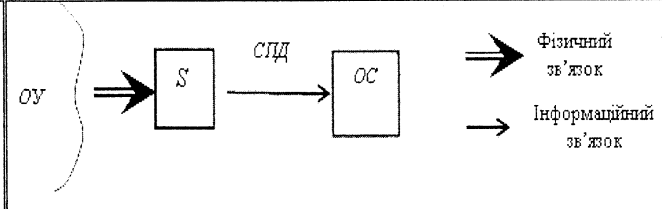
де V_R – швидкість приймання даних, V_W – швидкість передавання даних, P_i – імовірність помилок, T – час затримки в каналі.

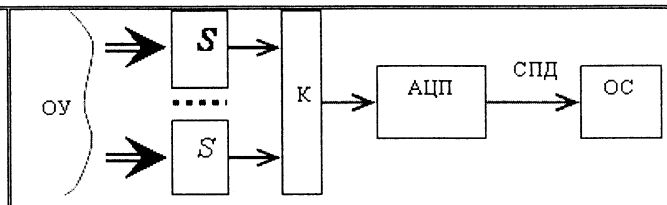
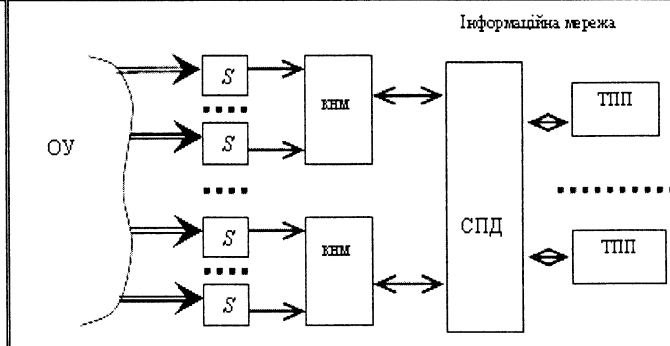
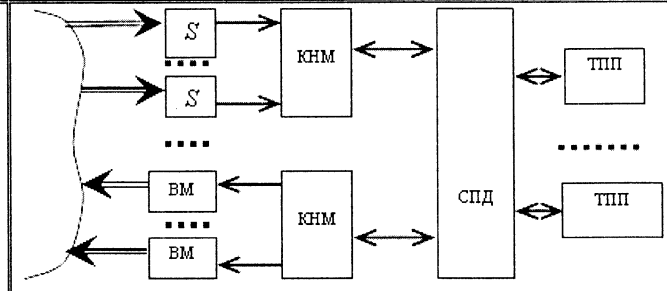
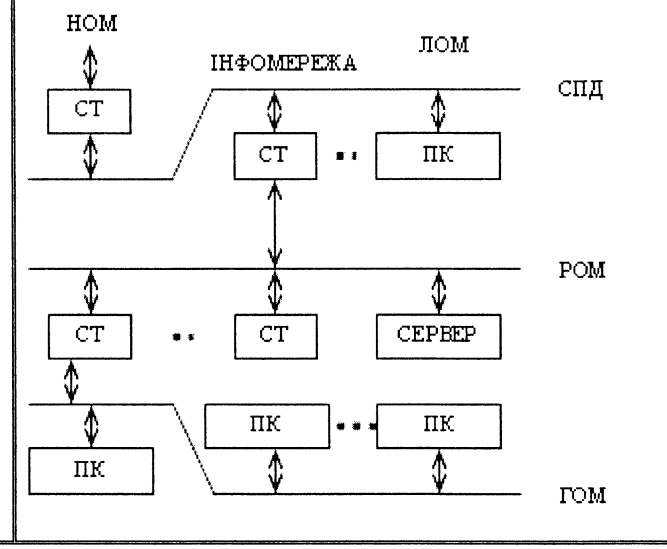
5.4.1. Архітектури та характеристики каналів зв'язку СПД.

Системи передавання даних використовуються у наступних випадках (табл.5.5):

Таблиця 5.5

Структура СПД

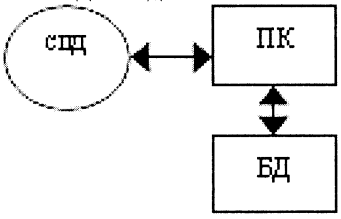
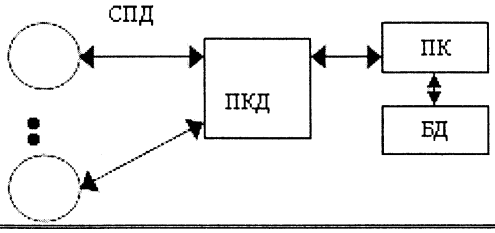
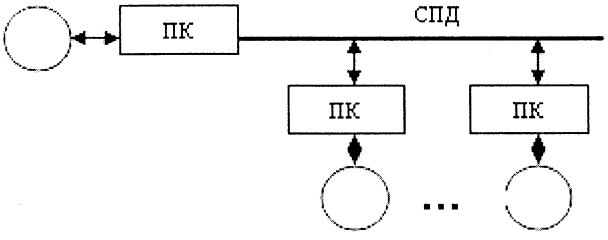
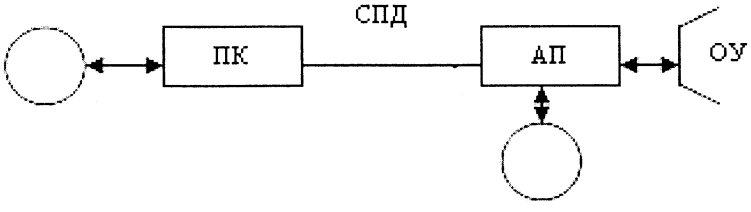
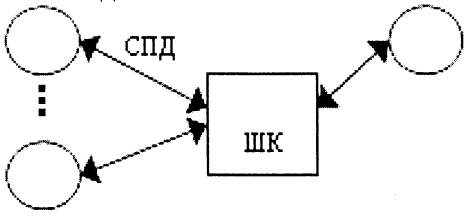
Сфера застосування	Структура	Компоненти
При контролі об'єктів управління		$ОУ$ – об'єкт управління; S – сенсор; $ОС$ - обчислювальна система

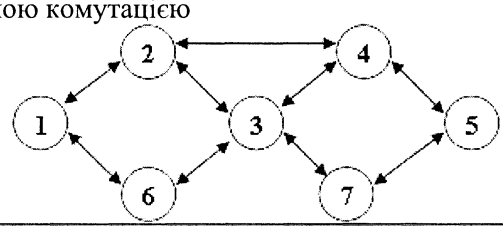
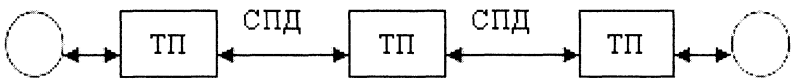
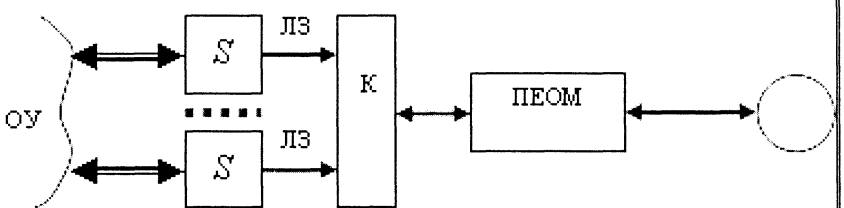
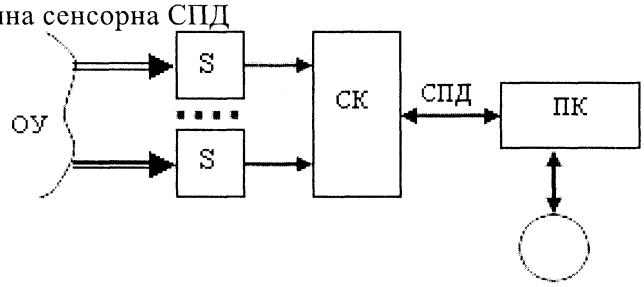
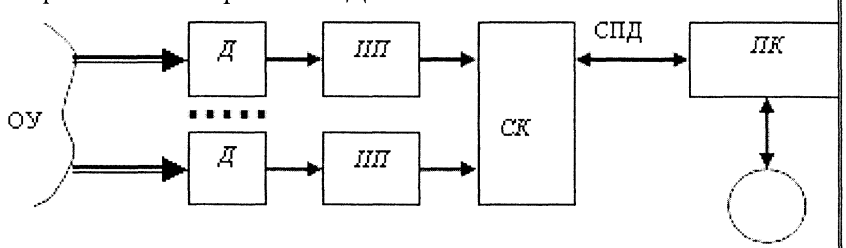
При зборі вимірювальної інформації		*К* – комутатор; *АЦП* – аналогово–цифровий перетворювач
При організації низових обчислювальних мереж		КНМ– контролер низової мережі; НОМ– низова обчислювальна мережа.
При управлінні об'єктами в реальному масштабі часу		ВМ– виконавчий механізм; ТПП– технологічні промислові процесори
При організації локальних та глобальних мереж		*ЛОМ*– локальна обчисл. мережа; *НОМ*– низова обч. мережа; *РОМ*– регіональна обч. мережа; *ГОМ*– глобальна обч. мережа

Структура та компоненти основних класів СПД представлені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

Класи СПД

Структура	Компоненти
Інтерактивна СПД – взаємодії людини з машиною 	БД- база даних
Довідкова СПД 	ПКД – пам'ять колективного доступу
СПД вводу і розділення даних 	ПК- персональний комп'ютер
Віддалений ввід завдань 	АП – абонентський пункт
СПД з комутацією повідомлень 	ШК – швидкісний комутатор

СПД з пакетною комутацією 	
Електронна пошта 	ТП – трансляційний пункт
Промислові СПД Асинхронна СПД з комутацією каналів 	К – комутатор
Синхронна сенсорна СПД 	S=0 або 1 – стани сенсора; СК – стаціонарний комутатор
Синхронна телеметрична СПД 	ІП – інтегрально–імпульсні перетворювачі

Класифікація каналів зв'язку СПД наведена в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Класифікація каналів зв'язку СПД

Тип ЛЗ	Назва ЛЗ	ΔF , Гц	дб/км
ПНЛ	Пневматична	1.0	20
ГЛ	Гідравлічна	10	10
ХЛ	Хімічна (нейронний зв'язок)	10	0
ПЛ..	Повітряна	150000	0.1
СКЛ	Симетрична кабельна	10^6	5
ККЛ	Коаксіально–кабельна	$3 \cdot 10^9$	40
ХВМ	Хвилевід металічний	$50 \cdot 10^9$	16
ХВД	Хвилевід діаелектричний	$100 \cdot 10^9$	20
ВОЛЗ–П	Волоконно–оптична пластикова	10^{15}	20
ВОЛЗ–СТ	Волоконно–оптична ступінчаста	10^{15}	0.5
ВОЛЗ–ГР	Волоконно–оптична градієнтна	10^{15}	0.2
ВОЛЗ–ОМ	Одномодові волокна	10^{11}	0.1–0.05
ІКР	Інфрачервона	10^{14}	100
РРЛ	Радіорелейна	$300 \cdot 10^9$	20
СЛЗ	Супутникова	$30 \cdot 10^9$	20

5.4.2. Теорія та методологія передавання сигналів в сучасних СПД.

5.4.2.1. Теоретичні основи ДІ на основі псевдовипадкових кодових послідовностей та сигналів.

Швидкий розвиток комп'ютерної техніки та створювані на її базі РКС потребують організації якісного та надійного зв'язку між елементами системи. Для організації високошвидкісних ліній зв'язку, як правило, використовують оптичні системи, в той же час, для організації розподілених комп'ютерних мереж доцільно використовувати радіоканал. Проте на даний час радіоканали є досить насиченими та характеризуються високим рівнем різноманітних завад. Тому для організації зв'язку на базі радіоканалу використовуються широкосмугові системи, в яких розширення спектру сигналів досягається за рахунок псевдовипадкових стрибків частоти FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) та шляхом використання прямої послідовності ШКП DSSS (Direct-Sequencing Spread Spectrum).

У FHSS системах, в модуляторі використовується ШКП (pn–код) при генеруванні частотно-маніпульованого сигналу, щоб перенести сигнал на псевдовипадкові стрибки частоти R_h. Передаваний сигнал займає цілий ряд частот, кожну в період часу T_h $(=1/R_h)$. FHSS ділить доступну смугу на N каналів і стрибки між цими каналами здійснюються згідно ШКП послідовності. В кожен період стрибка частоти генератор ШКП формує на вхід частотного синтезатора слово FW (послідовність чіпів n), яке відповідає одному з 2^k положень частоти f_h. Передавач і приймач слідують за одним і тим же взірцем зміни частоти.

Ширина смуги частот сигналів в FHSS системах визначається мінімальною та максимальною позицією стрибків та шириною позиції (Δf). В даній позиції миттєве

захоплення смуги ідентичне ширині смуги стандартного частотно маніпульованого сигналу, яка є набагато меншою від типового шумоподібного сигналу W_{ss}. Отже, FSSS сигнал є вузькосмуговий, і вся потужність передавача зосереджена в одному каналі. Усереднення всіх стрибків частот відповідає тому, що спектр FH/M-FSK сигналів використовує всю смугу частот широкосмугового сигналу. Тому ширина смуги FHSS систем залежить від діапазону настройки і не може займати ширшу смугу від такої, яка використовується в DSSS системах.

У DSSS системах в передавачі двійкові вхідні дані d_t замінюються ШКП послідовністю pn_t, який, базуючись на двійкових даних, генерує вихідний сигнал $t_{Xb} = d_t \times pn_t$. Ефект заміни вхідних бітів кодового d_t на відповідну ШКП розгортає ширину смуги частоти слідування символів даних R_s з d_t до ширини смуги частоти слідування чіпів R_c.

В приймачі виконується кореляційна згортка з ШКП приймача pn_r прийнятого сигналу r_{xt}, який може бути змінений внаслідок впливу адитивних та мультиплікативних завад в каналі зв'язку.

Спектр шумоподібного сигналу наближається до спектру білого шуму. Амплітуда та енергія в шумоподібному сигналі tx_b є такою ж, як і в оригінальному інформаційному сигналі d_t.

В шумоподібних системах фактор розширення SF вибирається виходячи з частоти слідування чіпів R_c і частоти символів даних R_s:

$$SF = \frac{BW_{SS}}{BW_{\text{inf}}} = \frac{R_c}{R_s} = \frac{T_b}{T_c},$$

де BW_{ss} – ширина смуги широкосмугового сигналу, BW_{inf} – ширина смуги інформаційного сигналу, T_b – час передавання одного біта, T_c – час передавання одного чіпа.

При цьому основним критерієм ефективності ШКП заданої довжини є максимальне значення відношення амплітуди головного пелюстка АКФ, до максимального викиду бокового пелюстка

$$V_m = \frac{\phi_{ss(0)}}{\phi_{ss(j)}}, \tag{5.31}$$

де $\phi_{ss(0)}$ – рівень головного пелюстка АКФ, а $\phi_{ss(j)}$ – максимальний рівень бокового пелюстка.

Важливим фактором при виборі ШКП сигналів є взаємокореляція, яка описує взаємозв'язок між pn_i та pn_j кодами згідно виразу:

$$Rc(\tau) = \int_{-Nc/2}^{Nc/2} pn_i(t) \times pn_j(t+\tau)dt$$

і є критерієм узгодженості між двома різними кодами pn_i і pn_j. В CDMA системах (Code Division Multiple Access, множинний доступ з кодовим розділенням) багато користувачів займають певну ширину смуги і одночасно передають дані. При цьому

важливим фактором є ортогональність кодів користувачів. Коли коди користувачів ортогональні, то взаємних завад між користувачами після проведення згортки не виникає і забезпечується кодове розділення інформації в каналі зв'язку.

В широкосмугових DSSS системах в якості шумоподібної кодової послідовності часто використовується 11 розрядний код Баркера. Так, максимальна швидкість передавання інформації DSSS систем визначена стандартом IEEE 802.11 складає 108 Мбіт/с.

В якості шумоподібних сигналів (ШПС) використовуються одновимірні коди Баркера, М-послідовності, кодові послідовності Уолша і т.д. Дані послідовності та їх властивості є досить добре дослідженими, проте обмежена кількість цих кодів та зростаюча необхідність в підвищенні завадозахищеності і збільшенні кількості ефективних кодових послідовностей стимулює пошук нових кодів. Перспективним вирішенням проблеми вдосконалення широкосмугових систем зв'язку є розвиток теорії та техніки передавання даних на основі багаторівневих ШКП. Значне підвищення завадозахищеності передавання інформаційних повідомлень може бути досягнено на основі двовимірних шумоподібних кодових послідовностей (ДШКП). Двовимірні ШПС мають меншу довжину, ніж одновимірні коди з аналогічними кореляційними властивостями, що при однакових параметрах завадозахищеності дозволяє підвищити швидкість передавання інформації. Тому їх пошук та дослідження можливостей використання у якості комунікаційних кодів СП є перспективним.

5.4.2.2. Системні характеристики одновимірних шумоподібних сигналів

Сучасні спецпроцесори низових рівнів РКС оснащені вихідними модулями, які формують широкосмугові кодові послідовності, що класифікуються як ШКП. Тому при розробці та моделюванні досліджуваного класу СП доцільно виконати аналіз теоретичних основ їх побудови та системних характеристик.

В сучасних цифрових системах передавання інформації в якості ШКП використовуються кодові послідовності: Баркера; Лежандра; Цірлера; Пелі-Плоткіна; Френка; Галуа (М-сигнали); Голда, Касамі, Голея, коди побудовані на основі функцій Уолша, модифіковані М-сигнали та інші.

Найбільшого поширення та популярності набули коди Баркера, які при невеликій довжині володіють хорошими кореляційними властивостями (і практично, найкращими серед всіх інших одновимірних відомих ШКП) та дозволяють максимально ефективно використати канал зв'язку. Дані сигнали представляються двійковими компонентами $S_j = \pm 1$, в яких максимальний рівень бокових пелюсток не перевищує $1/n$ від основного піку, де n – кількість розрядів кодової послідовності.

Взаємокореляційну функцію інформаційних та еталонних кодів Баркера розраховують за формулою

$$\phi_{(x,y)}(j) = \sum_{i=1}^{n} sign(\overset{\circ}{x}_i) \cdot sign(\overset{\circ}{y}_{i+j}); j = 0,1,...,n,$$

де x_i – біт коду Баркера; y_i – тристабільний порівнюваний сигнал; $S_i = \pm 1,0$;

$$\overset{\circ}{sign}(y_{i+j}) = \begin{cases} 1, y_{i+j} > 0; \\ 0, y_{i+j} = 0; \\ -1, y_{i+j} < 0. \end{cases}$$

Усі відомі ШКП Баркера та їхні циклічні кореляційні функції подані в табл.5.8. Графіки кореляційних функцій Баркера зображено на рис. 5.11, з якого видно, що із зростанням довжини ШКП знижується рівень бокових пелюсток.

Таблиця 5.8.

ШКП Баркера та їх кореляційні функції

№	k	Сигнали Баркера	Кореляційна функція
1	3	1,1,-1	-1,0,3
2	4	1,1,1,-1	-1,0,1,4
3	4	1,1,-1,1	1,0,-1,4
4	5	1,1,1,-1,1	1,0,1,0,5
5	7	1,1,1,-1,-1,1,-1	-1,0,-1,0,-1,0,7
6	11	1,1,1,-1,-1,-1,1,-1,-1,1,-1	-1,0,-1,0,-1,0,-1,0,-1,0,11
7	13	1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1	1,0,1,0,1,0,1,0,1,0,1,0,13

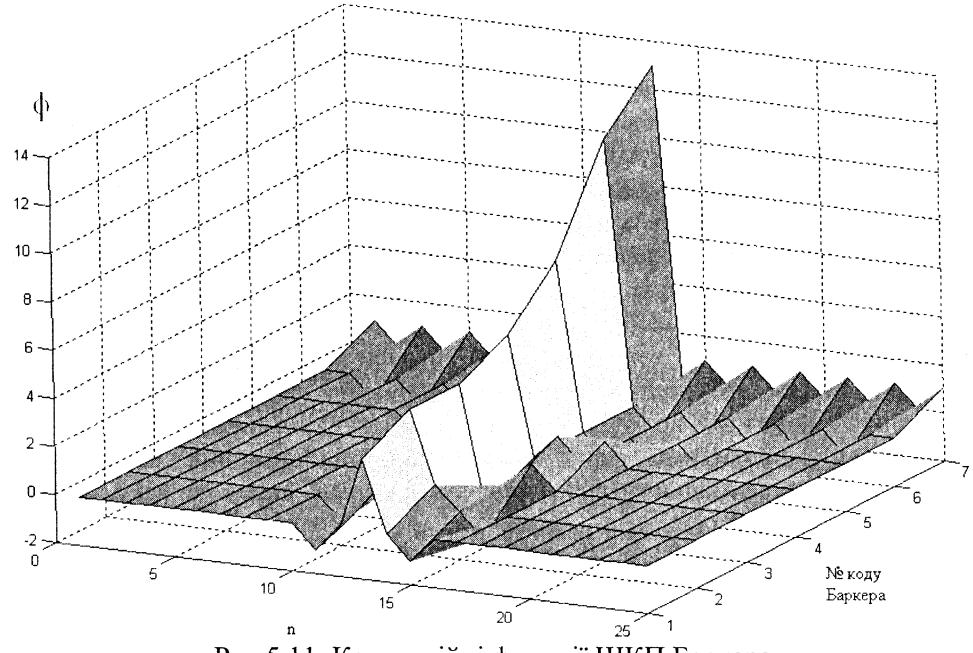


Рис.5.11. Кореляційні функції ШКП Баркера

Незважаючи на хороші кореляційні властивості, коди Баркера мають один суттєвий недолік, а саме малу довжину $n \leq 13$, що обмежує можливості їх ефективного використання в каналах з високим рівнем завад та дозволяє створювати лише невелику кількість кодорозділених каналів зв'язку. А тому при необхідності отримання вищих параметрів системи (завадостійкості, дальності,

прихованості, захищеності від несанкціонованого доступу) використовують інші види ШКП.

Сигнали на основі символів Лежандра являють собою клас сигналів з трійковими компонентами S_j=[1;0;-1]. Кількість компонентів визначається із наступного виразу $n=(p^n -1)/(p-1)$, де p-просте число, n-ціле число. Циклічні автокореляційні функції символів Лежандра мають бокові компоненти, що рівні нулю. Функції невизначеності при великих значеннях n мають бокові компоненти порядку $n^{(1/2)}$. Кореляційні функції при порівняно невеликих значеннях n мають бокові пелюстки, що значно менші за $n^{(1/2)}$. Слід зазначити, що сигнали Баркера з непарною кількістю компонентів входять в клас цих сигналів.

Сигнали Цірлера, компоненти яких описуються наступним аналітичним виразом $e^{(j\cdot(2\pi/p)\ i)\ c}$, де p - просте число, i - ціле число, що менше за p, на кожній позиції можуть мати одне з p значень. Кількість компонентів сигналу Цірлера визначається з виразу p^n-1. Циклічні кореляційні функції мають бокові пелюстки, що по модулю рівні одиниці. Формуються ці сигнали з допомогою порівняно нескладних алгоритмів.

Сигнали Пелі-Плоткіна – сигнали з двійковими компонентами S_j=±1 і мають кількість компонентів, що визначається з виразу $n=p=(4k-1)$, де k -ціле число. Циклічні кореляційні функції мають бокові компоненти, що по модулю рівні одиниці.

Для передавання інформації на великі відстані по каналах зв'язку з високим рівнем завад найефективніше застосовуються М–послідовності або послідовності максимальної довжини, що формуються на основі неприводимих алгебраїчних поліномів згідно виразу

$$X_{i+1} = (x_i \cdot a_i \oplus x_{i-1} \cdot a_{i-1} \oplus \ldots \oplus x_{i-n} \cdot a_{i-n}),$$

де $a_i \in 0,1$ – двійкові значення неприводимого алгебраїчного полінома, що формує код рекурентного ключа для М – послідовності.

В табл.5.9 наведені кількісні характеристики циклічних кореляційних функцій M – сигналів довжиною до 15 біт, які розраховані згідно виразу

$$S = 100\% \cdot \frac{L}{n}, \tag{5.32}$$

де L, n – відповідно максимальний рівень бокової та головної пелюсток циклічних кореляційних функцій.

В табл. 5.9 видно, що більшість М–послідовностей (М-сигналів) мають невисокі кореляційні характеристики, але велика кількість цих кодів дозволяє знайти компроміс між довжиною коду та його кореляційними властивостями.

Розвиток теорії кодів Баркера науковою школою Я.М. Николайчука дозволив виявити систему модифікованих кодів Баркера, які мають кореляційні функції з боковими пелюстками -1, -2 та 1, 2, але за рахунок більшої довжини забезпечують краще співвідношення сигнал/шум.

Таблиця 5.9

Кількісні характеристики М – сигналів.

Двійковий формат М – сигналу	Довжина М – сигналу, біт	Рівень пелюстки, S %
100	3	33.333
1110	4	25
11101	5	20
1110010	7	14.286
10110111000	11	9.091
1010110011111	13	7.692
10000001100101	14	14.286
111101011001000	15	13.333

Для виявлення ефективних кодових послідовностей даного класу сигналів використано залежність між довжиною М-сигналу та його десятковим значенням та проведено апроксимацію методом неперервних дробів, в результаті чого отримано аналітичний вираз для визначення області можливого існування М-сигналів з прийнятними кореляційними властивостями:

$$\mathrm{Re}\, g(l) = \frac{28960.94 - 22374.85 \cdot l + 3697.458 \cdot l^2 - 597.3114 \cdot l^3}{-6124.188 + 1036.755 \cdot l - 57.21558 \cdot l^2 + 1 \cdot l^3}, \quad (5.33)$$

де l – довжина послідовності.

Графік можливого існування ефективних модифікованих кодів Баркера та М-послідовностей згідно виразу (5.33) зображено на рис.5.12.

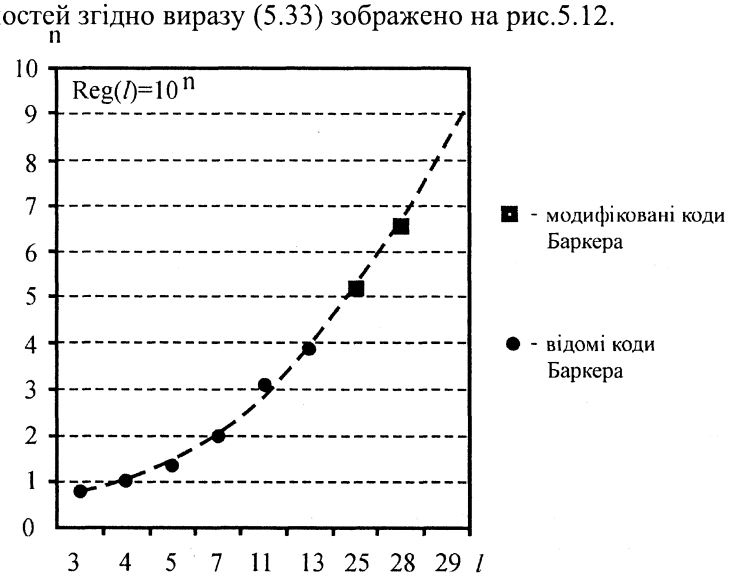


Рис.5.12. Залежність десяткового значення коду від довжини коду Баркера

В результаті аналізу кореляційних характеристик модифікованих М-послідовностей згідно виразу (5.33) виявлені модифіковані коди Баркера з особливими кореляційними властивостями при $l \leq 29$ (табл.5.10).

Таблиця 5.10

Кількісні характеристики М-сигналів

Розрядність коду, l	Десятковий формат	Двійковий формат М-послідовності	Рівень пелюстки, S %
25	19218663	1001001010100000011100111	8.000
	23375843	1011001001010111111100011	8.000
	26208845	1100011111110101001001101	8.000
	30278985	1110011100000010101001001	8.000
28	150016301	1000111100010001000100101101	7.143
	153436391	1001001001010100000011100111	7.143
	187006748	1011001001010111111100011100	7.143
	208672178	1100011100000001010110110010	7.143
	228869240	1101101001000100010001111000	7.143
	236838308	1110000111011101110110100100	7.143
	242231881	1110011100000010101001001001	7.143
29	268848938	10000000001100100111100101010	10.345
	268879658	10000000001101100011100101010	10.345
	268901162	10000000001110001101100101010	10.345

Результати розрахунку характеристик модифікованих кодів Баркера при $l>25$, розрахованих згідно виразу (5.32) представлений на рис.5.13, який демонструє системні переваги модифікованих кодів Баркера по відношенню до відомих кодів Баркера.

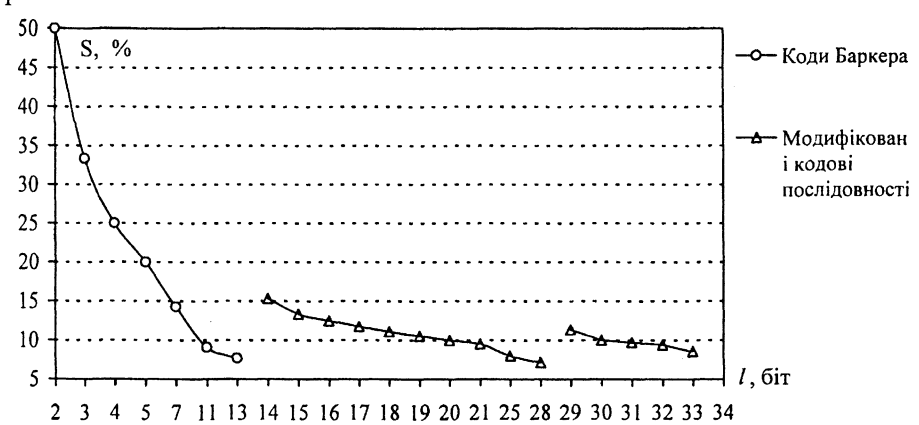


Рис.5.13. Залежність максимуму бокової пелюстки від довжини послідовності для кодів Баркера та модифікованих кодових послідовностей.

Отже, важливими системними властивостями одномірних ШКП є довжина кодової послідовності, співвідношення основного піку до рівня бокових пелюсток в автокореляційній функції та рівень взаємокореляції між ШПС, що використовуються в системі.

Обмежена кількість відомих шумоподібних послідовностей, їх невисокі кореляційні властивості при малій довжині коду та зростання популярності ШПС, системи вимагають пошуку нових ефективних ШКП. Перспективним є дослідження теоретичних засад та розвиток методів пошуку двовимірних ШКП, які мають кращі кореляційні властивості при заданій довжині кодової послідовності.

5.4.3. Вдосконалення аналітики цифрових кореляційних приймачів джерел одновимірних ШПС

Існують 2 типи цифрових кореляційних приймачів ШПС: автокореляційні та взаємокореляційні. Найчастіше для розрахунку автокореляційних та взаємокореляційних функцій ШКП використовується мультиплікативна згортка знакових представлень шумоподібних сигналів $\operatorname{sign}(\overset{\circ}{x}_i)$. В той же час існує 8 типів кореляційних функцій, які характеризуються різними параметрами точності, алгоритмічної складності та структурної складності СП, які їх реалізують.

В табл. 5.11 приведені аналітичні вирази цифрових авто- та взаємокореляційних функцій, що використовуються для реалізації спецпроцесорів приймання одновимірних ШКП.

В таблиці 5.11:

$$sign(\overset{\circ}{x}_i)=\begin{cases}+1, \overset{\circ}{x}_i \geq 0\\ 0, \overset{\circ}{x}_i = 0\\ -1, \overset{\circ}{x}_i < 0\end{cases};\qquad sign(\overset{\circ}{y}_{i+j})=\begin{cases}+1, \overset{\circ}{y}_{i+j} \geq 0\\ 0, \overset{\circ}{y}_{i+j} = 0\\ -1, \overset{\circ}{y}_{i+j} < 0\end{cases}$$

$$\overset{\circ}{x}_i = x_i - M_x;\ \overset{\circ}{y}_i = y_i - M_y;\qquad M_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i;\ M_y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

$$D_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - M_x)^2;\qquad D_y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - M_y)^2;$$

$$\breve{Z}_{xx} = \begin{cases} x_i, x_i < x_{i+j}\\ x_{i+j}, x_i \geq x_{i+j}\end{cases};\qquad \breve{Z}_{xy} = \begin{cases} x_i, x_i < y_{i+j}\\ y_{i+j}, x_i \geq y_{i+j}\end{cases},$$

де $sign(\overset{\circ}{x}_i)$, $sign(\overset{\circ}{y}_{i+j})$ - знаки центрованих значень; M_x, M_y - математичні сподівання; D_x, D_y - дисперсії; $\breve{Z}_{xx}, \breve{Z}_{xy}$ - елементи кореляційної еквівалентності.

Таблиця 5.11

Аналітичні вирази кореляційних функцій

№	Кореляційна функція	Автокореляційна функція	Взаємокореляційна функція
1	знакова	$H_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} sign(\overset{\circ}{x}_i) \times sign(\overset{\circ}{x}_{i+j})$	$H_{xy}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} sign(\overset{\circ}{x}_i) \times sign(\overset{\circ}{y}_{i+j})$
2	релейна	$B_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{\circ}{x}_i \times sign(\overset{\circ}{x}_{i+j})$	$B_{xy}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{\circ}{x}_i \times sign(\overset{\circ}{y}_{i+j})$
3	коваріаційна	$K_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \times x_{i+j}$	$K_{xy}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \times y_{i+j}$
4	кореляційна	$R_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{\circ}{x}_i \times \overset{\circ}{x}_{i+j}$	$R_{xy}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{\circ}{x}_i \times \overset{\circ}{y}_{i+j}$
5	нормована кореляційна	$\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}$	$\rho_{xy}(j) = \frac{R_{xy}(j)}{\sqrt{D_x \times D_y}}$
6	структурна	$C_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - x_{i+j})^2$	$C_{xy}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_{i+j})^2$
7	модульна	$G_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lvert x_i - x_{i+j} \rvert$	$G_{xy}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lvert x_i - y_{i+j} \rvert$
8	еквівалентності	$F_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \breve{Z}_{xx}$	$F_{xy}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \breve{Z}_{xy}$

З табл. 5.11 видно, що найменшою алгоритмічною складністю характеризуються функції еквівалентності $F_{xx,}(j)$ та $F_{xy}(j)$, в яких базисна операція згортки виконується шляхом порівняння модульних значень $x_i,\ldots, x_{i+j}$ та сумування менших з них.

Описані математичні рівняння найбільш ефективних цифрових кореляційних приймачів ШПС (C_{xy}, G_{xy}, F_{xy}) реалізовані у вигляді спецпроцесорів в унітарному ТЧБ.

Для аналізу ефективності застосування різних аналітичних виразів розрахунку кореляційних функцій одновимірних кодів Баркера розроблено програмне забезпечення алгоритмів вдосконаленої цифрової обробки нецентрованих кодів Баркера. Дана модель кодів Баркера необхідна для побудови програмного інструментарію цифрової обробки ШКП, які в каналах зв'язку піддаються впливу завад і на вхід АЦП цифрових кореляційних процесорів поступають у вигляді нецентрованих аналогових сигналів

$$x(t) \to x_i + \delta(t),$$

де $x(t)$ - вхідний аналоговий сигнал на вході АЦП декодера; x_i - цифровий відлік решітчастої функції дискретизованого і квантованого сигналу $x(t)$, який відповідає біту еталону коду Баркера; $\delta(t)$ -аналогові значення адитивної завади в каналі зв'язку.

На виході АЦП формується потік цифрових даних у вигляді:

$$x_i^* = x_i \pm \Delta i,$$

де x_i^* - цифрове значення коду Баркера з врахуванням впливу завад; а $\pm \Delta i$ - цифрові значення завад.

В табл.5.12 приведені автокореляційні характеристики еталонного 11-бітного коду Баркера (табл. 5.8) з захисним інтервалом

1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0,

який формується у вигляді восьмирівневої нецентрованої кодової послідовності

8 8 8 0 0 0 8 0 0 8 0 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4,

що обробляється цифровим кореляційним спецпроцесором у вигляді згортки решітчастих функцій (рис.5.14) згідно аналітичних виразів.

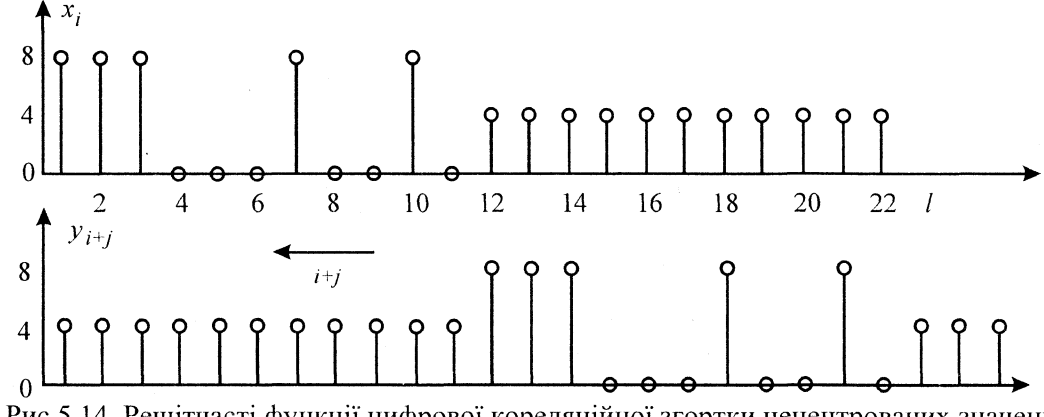


Рис.5.14. Решітчасті функції цифрової кореляційної згортки нецентрованих значень 11-бітного коду Баркера

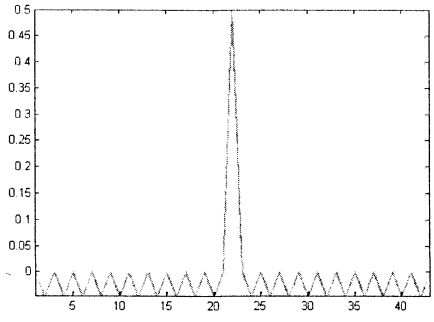
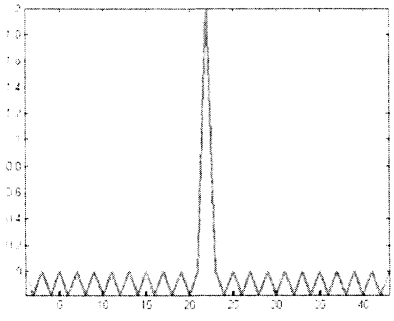
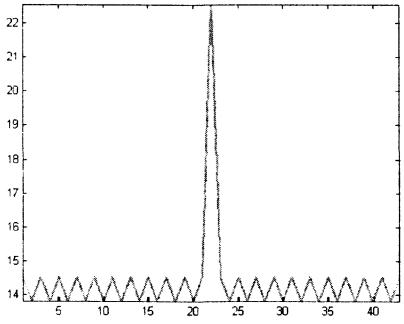
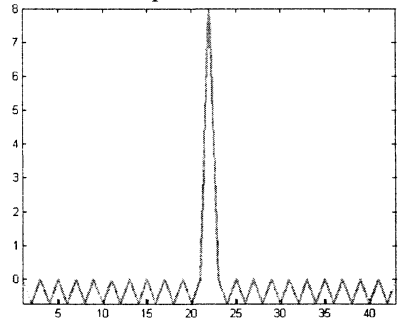
В табл.5.12 видно, що спрощення алгоритмів цифрової згортки кодів Баркера приводить до відповідного погіршення характеристик кореляційних функцій. Очевидно, що причиною такого ефекту є невідповідність аналітики модульної $G_{xx}(j)$ та еквівалентної $F_{xx}(j)$ кореляційних функцій умові мультиплікативного перемноження кодів Баркера. Тому може бути справедлива гіпотеза, що для покращення кореляційних характеристик названих функції можливе існування інших ШКП.

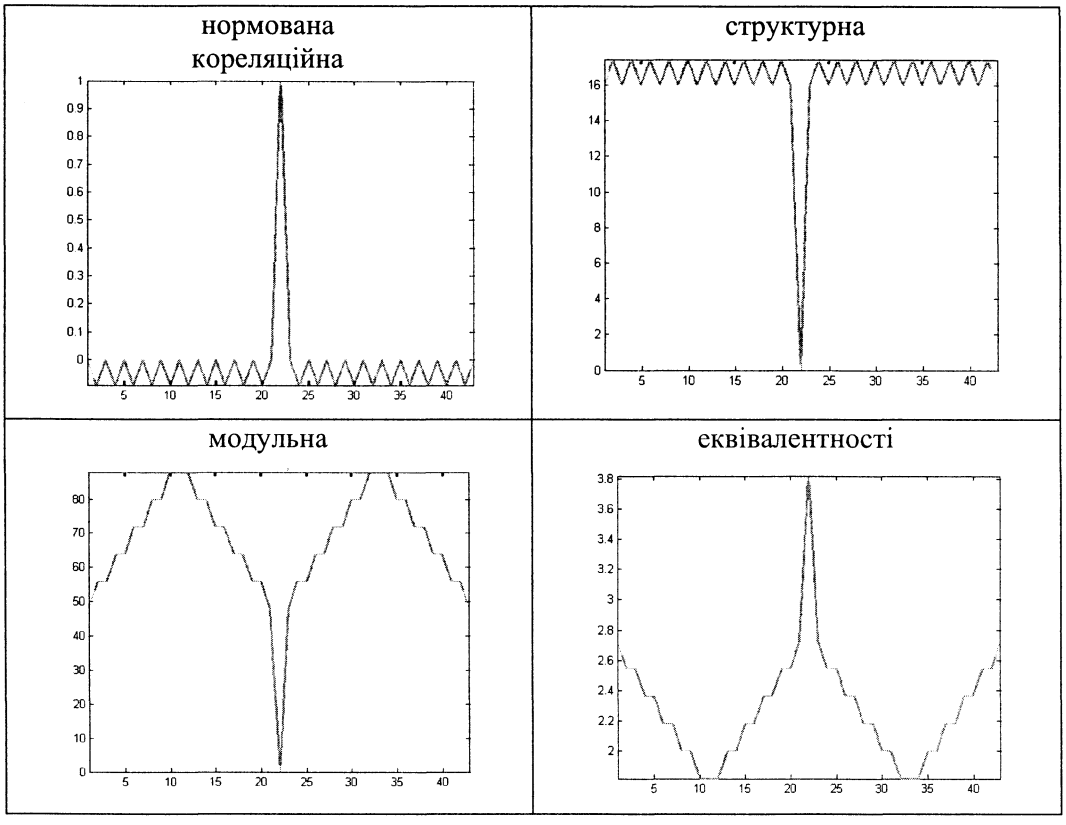
Для передавання інформації використовують, як правило, кілька ШКП, наприклад, одну - для передавання нулів, а іншу - для передавання одиниць. Часто в якості другої ШКП використовують інверсію або фазовий зсув першої, при цьому головною умовою для вибору пари послідовностей є мінімальні значення бокових пелюсток кореляційних згорток на границях маніпульованих ШКП: прикладом генератора таких маніпульованих ШКП є структура, в якій використовується інверсія ключа коду Галуа. Перевагою кодів Баркера по відношенню до М-послідовностей максимальної довжини в даному випадку є відсутність перехідних процесів за рахунок нульових захисних інтервалів.

Таким чином, недоліком відомих методів формування та цифрової обробки ШКП є одновимірність, двохрівневість та обмежене число знайдених кодів.

Таблиця 5.12

Автокореляційні функції кодів Баркера

Кореляційна функція та її графік	
знакова	релейна
	
коваріаційна	кореляційна
	



Сучасний рівень розвитку елементної та процесорної бази обчислювальної техніки створює основи для використання в КС більш складних типів сигналів та алгоритмів їх цифрової кореляційної обробки.

Одним з перспективних підходів до розвитку теорії кодів Баркера та вдосконалення їх кореляційних характеристик є пошук більш складних структур (двовимірності, багаторівневості і т.д.).

5.4.4. Теорія та системні характеристики двовимірних шумоподібних ДІ.

Проаналізувавши відомі та модифіковані коди Баркера від 3 до 25 розрядів, можна зробити висновок, що ефективні ШКП мають приблизно рівну кількість нулів та одиниць у своєму коді, тобто

$$\sum_i a_i - \sum_j b_j = \pm 1 \; ; \; i+j=l, \tag{5.34}$$

де $\sum_i a_i$ - кількість нульових елементів, а $\sum_j b_j$ - кількість одиничних елементів.

Причому рівність у виразі (5.34) справедлива лише для ШКП, які мають максимальний рівень бокової пелюстки –1. Аналіз табл. 5.10 та кореляційних характеристик модифікованих кодів Баркера показує, що діапазон зміни максимальних значень бокових пелюсток автокореляційних функцій при зростанні розрядності кращих знайдених кодів в діапазоні розрядностей 25-32 біт не

перевищує величину ± 4. Тому теоретичні границі модифікованих кодів Баркера великої розрядності можна представити у вигляді

$$\sum_i a_i - \sum_j b_j \le \pm 4; \quad i + j = l. \tag{5.35}$$

На рис.5.15 показана кореляційна характеристика модифікованого коду Баркера -1 1 1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 (*l=25*), який відповідає умові (5.35)

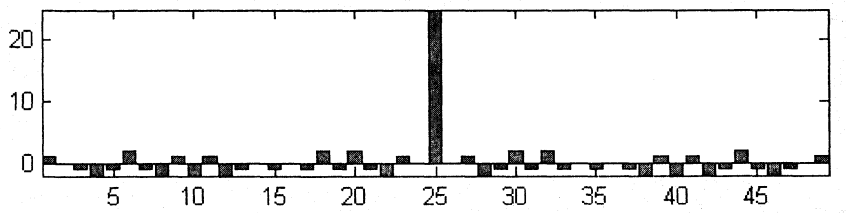


Рис.5.15. Кореляційна функція модифікованого коду Баркера.

Встановлена властивість відомих одновимірних ШКП дозволяє суттєво звузити границі їх пошуку внаслідок лінійної характеристики зони їх існування при представленні числових значень кодових послідовностей в залежності від розрядності у двійковому логарифмічному масштабі, що показано на рис.5.16.

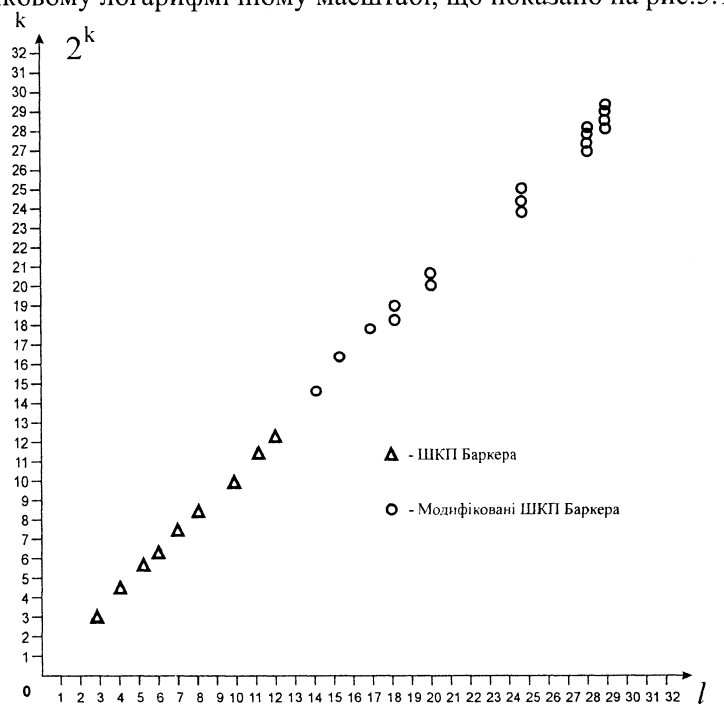


Рис.5.16. Позиції ШКП та їх числові представлення у двійковій системі числення.

З даного рисунку видно, що зі зростанням довжини кодової послідовності збільшується її діапазон представлення, а, отже, і кількість кодів для даної розрядності.

Використання даної залежності дозволяє значно скоротити час пошуку ефективних ШКП великої розрядності. Для пошуку двовимірних ШКП запропоновано рівняння (5.35) у вигляді:

$$\sum_i a_i - \sum_j b_j \le \pm 4; \quad i + j = h \cdot m, \tag{5.36}$$

де h, m – відповідно число рядків та стовпчиків матриці двовимірного коду.

Розроблена аналітика розрахунку кореляційних характеристик ШКП на основі двовимірних кореляційних функцій, які враховують різні можливі способи перемноження матриць двовимірних кодів:

$$K_{(x,y)} = \sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m} x_{i,j} \cdot y_{i,j} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{h} x_{i,j} \cdot y_{i,j};$$

$$K_{(x,y)} = \sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m} x_{i,j} \cdot y_{i,j} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=h}^{1} x_{i,j} \cdot y_{i,j};$$

$$K_{(x,y)} = \sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m} x_{i,j} \cdot y_{i,j} + \sum_{i=m}^{1}\sum_{j=1}^{h} x_{i,j} \cdot y_{i,j};$$

$$K_{(x,y)} = \sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m} x_{i,j} \cdot y_{i,j} + \sum_{i=m}^{1}\sum_{j=h}^{1} x_{i,j} \cdot y_{i,j},$$

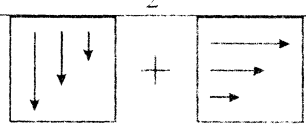
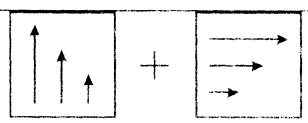
де x_{ij}, y_{ij} – відповідно елементи інформаційного та еталонного двовимірних кодів Баркера.

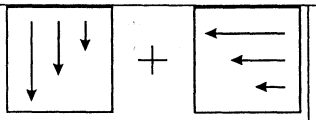
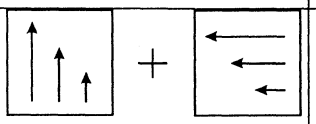
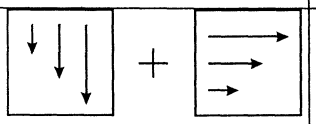
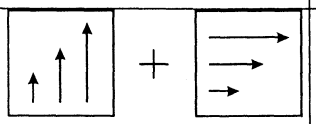
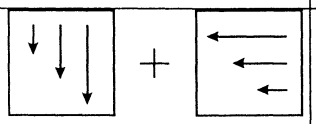
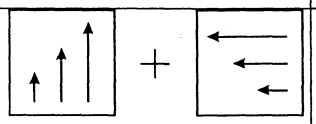
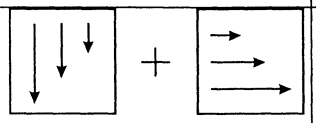
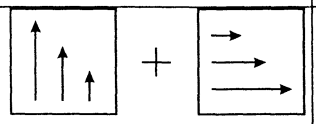
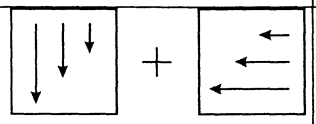
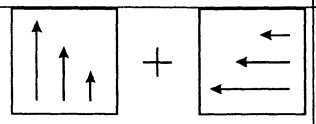
При цьому в процесі двовимірної кореляційної згортки ДШКП виконується попередня рандомізація елементів матриці еталонного коду.

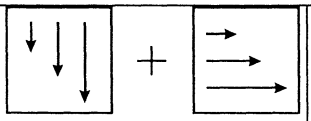
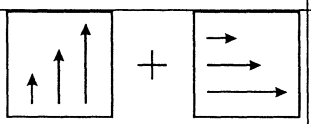
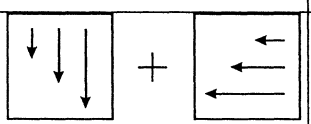
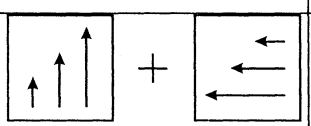
В табл.5.13 представлені різні алгоритми цифрової кореляційної обробки двовимірних ШКП.

Таблиця 5.13

Алгоритми кореляційної обробки двовимірних ШКП

№	Графічне представлення	Вираз
1	2	3
1		$K(x,y) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{h} F(x_{i,j}, y_{i,j}) + \sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m} F(x_{i,j}, y_{i,j})$
2		$K(x,y) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=h}^{1} F(x_{i,j}, y_{i,j}) + \sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m} F(x_{i,j}, y_{i,j})$

3		$K(x,y)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{h}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$
4		$K(x,y)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=h}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$
5		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=1}^{h}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m}F(x_{i,j},y_{i,j})$
6		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=h}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=1}^{m}F(x_{i,j},y_{i,j})$
7		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=1}^{h}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$
8		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=h}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=1}^{h}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$
9		$K(x,y)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{h}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=1}^{m}F(x_{i,j},y_{i,j})$
10		$K(x,y)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=h}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=1}^{m}F(x_{i,j},y_{i,j})$
11		$K(x,y)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{h}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$
12		$K(x,y)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=h}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$

13		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=1}^{h}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=1}^{m}F(x_{i,j},y_{i,j})$
14		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=h}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=1}^{m}F(x_{i,j},y_{i,j})$
15		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=1}^{h}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$
16		$K(x,y)=\sum_{i=m}^{1}\sum_{j=h}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})+\sum_{j=h}^{1}\sum_{i=m}^{1}F(x_{i,j},y_{i,j})$

В таблиці 5.13 в якості функцій цифрової кореляції $K(x,y)$ можуть бути ефективно використані аналітичні вирази з табл. 5.11 $H_{xy}(j)$, $B_{xy}(j)$, $K_{xy}(j)$, $R_{xy}(j)$, $\rho_{xy}(j)$, $C_{xy}(j)$, $G_{xy}(j)$, $F_{xy}(j)$, а в якості функцій $F(x_{i,j},y_{i,j})$ відповідно: $sign(\dot{x}_i)\cdot sign(\dot{y}_{i+j})$ – для знакової; $\dot{x}_i\cdot sign(\dot{y}_{i+j})$ – для релейної; $x_i\cdot y_{i+j}$ – коваріаційної; $(\dot{x}_i\cdot\dot{y}_{i+j})/\delta_x\cdot\delta_y$ – нормалізованої кореляційної; $(x_i\cdot y_{i+j})^2$ – структурної; $|x_i|\cdot|y_{i+j}|$ – модульної; $\overset{\vee}{Z}(x_i,y_{i+j})$ – еквівалентності.

При цьому для аналізу впливу завад в каналах зв'язку на двовимірні ШКП, може бути використаний розроблений метод цифрової кореляційної обробки кодів Баркера на основі їх багаторівневих центрованих моделей.

Розроблені теоретичні області існування одновимірних ШКП та можливої області існування двовимірних ШКП, а також аналітика кореляційних характеристик двовимірних ШКП лягла в основу програмного інструментарію моделювання та їх пошуку при заданих характеристиках розрядності, а також максимальних значень основних та бокових пелюсток кореляційних функцій.

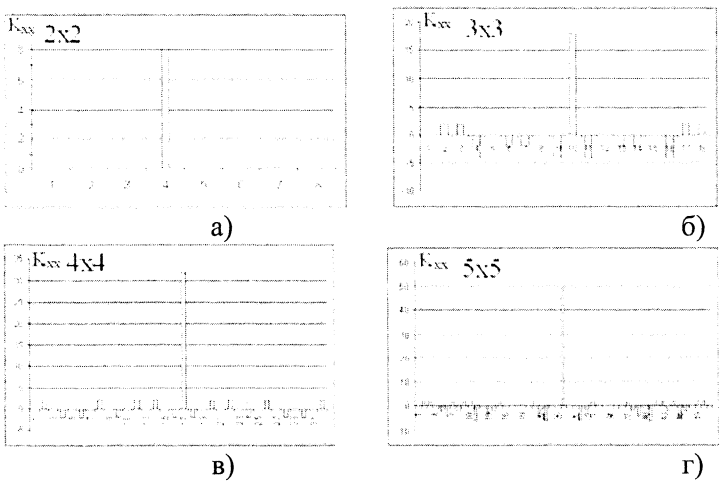
5.4.5. Моделювання автокореляційних характеристик ДІ на основі двовимірних кодів Баркера.

Комп'ютерне моделювання характеристик двовимірних ШКП проведене згідно виразів (5.36), (5.37) та аналітичних виразів з табл. 5.11, при умові h=m, дозволило вперше отримати кодові матриці (рис.5.17) двовимірних ШКП, які задовільняють умові (5.36), та графіки їх кореляційних характеристик, що показані на рис.5.18.

1	1		1	1	0		1	1	1	1		1	0	0	1	0
1	0		1	0	1		1	0	1	0		0	1	0	1	0
			0	0	1		1	1	0	0		1	0	0	0	0
							1	0	0	1		0	0	1	1	1
												0	0	1	1	1

а) б) в) г)

Рис.5.17. Матриці двовимірних кодів (а) 2х2, б) 3х3, в) 4х4, г) 5х5)



а) б)

в) г)

Рис.5.18. Графіки кореляційних властивостей двовимірних кодів для матриць.

На рис.5.19 показано область існування знайдених та прогнозованих двовимірних ШКП.

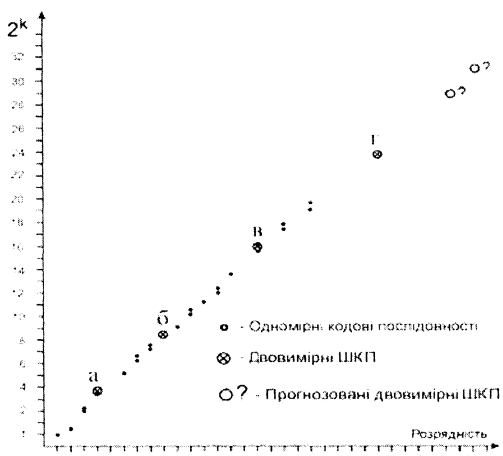


Рис.5.19. Області існування відомих одновимірних та знайдених двовимірних ШКП з найкращими кореляційними властивостями.

В результаті виконаного моделювання та пошуку двовимірних ШКП згідно умови (5.36) отримані їх характеристики для різних значень h, m, які розраховані

згідно аналітичних виразів запропонованих алгоритмів двовимірної кореляційної обробки (табл.5.13) при виконанні умови (5.36). Кращі з отриманих кодових послідовностей розмірністю 3×3, 4×4, 5×5 представлені в табл.5.14.

Таблиця 5.14

Знайдені двовимірні ШКП та їх кореляційні функції

Розмір, матриці та № алгоритму (табл.5.13)	Двовимірний ШКП + =1; - = -1	Бокова, пелюстка L_i max	Кореляційна функція	Головна пелюстка, L_0
1	2	3	4	5
3x3, (6)	---++--+-	2	18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	18
	--+++-++-		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	-+--++---		18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	
	-++-+++--		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	+--+---++		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	+-++--+++		18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	
	++---+--+		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	+++--++-+		18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	
3×3 (5)	-+-++----	2	14 -4 2 0 -4 2 2 0 2	14
	-+-+++---		14 -4 0 -6 0 -2 2 0 2	
	+-+---+++		14 -4 0 -6 0 -2 2 0 2	10
	+-+--++++		14 -4 2 0 -4 2 2 0 2	
3x3, (15)	---++--+-	2	14 -4 -2 0 0 2 2 0 2	14
	-+-+++---		14 -4 0 -6 0 -2 2 0 2	
	+-+---+++		14 -4 0 -6 0 -2 2 0 2	10
4x4, (5)	--++++-+--+---+-	0	32, -2, 0, 2, -4, -2, -4, 2, -4, -2, -4, 2, 4, -2, 0, 2	20
	-+---+--+-++++--		32, -2, 0, -10, 0, 2, 0, -2, 4, -6, 0, -2, 0, 2, 0, 2	
4x4, (6)	-+-+-++--+++---	2	32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, 2, 0, -2, -4, 2, -4, 2, 0, 2	20
4x4, (7)	-+-+-++--++++--		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, -2, -4, 2, 4, 2, 4, -6, 0, 2	20
	-++----+++-+-+--		32, -2, 0, -6, -4, -2, -4, -2, 0, 2, 4, 2, -4, -2, 0, 2	
4x4, (13)	-+---+--+-++++--		32, -2, 0, -6, -4, -2, -4, -2, 0, 2, 4, 2, -4, -2, 0, 2	32
	-+-+-++--+++---		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, -2, -4, 2, 4, 2, 4, -6, 0, 2	
	-+-+-++--++++--		32, -2, 0, 2, -4, -2, -4, 2, -4, -2, -4, 2, 4, -2, 0, 2	
	-++----+++-+-+--		32, -2, 0, 2, -4, -2, -4, 2, -4, -2, -4, 2, 4, -2, 0, 2	

4x4, (13)	-++--+-+-++++--		32, -2, 0, -10, 0, 2, 0, -2, 4, -6, 0, -2, 0, 2, 0, 2	32
	+--++++---+-+-++		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, 2, 0, -2, -4, 2, -4, 2, 0, 2	
	+-+-+--++---++++		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, -2, -4, 2, 4, 2, 4, -6, 0, 2	
5x5, (13)	-+---++---+-+--+--++++++-	4	50, 0, -2, 0, 2, 4, -6, 0, -2, 4, -2, 0, -10, 4, 2, -4, -2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2	50
	-++++++--+--+-+---++---+-		50, 0, -2, 0, 2, 4, -6, 0, -2, 4, -2, 0, -10, 4, 2, -4, -2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2	
	+------++-++-+-+++--+++-+		50, 0, -2, 0, 2, 4, -6, 0, -2, 4, -2, 0, -10, 4, 2, -4, -2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2	
	+-+++--+++-+-++-++------+		50, 0, -2, 0, 2, 4, -6, 0, -2, 4, -2, 0, -10, 4, 2, -4, -2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2,	

Результати комп'ютерного моделювання двовимірних ШКП показали, що найвищий рівень головної пелюстки циклічної кореляційної функції забезпечують 1-й та 6-й алгоритми (табл.5.13). Найефективніші двовимірні коди з максимальною різницею між величиною головної та бокової пелюсток кореляційних функцій подані в табл.5.15.

Таблиця 5.15

Найефективніші двовимірні ШКП та їх кореляційні функції

Розмір матриці	Двовимірний ШКП, - =1; + = -1	Бокова пелюстка L_i, max	Кореляційна функція	Головна пелюстка, L_0
3x3 (6)	---++--+-	2	18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	18
	--+++-++-		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	-+--++---		18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	
	-++-+++--		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	+--+---++		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	+-++--+++		18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	
	++---+--+		18, 0, -6, 0, 2, 0, -6, 0, 2	
	+++--++-+		18, 0, -6, 0, 2, 0, 2, 0, 2	
4x4 (6)	----+++--++-+-+-	4	32, -2, 0, -10, 0, 2, 0, -2, 4, -6, 0, -2, 0, 2, 0, 2	32
	---+-+--+++-++--		32, -2, -4, -2, 4, 2, -8, 2, -4, -2, 0, -2, -4, 2, 4, 2	
	---++++--++-+-+-		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, 2, 0, -2, -4, 2, -4, 2, 0, 2	

4x4 (6)	---++++-+-+--++-	4	32, -2, 0, -6, -4, -2, -4, -2, 0, 2, 4, 2, -4, -2, 0, 2	32
	--+-+-+++----++-		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, -2, -4, 2, 4, 2, 4, -6, 0, 2	
	--++++-+--+---+-		32, -2, 0, 2, -4, -2, -4, 2, -4, -2, -4, 2, 4, -2, 0, 2	
	--++++-+--+---+-		32, -2, 0, 2, -4, -2, -4, 2, -4, -2, -4, 2, 4, -2, 0, 2	
	-+---+--+-++++--		32, -2, 0, -10, 0, 2, 0, -2, 4, -6, 0, -2, 0, 2, 0, 2	
	-+-+-++--+++----		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, 2, 0, -2, -4, 2, -4, 2, 0, 2	
	-+-+-++--++++--		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, -2, -4, 2, 4, 2, 4, -6, 0, 2	
	-++----+++-+-+--		32, -2, 0, -6, -4, -2, -4, -2, 0, 2, 4, 2, -4, -2, 0, 2	
	-++--+-+-++++--		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, 2, 0, -2, -4, 2, -4, 2, 0, 2	
	+--++++---+-+-++		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, -2, -4, 2, 4, 2, 4, -6, 0, 2	
	+-+-+--++---++++		32, -2, 0, -10, 0, 2, 0, -2, 4, -6, 0, -2, 0, 2, 0, 2	
	+-+++-++-+----++		32, -2, 0, 2, -4, -2, -4, 2, -4, -2, -4, 2, 4, -2, 0, 2	
	++----+-++-+++-+		32, -2, 0, 2, -4, -2, -4, 2, -4, -2, -4, 2, 4, -2, 0, 2	
	++--+---++-+-+++		32, -2, -4, -2, 4, 2, -8, 2, -4, -2, 0, -2, -4, 2, 4, 2	
	++-+-+---++++--+		32, -2, 0, -10, -4, -2, 4, -2, -4, 2, 4, 2, 4, -6, 0, 2	
	+++-+-++---+--++		32, -2, -4, -2, 4, 2, -8, 2, -4, -2, 0, -2, -4, 2, 4, 2	
	++++---++--+-+-+		32, -2, 0, -10, 0, 2, 0, -2, 4, -6, 0, -2, 0, 2, 0, 2	
5x5 (6)	-+---++---+-+--+--++++++-	4	50, 0, -2, 0, 2, 4, -6, 0, -2, 4, -2, 0, -10, 4, 2, -4, -2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2	50
	-++++++--+--+-+---++---+-		50, 0, -2, 0, 2, 4, -6, 0, -2, 4, -2, 0, -10, 4, 2, -4, -2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2	
	+------++-++-+-+++--+++-+		50, 0, -2, 0, 2, 4, -6, 0, -2, 4, -2, 0, -10, 4, 2, -4, -2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2	
	+-+++--+++-+-++-++------+		50,0,-2,0,2,4,-6,0,-2,4,-2,0,-10,4, 2,-4,-2, 4, -6, -8, -2, 0, 2, -4, 2	

Результати комп'ютерного моделювання дозволили встановити, що існує значна кількість двовимірних ШКП з заданими кореляційними характеристиками, в яких максимальний рівень бокової пелюстки не перевищує рівень +2. Так, кількість знайдених кодів, які відповідають вказаній умові, а величина головної пелюстки кореляційної функції наближається до максимальної, становить: 3×3 – 352; коди; 4×4 – 758; 5×5 – 1448.

Аналіз ефективності знайдених двовимірних ШКП у порівнянні з одновимірними виконаємо згідно виразу (5.32), де L_0=h·m. Результати порівняння кореляційних характеристик двовимірних ШКП з одновимірними показані на рис.5.20.

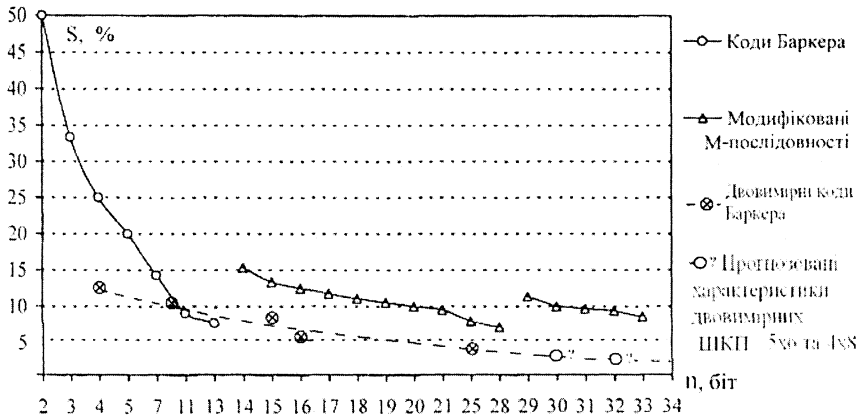


Рис.5.20. Залежність максимуму бокової пелюстки для кодів Баркера та інших ШКП від довжини коду

З рис.5.20 видно, що знайдені двовимірні ШКП мають суттєво кращі характеристики ефективності згідно оцінки (5.32) по відношенню до відомих одновимірних та модифікованих кодів Баркера.

Оскільки найважливішою характеристикою завадозахищеності кодів Баркера при заданій швидкості передавання даних є відношення різниці між величиною головного пелюстка та максимальним значенням позитивного викиду бокового пелюстка кореляційної функції до розрядності коду, дослідження характеристик двовимірних ШКП доцільно виконати згідно аналітичного виразу

$$V = \frac{(L_0 - L_{i\max})^2}{2n}; \quad L_0 - L_{i\max} > 0, \tag{5.38}$$

де L_0, $L_{i\max}$ - відповідно значення головної та максимальної бокової пелюстки кореляційної функції, 2n враховує довжину ШКП Баркера з захисною послідовністю нульових бітів, а коефіцієнт степені в чисельнику враховує ступінь завадозахищеності ШКП.

На рис.5.21 показано порівняння згідно критерію (5.38) характеристик відомих одновимірних та двовимірних ШКП в залежності від розрядності кодів n.

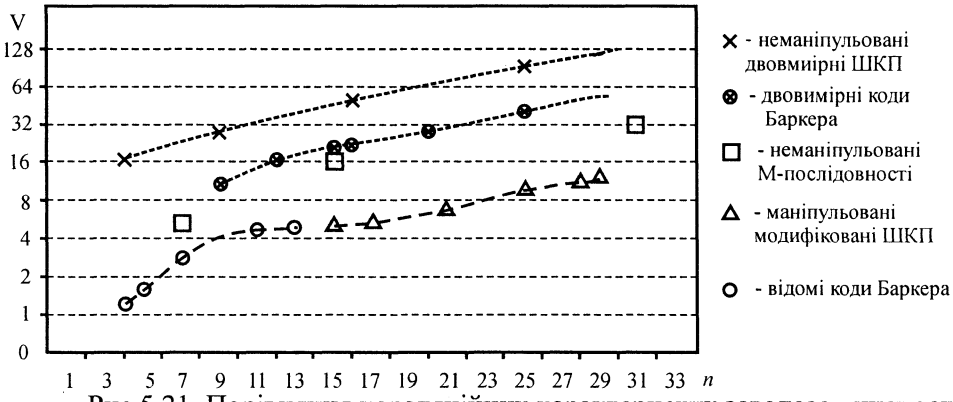


Рис.5.21. Порівняння кореляційних характеристик завадозахищеності одновимірних та двовимірних ШКП

З рис.5.21 видно, що знайдені на основі розроблених теоретичних положень двовимірні коди Баркера та ШКП характеризуються стійкими перевагами, які зростають при зростанні розрядності кодових послідовностей.

При цьому найкращі кореляційні властивості, а відповідно максимальну завадозахищеність, мають знайдені неманіпульовані двовимірні ШКП (×). Даний тип сигналів найефективніше можна використовувати в автономних сенсорах низових рівнів безпровідних РКС, які виконують функції охоронної сигналізації, формувачів сигналів синхронізації, ідентифікації відхилень технологічних параметрів від норми, екологічного моніторингу навколишнього середовища та інш.

Знайдені двовимірні коди Баркера (⊗) в класі досліджуваних кодів забезпечують максимальну швидкість передавання даних при заданій завадозахищеності. Дані кодові послідовності найефективніше застосувати в якості вихідних кодів розробленого класу спецпроцесорів низових рівнів РКС.

Кореляційні характеристики неманіпульованих одновимірних М-сигналів визначають верхню границю ефективності одновимірних ШКП і можуть використовуватися в аналогічних випадках застосування двовимірних неманіпульованих ШКП. Маніпуляцію даних кодів, як показано в роботі, найефективніше виконувати на основі інвертування кодового ключа коду Галуа, що забезпечує мінімальні викиди бокових пелюсток кореляційних функцій на границях маніпульованих кодів.

Характеристики відомих кодів Баркера (○) та модифікованих М-послідовностей (△), представлені на рис.5.21, відображають верхню границю завадозахищеності одновимірних маніпульованих ШКП. Дані коди знайшли широке застосування в сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних мережах при побудові спецпроцесорів низових рівнів РКС а також в стандартних технологіях DSSS та FHSS.

Аналіз графіків на рис.5.21 дозволяє оцінити переваги завадозахищеності розроблених двовимірних ШКП по відношенні до відомих кодів Баркера та одновимірних М-послідовностей згідно виразу

$$S_{ШКП} = \frac{V_2}{V_1},$$

де V_2, V_1 – відповідно параметр ефективності двовимірних та одновимірних ШКП.

Порівняння виконаємо в діапазоні розрядностей знайдених двовимірних ШКП n=9-25, що відповідає зростанню завадозахищеності розроблених кодів при однаковій швидкості передавання даних в 3,03-3,35 рази.

Порівняння характеристик неманіпульованих одновимірних та двовимірних ШКП на основі екстраполяційного прогнозування в діапазоні n=7-31 відповідає відносному підвищенню завадозахищеності останніх в середньому в 2,6 рази.

Проведені дослідження характеризують потенційні можливості одновимірних та двовимірних ШКП без впливу завад в каналах зв'язку, які можуть приводити до спотворення кодових послідовностей та погіршення їх кореляційних властивостей. Тому доцільно провести дослідження рівня стійкості досліджуваного класу кодів шляхом моделювання впливу адитивних завад.

5.4.6. Теорія впливу помилок на двовимірні псевдовипадкові ДІ.

Аналіз впливу завад на кореляційні характеристики двовимірних та одновимірних ШКП виконаємо шляхом порівняння погіршення їх характеристик згідно критерію (5.38) при появі в кодах однократних та багатократних помилок. В якості базових кодів ШКП з невеликою найбільш близькою розрядністю використаємо запропонований двовимірний ШКП Баркера розмірністю 4×4 та відомий одновимірний код Баркера довжиною 13 біт

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{matrix}, \qquad 1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1.$$

Оскільки обмін даними між віддаленими процесорами в комп'ютерних системах виконується у вигляді біт-орієнтованих кодів, двовимірні ШКП розгортаються і передаються у вигляді одновимірних кодових послідовностей, даний код приймає наступний вигляд

$$1\,1\,0\,0\,0\,0\,1\,0\,1\,1\,0\,1\,1\,1\,0\,1. \qquad (5.39)$$

В зв'язку з тим, що цифрова кореляційна обробка ШКП виконується на основі знакової функції $H_{xx}(j)$ (табл. 5.11) над центрованими значеннями, біт-орієнтована кодова послідовність двовимірного ШКП переводиться з логічного базису у базис дискретних ортогональних функцій шляхом заміни символів "1" на "-1", а відповідно "0" на "1", тоді одновимірне логічне представлення двовимірного ШКП (5.39) отримає наступний вигляд

$$-1\ -1\ 1\ 1\ 1\ 1\ -1\ 1\ -1\ -1\ 1\ -1\ -1\ -1\ 1\ 1\ -1$$

або, як це показано в табл. 5.12, у вигляді послідовності символів

− − + + + + − + − − + − − − + −.

З врахуванням захисних нульових інтервалів кодових послідовностей Баркера дані базові коди для порівняння їх характеристик отримають вигляд:

1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 – код Баркера;

-1,-1,1,1,1,1,-1,1,-1,-1,1,-1,-1,-1,1,-1, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 – двовимірний ШКП.

Для виявлення погіршення взаємокореляційних властивостей вибраних ШКП в досліджувану кодову послідовність, для якої розраховувалась взаємокореляційна функція, вводились однократні та багатократні помилки, які полягали в інвертуванні одного чи кількох бітів коду. Оскільки досліджувані коди при інвертуванні певних бітів мало чутливі до цих змін, то з отриманих результатів вибирались ті, що приводять до найбільшого зниження ефективності кодової послідовності. Кодові послідовності "змінених" ШКП та їх кореляційні функції наведені у табл.5.16 з врахуванням однократних та багатократних помилок. З метою оцінки нижніх границь погіршення властивостей досліджуваних кодів в табл.5.16 та 5.17 приведені кореляційні характеристики та графіки при максимальному впливі відповідного числа пошкоджених бітів ШКП. При відборі кодів з максимально погіршеними характеристиками застосований генетичний алгоритм, який в кожній наступній ітерації при зростанні числа пошкоджених бітів вибирає варіант з максимальним впливом попередньої ітерації.

Таблиця 5.16

Кореляційні функції ШКП з помилками

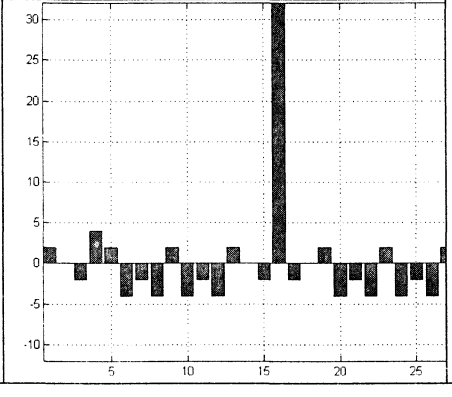
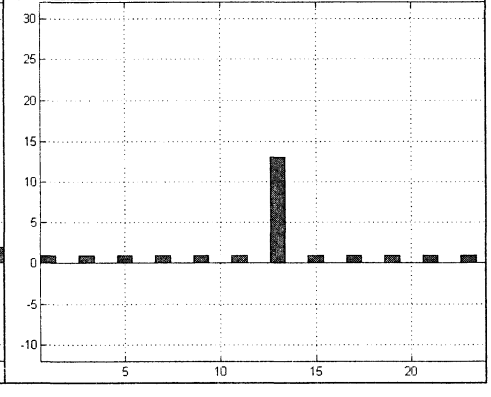
К-ть помилок	Двовимірний ШКП	Одновимірний код Баркера
0	-1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 32,-2, 0, 2,-4,-2,-4, 2,-4,-2,-4, 2, 4,-2, 0, 2	1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 13, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1
1	-1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 28,2,-4,-2,-8,2,-8,-2,0,-6,0,6,8,2,-4,-2	1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 11,2,-1,2,-1,-2,3,2,-1,-2,-1,-2,-1
2	-1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 28,2,-4,-2,-8,2,-8,-2,0,-6,0,6,8,2,-4,-2	1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 9,4,1,0,-3,0,5,4,1,0,-1,-2,-1
3	-1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 24,-2,-8,2,-12,-2,-4,-6,4,-2,4,10,4,-2,-4,-2	1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 7,6,-1,-2,-1,2,3,2,-1,-2,-3,-2,-1

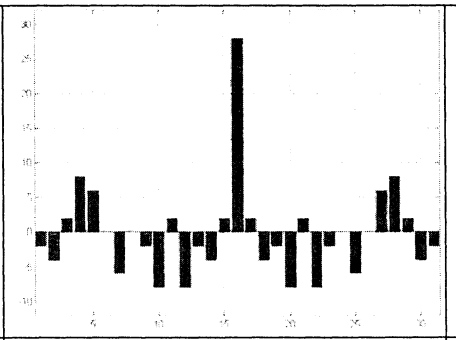
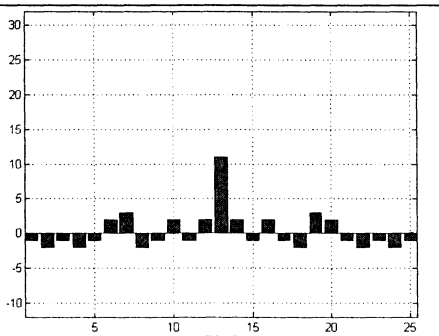
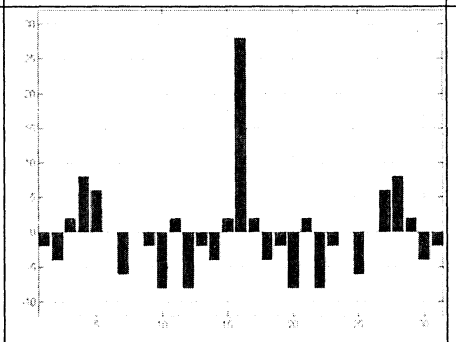
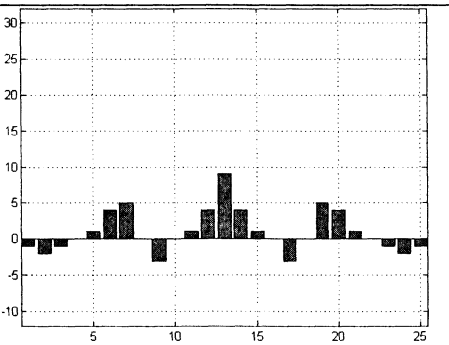
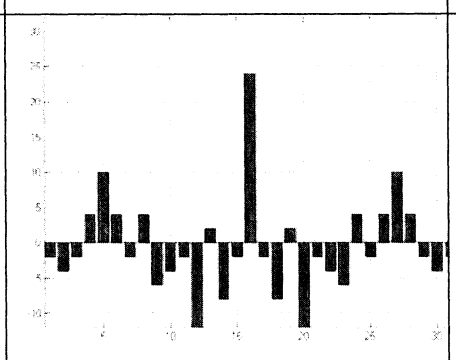
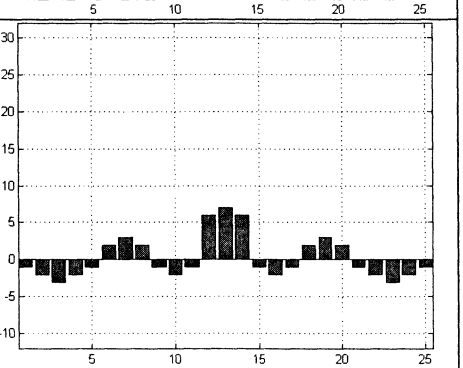
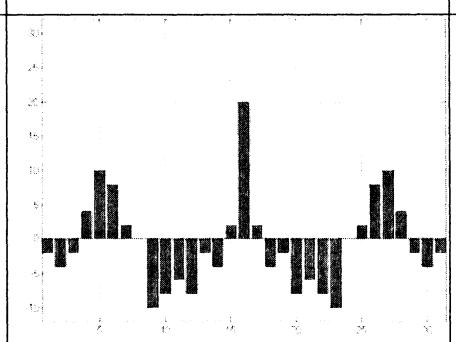
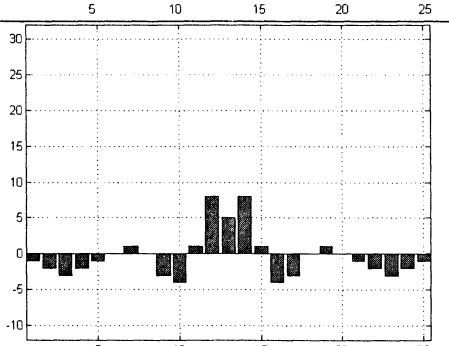
4	-1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 20,2,-4,-2,-8,-6,-8,-10,0,2,8,10,4,-2,-4,-2	1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 5,8,1,-4,-3,0,1,0,-1,-2,-3,-2,-1
5	-1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 16,6,-8,-6,-12,-10,-4,-6,0,2,8,10,4,-2,-4,-2	1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 5,8,1,-4,-3,0,1,0,-1,-2,-3,-2,-1
6	-1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 12,2,-12,-2,-8,-10,-4,-6,0,2,8,10,4,-2,-4,-2	1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1,12,1,0,1,0,-1,2,1,0,-1,0,-1
7	1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 8,2,-12,-2,-8,-10,-4,-6,0,2,8,10,4,-2,-4,-2	-1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1,12,1,0,1,0,-1,2,1,0,-1,0,-1

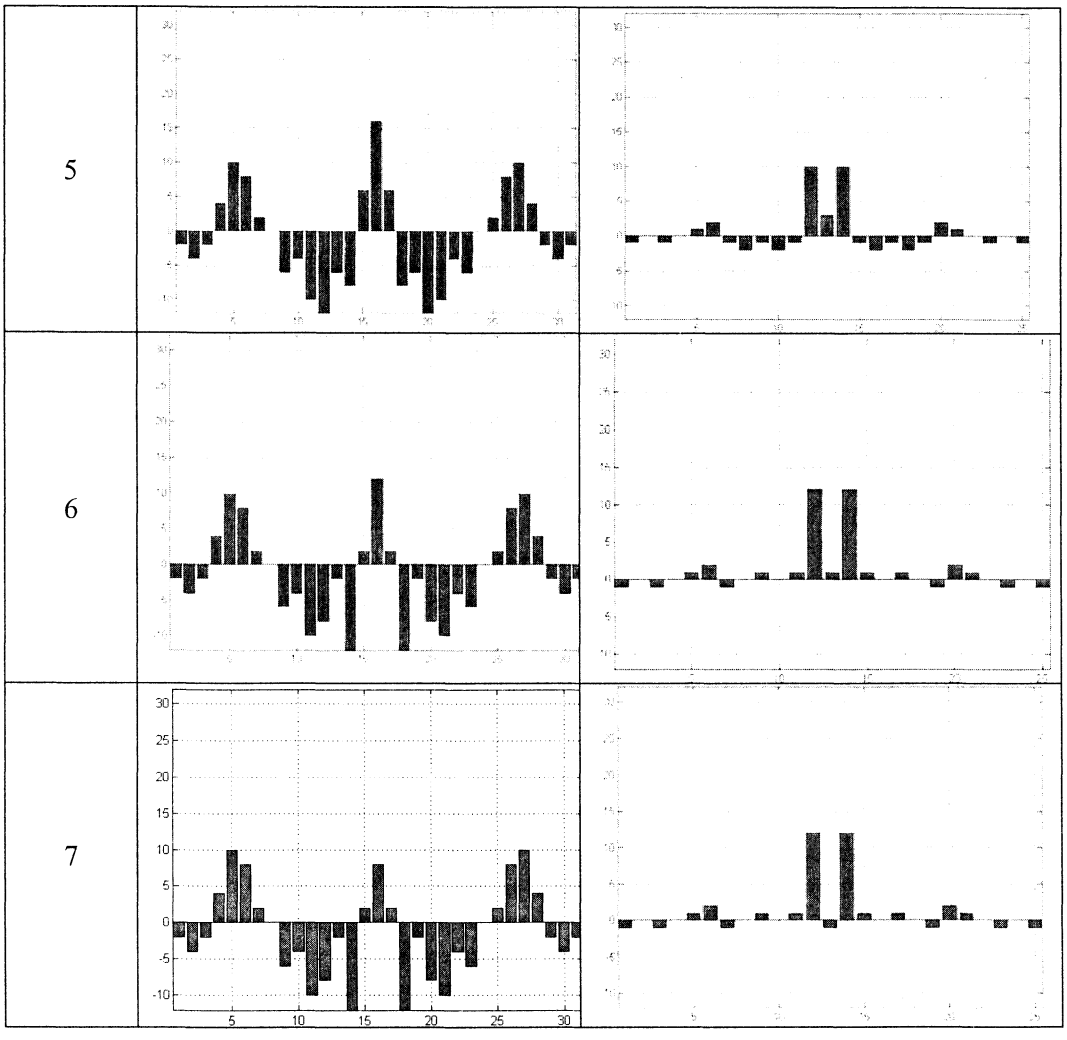
Обмеження числа помилок в досліджуваних кодах визначається до границі втрати кодами особливих кореляційних властивостей, коли величина максимальної бокової пелюстки перевищує величину головної пелюстки, тобто $L_0<L_{i\ max}$, і не виконується умова критерію 5.38.

Таблиця 5.17

Графіки кореляційних характеристик ШКП при впливі помилок

К-сть помилок	Двовимірний ШКП	Одновимірний код Баркера
1	2	3
0		

1		
2		
3		
4		

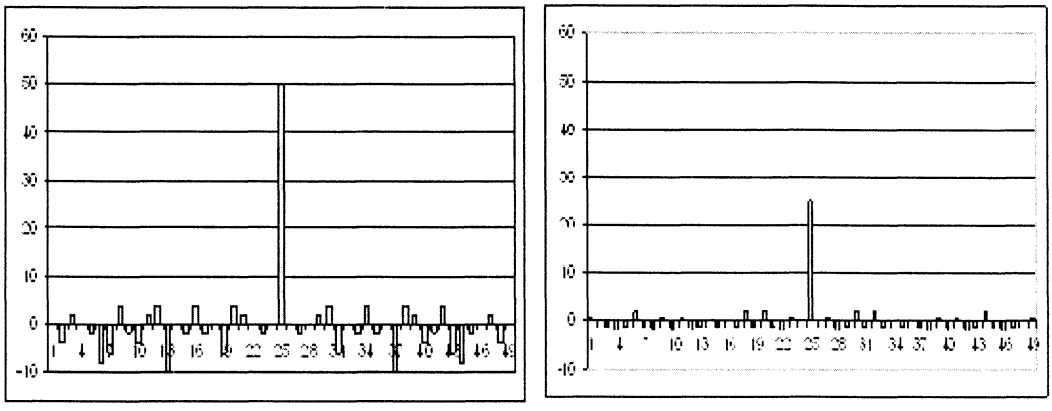


З табл.5.16 та табл.5.17 видно, що при введені помилок в код ШКП і виконанні взаємокореляційної функції з еталоном ШКП двовимірні коди характеризуються суттєво кращими характеристиками по відношенню до одновимірних, що проілюстровано в табл.5.17 при чотирьохкратній помилці.

Для перевірки даного ефекту виконаємо відповідне порівняння велико розрядних кодів однакової довжини двовимірного з розмірністю матриці 5×5 та 25-ти розрядного одновимірного модифікованого коду Баркера.

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{matrix}, \qquad 1100011111110101001001101.$$

На рис.5.22 показані графіки циклічних автокореляційних функцій базових кодів, взятих для порівняння впливу завад на їх характеристики.



а) б)

Рис.5.22. Графіки автокореляційних функцій двовимірного ШКП та одновимірного кодів ШКП однакової розрядності

З рис.5.22 видно, що при відсутності помилок в ШКП величина максимальних бокових пелюсток одновимірного коду знаходиться в границях ± 2, а в двовимірному ШКП – відповідно +4, -10. При цьому головна пелюстка двовимірного коду в 2 рази перевищує рівень головної пелюстки одновимірного коду. Величина від'ємних значень бокових пелюсток у двовимірному коді не впливає на характеристики приймання та виявлення ШКП, оскільки приймання ведеться згідно принципу амплітудної модуляції.

В табл.5.18 приведені графіки результату аналізу впливу помилок в досліджуваних кодах на їх кореляційні характеристики.

З графіків табл.5.18 видно, що дані коди втрачають особливі кореляційні властивості при шестикратній помилці, що характеризує їх стійкість до впливу завад порядку 24% до довжини коду, для малоймовірних найбільш вразливих помилок в кодах, які їх спотворюють. Оскільки ймовірність появи помилки z кратності має рівномірний розподіл і описується мультиплікативною функцією, то ймовірність втрати кодом особливих кореляційних властивостей можна розрахувати за формулою:

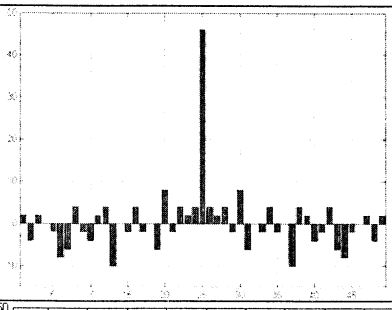
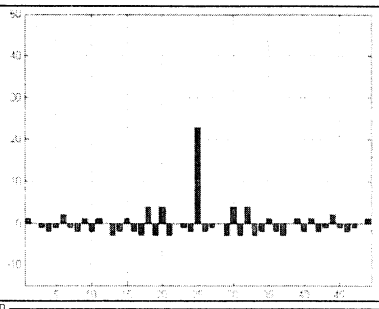
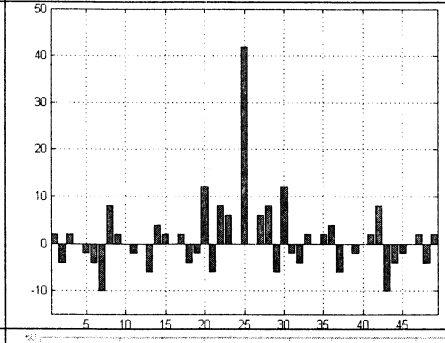
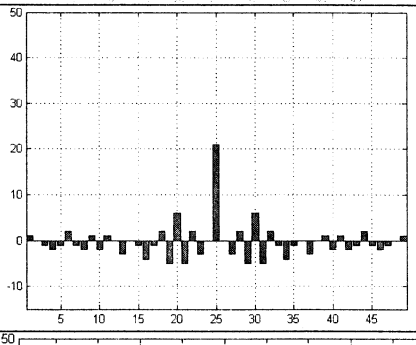
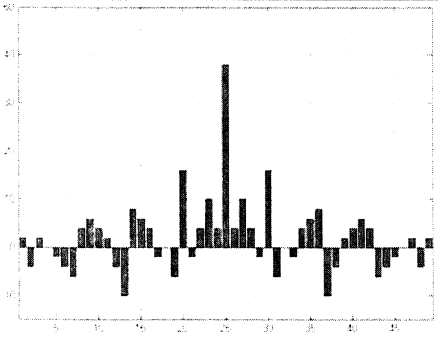
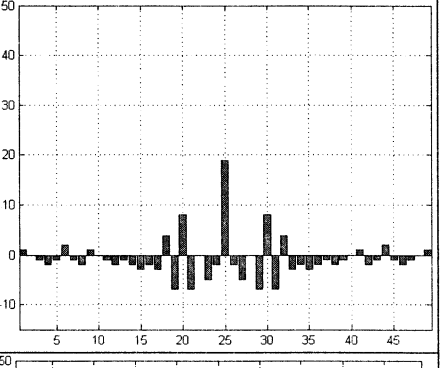
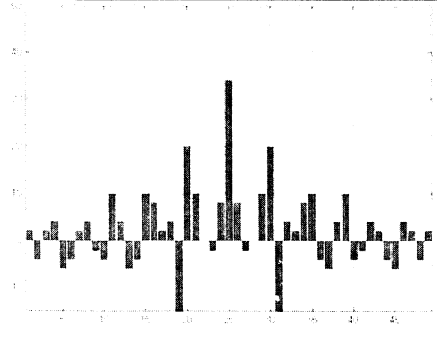
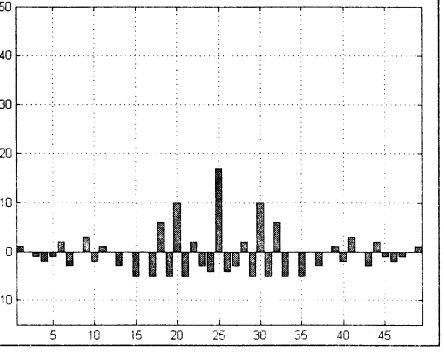
$$P_{ШКП} = \prod_{i=1}^{z} P_i ,$$

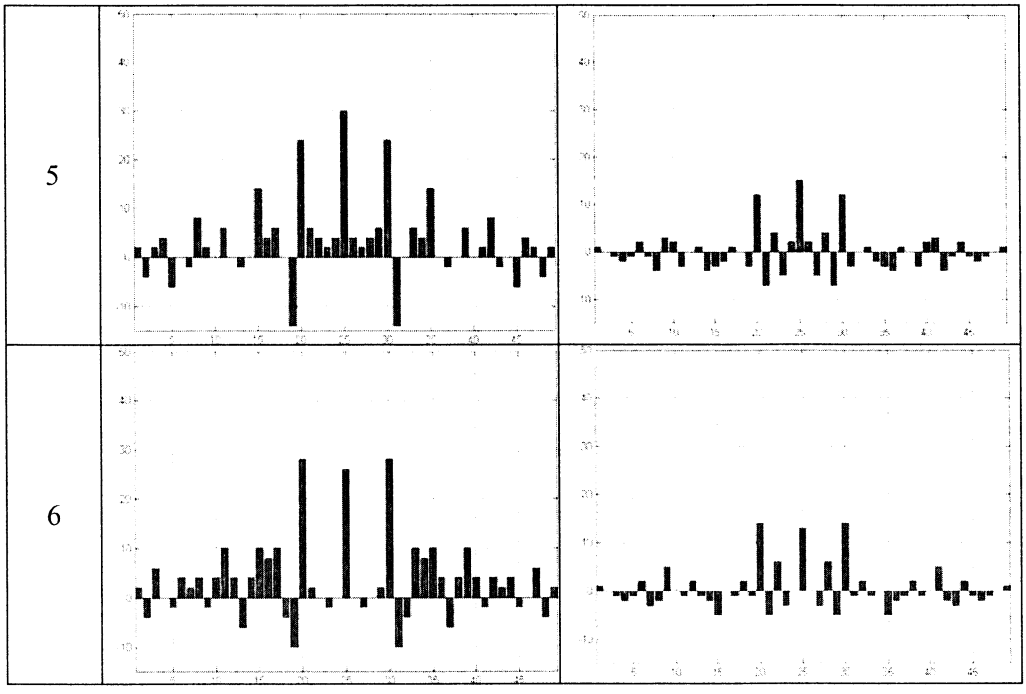
тобто для даного коду гранична ймовірність повної втрати його кореляційних характеристик рівна $0{,}24^6$.

На рис.5.23 показані характеристики зниження кореляційних властивостей досліджуваних кодів в залежності від кратності помилок та критерію ефективності (5.38).

Таблиця 5.18

Графіки кореляційних характеристик великорозрядних одновимірного та двовимірного ШКП

К-сть помилок	Двовимірний ШКП	Одновимірний ШКП
1		
2		
3		
4		



Проведений аналіз впливу помилок, які можуть виникати в ШКП внаслідок дії завад в системах обміну даними між віддаленими процесорами, результати якого приведені на рис.5.23, показує, що в залежності від числа пошкоджених бітів коди з більшою розрядністю характеризуються кращими характеристиками, а розроблені двовимірні ШКП відрізняються стійкою перевагою над іншими типами відомих кодів даного класу.

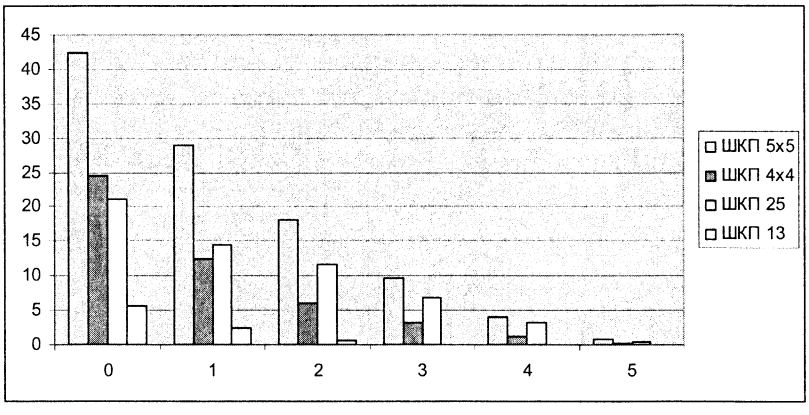


Рис.5.23. Характеристики ефективності ШКП в залежності від кратності помилок.

Проведені результати моделювання дослідження кореляційних характеристик різних типів одновимірних та запропонованих двовимірних ШКП,

як це видно з рис.5.21, демонструють тенденції покращення системних характеристик даних кодів при зростанні їх розрядності. При цьому необхідно задіювати великі мультипроцесорні ресурси для знаходження ефективних кодових послідовностей при збільшенні їх розрядності в границях 32-64 біт. В даному випадку запропонований критерій (5.34) дозволяє знайти найоптимальніші двовимірні коди з найкращими кореляційними властивостями. Слід зауважити, що в процесі аналізу виявлені окремі факти симетрії в кращих двовимірних кодах, а також наявності вставлених М-послідовностей, що є еталонними двовимірними кодами (рис.5.24).

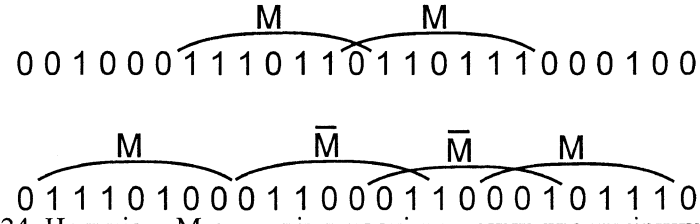
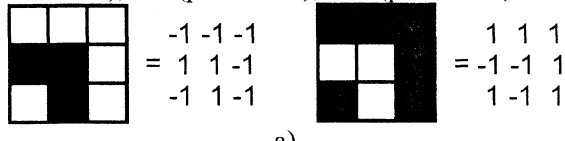


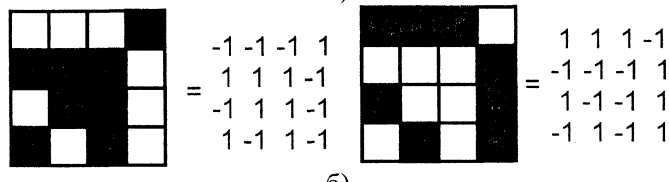
Рис.5.24. Наявність М-сигналів в досліджуваних двовимірних кодах.

Виявлені властивості симетрії та наявності фрагментів одновимірних М-послідовностей в кращих двовимірних ШКП приводить до висновку, що можуть існувати більш фундаментальні теоретико-числові основи побудови даного класу кодів і прискорення швидкості їх пошуку на числовій осі.

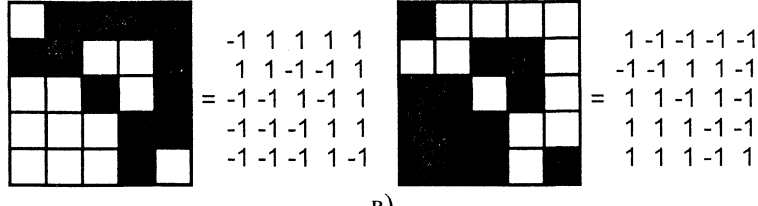
На рис.5.25 зображено графічну інтерпретацію двовимірних ШКП розрядностей 3x3 (рис.5.25а), 4x4(рис.5.25б), 5x5 (рис.5.25в).



а)



б)



в)

Рис.5.25. Графічні інтерпретації кодових матриць двомірних ШКП.

При графічній інтерпретації кодових матриць знайдених двовимірних ШКП видно симетричність їх матриць.

висунути припущення, що при подальшому дослідженні даних кодових послідовностей та розвитку їх теорії в напрямку побудови тривимірних ДІ з особливими кореляційними властивостями. Адже вони також можуть мати симетричні властивості, а це дозволяє значно спростити алгоритми пошуку ефективних ШКП великої розрядності.

5.5. Системні характеристики операторів.

Оператор представлений часом праці, швидкістю запису, швидкістю зчитування, потенційною пам'яттю та знаннями

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

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

На рис.5.26 показано основні можливі інтерфейсні зв'язки оператора з іншими системними об'єктами КС.

Рис.5.26. Інтерфейсні зв'язки оператора КС.

Системні характеристики оператора можуть змінюватися у широких границях 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, відповідальності за вчинення дії та інше. В той же час вже відомі деякі базові характеристики оператора, як системного об'єкта РКС, в тому числі:

- часовий режим роботи оператора протягом доби складає не більше 6–ти годин, тобто $T = 0{,}25$;
- допустимі часові ворота реакції на зміну даних та динаміку відображення інформації на дисплеї – $\Delta t = 1{,}8 \div 2{,}4$;
- швидкість сприймання аудіо– даних на основі стандартної ДІКМ цифрової телефонії $C = 64 Кбіт/с$;
- потенційні можливості сприймання кольорових відео–даних $V = 25 \cdot 10^{12}$ *пікселів*$/с$;

- рівень спеціальних знань оператора S можна оцінити сумарною системою знань та навиків їх використання, наприклад, володіння алгоритмічними мовами, операційними системами, САПР,

$$S = \sum_{i=1}^{n} S_i ;$$

- об'єм даних оперативної аудіо–відео пам'яті

$$W = (64 \cdot 10^3 + 25 \cdot 10^{12} \cdot T_0(бім)),$$

де $T_0 = 3600 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 40$ – час життя оператора у секундах протягом 40 років, поки нарощується оперативна нейронна пам'ять людини;

- швидкість запису даних через клавіатуру ПК, $V_R = 12 бім/с$.

Очевидно, що системні характеристики оператора є набагато потужніші, якщо врахувати інші інтерфейси вводу/виводу даних, наприклад, тактильні, нюх, смак та інше. В той же час оператор є ненадійним елементом КС, може часто помилятися, виконувати протисистемні дії та інше.

Контрольні запитання і завдання.

1. Охарактеризуйте системні об'єкти та функції драйверів глобальної моделі СКС.
2. Охарактеризуйте системні функції об'єктів глобальної моделі СКС.
3. Охарактеризуйте функціональні об'єкти СКС.
4. Поясніть взаємодію пар системних об'єктів СКС.
5. Якими ресурсними характеристиками описується процесор?
6. Охарактеризуйте системні характеристики даних.
7. Назвіть основні теоретико-числові базиси, які використовуються для кодування даних.
8. Якими недоліками характеризується базис Радемахера?
9. Дайте аналіз параметрів кодових матриць теоретико-числових базисів.
10. Які ТЧБ породжують системи числення?
11. Назвіть сфери застосування базису Уолша.
12. Які функції є основою ТЧБ Галуа?
13. Назвіть переваги базису Крестенсона при кодуванні даних.
14. Класифікуйте структуру та сферу застосування різних типів СПД.
15. В чому полягає різниця між комутацією каналів та комутацією пакетів в СПД?
16. Якими характеристиками описуються існуючі типи ліній зв'язку?
17. Якими перевагами характеризуються волоконно-оптичні лінії зв'язку?
18. Поясніть принципи розширення спектрів шумоподібних сигналів на основі методів FHSS та DSSS.
19. Охарактеризуйте кореляційні властивості сигналів Баркера?
20. Вкажіть відмінності та переваги модифікованих кодових послідовностей Баркера?
21. Назвіть автокореляційні функції та вкажіть особливості їх аналітичних виразів.

22. Визначіть теоретичні основи двовимірних модифікованих кодів Баркера.
23. Охарактеризуйте алгоритми кореляційного опрацювання двовимірних ШКП.
24. Поясніть матриці та кореляційні властивості двовимірних ШКП.
25. Якими перевагами характеризуються двовимірні ШКП по відношенню до кодів Баркера?
26. В чому переваги двовимірних ШКП по відношенню до одновимірнх кодів Баркера при виникненні помилок в каналах зв'язку?
27. Які характеристики симетрії мають двовимірні коди Баркера?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 5 РОЗДІЛУ.

1. Айфичер Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис; пер. с англ. И. Ю. Дорошенко, А. В. Назаренко. – [2-е изд.]. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 992 с.
2. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. - М.: Сов. радио. – 1968. – 460 с.
3. Алексеев В.Е. Основы информационных технологий. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений.: М.: BHV, 2006. – 320 с.
4. Алексич Г. Проблемы сходимости ортогональных рядов / Алексич Г. – М.: Инлитиздат, 1963. – 359 с.
5. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К. Р. Рао; пер. с англ. Т. Э. Кренкеля. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
6. Ахо Альфред, В. Хопкрофт, Джон, Ульман, Джеффри Структуры данных и алгоритмы.: Пер.с англ.: М.: Издательский дом "Вильямс", 2001.- 384с.
7. Бабак В. П. Детерміновані сигнали і спектри: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / В. П. Бабак, А. Я. Білецький; пер. з рос. – К.: Техніка, 2003. – 455 с.
8. Бабич М.П., Жуков І.А. Комп'ютерна схемотехніка: Навчальний посібник.– К.: „МК–Прес", 2004.– 312с.
9. Бабич Н. П. Компьютерная схемотехника. Методы построения и проектирования: учебное пособие / Н. П. Бабич, И. А. Жуков. – К.: МК–Пресс, 2004. – 576 с.
10. Блейхаут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1989. – 448 с.
11. Борисенко А. А. Системы счисления и ЭВМ / А. А. Борисенко // Вестник СумГУ. – 1996. – № 2 (6). – С. 72 – 75.
12. Бунин С. Г., Войтер А.П. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью. – Киев: Техніка, 1989. – 223с.
13. Вариченко Л. В. Абстрактные алгебраические системы и цифровая обработка сигналов / Вариченко Л. В., Лабунец В. Г., Раков М. А. – К.: Наук. думка, 1986. – 248 с.
14. Вулих Б. З. Введение в функциональный анализ / Вулих Б. З. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1967. – 416 с.
15. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи: учеб. пособие для вузов / Э. И. Гитис, Е. А. Пискулов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
16. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов / Гоноровский И. С. – [4-е изд.]. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
17. Гриценко В.И., Урсатьев А.А. Распределенные информационные системы. Состояния. Перспективы развития // Управляющие системы и машины. №4. 2003. с 11-21.
18. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия – СПб: Питер, 2000.-576 с.

19. Дейтел Х.М., Дейтел П.Дж., Чофнес Д.Р. Операционные системы. Распределенные системы, сети, безопасность - М.: БИНОМ, 2006. – 704 с.
20. Дивак М.П. Властивості інтервальних моделей при інтервальній формі їх параметрів // Сб. науч. тр. международного науч.–учеб. центра информ. технологий и систем, науч. совет НАН Украины по пробл. „Кибернетика". Моделирование и управление состоянием эколого–экономических систем региона.– К.–2001.–С.58–63.
21. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / Ингрид Добеши. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 464 с.
22. Дядюнов Н.Г. Ортогональные и квазиортогональные сигналы / Н. Г. Дядюнов, А.И.Сенин. – М.: Связь, 1977. – 222 с.
23. Ефимов А. В. Математический анализ (специальные разделы) / Ефимов А. В. – М.: Высшая школа, 1980. – 279 с.
24. Жураковський Ю.П. Теорія інформації та кодування: підручник / Ю. П. Жураковський, В. П. Полторак. – К.: Вища шк., 2001. – 255 с.
25. Задирака В.К. Цифровая обработка сигналов / В.К. Задирака, С. С. Мельникова. – К.: Наук. думка, 1993. – 294 с.
26. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении связи и других областях / Залманзон Л. А. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 496 с.
27. Канторович Л.В. Функциональный анализ в нормированных пространствах / Канторович Л.В., Акилов Г.П. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1959. – 684 с.
28. Карповский М. Г. Спектральные методы анализа и синтеза дискретных устройств / М. Г. Карповский, Э. С. Москалев – Л.: Энергия, 1973. – 144 с.
29. Корнилов А.И., Семенов М.Ю., Ласточкин О.В. Принципы построения модулярных индексных умножителей // Известия ВУЗов. Электроника. – 2004. - №2. – С.48-55.
30. Коутс Л., Олейник И. Интерфейс „человек - компьютер".- М.: Мир, 1993.- 400 с.
31. Культин Н.Б. Delphi в задачах и примерах. – М.: Вильямс, 2004. – 288 с.
32. Левицький А.О. Метод формування повідомлень на основі інтегрально-імпульсних моделей. // BISTRO/96/052 Матеріали 2-ї Міжн. наук.-практ. конф. «Управління енерговикористанням». – Львів. – 1997. – С.36-39.
33. Литвин А.И., Май А.И., Писаренко Л.А. Организация векторных вычислений спектральных коэффициентов преобразования Хаара // Тезисы докладов междунар. конф. по вычислительной математике (МКВМ-2002).- Новосибирск.- 2002.
34. Логунова О.С., Ячиков И.М., Ильина Е.А. Человеко-машинное взаимодействие: теория и практика.- Ростов-на-Дону.: ФЕНИКС, 2006.- 612с.
35. Локазюк В.М., Поморова О.В., Домінов А.О. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навч. посібник для вузів. Хмельницьк 2001.–286с.
36. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах.-М.: Мир, 1980.- 662 с.

37. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем.- М.: Финансы и статистика, 1984.- 169 с.
38. Модель распределенной информационной системы широкого применения / В.И. Гриценко, Е.А. Котиков, А.А. Урсатьев и др.// УСиМ.-1999.-№5- С.32.-42.
39. Николайчук Я. М. Теорія цифрових перетворень мультибазисного супершвидкодіючого процесора / Я. М. Николайчук // Штучний інтелект. – 2008. – № 4. – С. 387 – 394.
40. Николайчук Я. Н. Разработка теории и комплекса технических средств формирования, передачи и обработки цифровых сообщений в низовых вычислительных сетях автоматизированных систем: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Николайчук Ярослав Николаевич. – Ивано-Франковск: ИФИНГ, 1991. – 573 с.
41. Николайчук Я., Король Р. Вертикальна інформаційна технологія в базисі Галуа – новий напрямок у розвитку комп'ютерних машин. – Львів: CCU'2000. - 2000. – С.31-35.
42. Николайчук Я.М. Низові обчислювальні мережі: Учбовий посібник.– К:УМК ВО, 1990.– 64с.
43. Николайчук Я.М. Напрямки розвитку процесорів комп'ютерних систем на основі дискретних теоретико-числових базисів. Поступ в науку. Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач. – 2008. - №4. Т1. – С.8-11.
44. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / Орнатский П. П. – [5-е изд.]. – К.: Вища шк., 1986. – 504 с.
45. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники: учебник / Орнатский П. П. – [2-е изд.]. – К.: Вища шк., 1983. – 455 с.
46. Осипов Д. Delphi Профессиональное программирование. – М.: Россия, 2004. – 1056 с.
47. Основы цифровой обработки сигналов / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. – [2-е изд.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.
48. Пасічник В.В., Резніченко В.А. Організація баз даних та знань.–К,: Видавнича група BHV, 2006.–384с.
49. Петришин Л. Б. Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації в базисі Галуа: [навчальний посібник] / Петришин Л. Б. – К.: ІзіМН МОУ, 1997. – 237 с.
50. Петришин Л. Б. Цифровая обработка сигналов на основе преобразования кодов поля Галуа / Л. Б. Петришин, Я. Н. Николайчук, С. М. Ищеряков // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов. – Рига: ИЭВТ АН ЛатвССР, 1989. – Т. 1. – С. 130–132.
51. 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.

52. 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.
53. 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. – 2006.– № 37. – С.42–46 .
54. Полонников Р.И. Матричные методы обработки сигналов / Полонников Р.И., Костюк В.И., Краскевич В.Е. - К.: Техніка, 1977. – 136с.
55. Превисокова Н.В., Петришин Л.Б. Основи подання та перетворення форми інформації в базисах і системах дискретних функцій // Автоматика 2004: 11-а міжнар. конф. з управління, 2004 р.: матеріали. – К.: РВЦ НУХТ, 2004. – С. 36.
56. Превисокова Н.В., Петришин Л.Б. Теоретико-числові основи дискретного гармонічного аналізу в системі Радемахера // Вісник Прикарпатського університету. Математика. Фізика. – 2007. – Вип. 3. – С. 107–112.
57. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2-х кн. / Прэтт У.; пер. с англ. Д. С. Лебедева. – М.: Мир, 1980.
58. Смолов В. Б., Фомичев В.С. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые нелинейные вычислительные устройства. – Л.: Энергия, 1974. – 336 с.
59. Смолов В. Б. Функциональные преобразователи информации – Л.: Энергоиздат, 1981. – 248 с.
60. Соболь И. М. Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара. – М.: Наука, 1969. – 288 с.
61. Солодовников А. И. Основы теории и методы спектральной обработки информации / А. И. Солодовников, А. М. Спиваковский. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986. – 272 с.
62. Солодовников В. В. Спектральные методы расчета и проектирования систем управления / Солодовников В. В., Дмитриев А. Н., Егупов Н. Д. – М.: Машиностроение, 1986. – 440 с.
63. Столлингс В. Передача данных.– СПб.: Питер, 2004.– 750 с.
64. Столлингс В. Структурная организация и архитектура компьютерных систем: Пер. с англ.–М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.–896с.
65. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон; пер. с англ. В. В. Чепыжова. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
66. Танненбаум Э. Современные компьютерные сети.–СПб.: Питер, 2003.–992с.
67. Томашевський В.М. Моделювання систем.– К.: Видавнича група BHV, 2005.– 352с.
68. Френкс Л. Теория сигналов / Френкс Л.; пер. с англ. Д. Е. Вакмана. – М: Сов. радио, 1974. – 344 с.
69. Функциональный анализ / [под общ. ред. С. Г. Крейна]. – [2-е изд.]. – М.: Наука, 1972. – 544 с.
70. Хармут Х. Ф. Передача информации ортогональными функциями / Хармут Х. Ф. – М.: Связь, 1975. – 267 с.

РОЗДІЛ 6

СИСТЕМНІ ВЛАСТИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ СКС

6.1. Класифікація системних характеристик об'єктів управління СКС

Найчастіше СКС проектуються на основі проблемної орієнтації до характеристик та системних властивостей реальних об'єктів управління (ОУ). Таким чином, систематизація характеристик об'єктів управління на основі системних принципів є важливим фактором оптимізації відповідних параметрів та характеристик комп'ютерної системи.

Розрізняють наступні системні властивості об'єктів управління:

- складність;
- ділимість;
- полікритеріальність;
- кібернетичність;
- ієрархічність;
- емерджентність;
- стаціонарність;
- замкнутість;
- динамічність;
- стійкість;
- адаптивність;
- післядія.

6.2. Складність ОУ СКС.

За складністю ОУ поділяються на три категорії: прості; складні; надскладні.

До простих об'єктів відносяться:

- один технологічний параметр;
- одна людина.

Складними об'єктами є:

- технологічний процес;
- група людей;
- технологічна установка;
- цех.

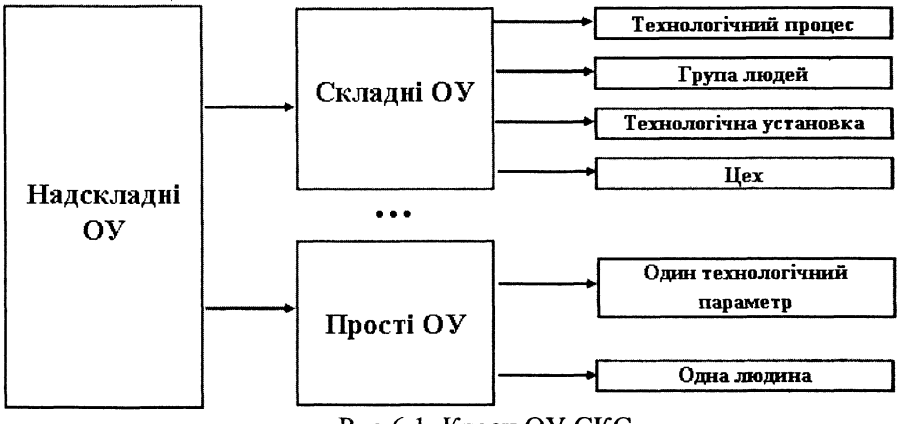


Рис.6.1. Класи ОУ СКС.

Надскладним об'єктом вважається система взаємодії великої кількості людей та технологічних процесів, тобто мобільний об'єкт, підприємство, завод, фірма, район, область, держава.

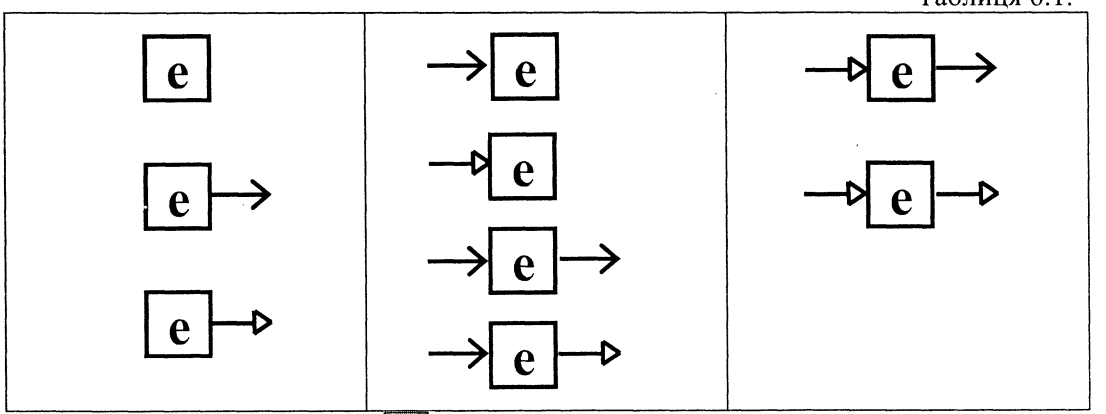
6.3. Ділимість ОУ СКС.

За ознаками ділимості ОУ класифікуються, як елементи, підсистеми і системи.

Елементом вважається компонент підсистеми, який може мати не більше одного входу та одного виходу. При чому входи та виходи можуть бути двох типів: інформаційний ⟶ та матеріальний ⟶▷.

Класифікація ОУ типу елемент подана в табл.6.1.

Таблиця 6.1.

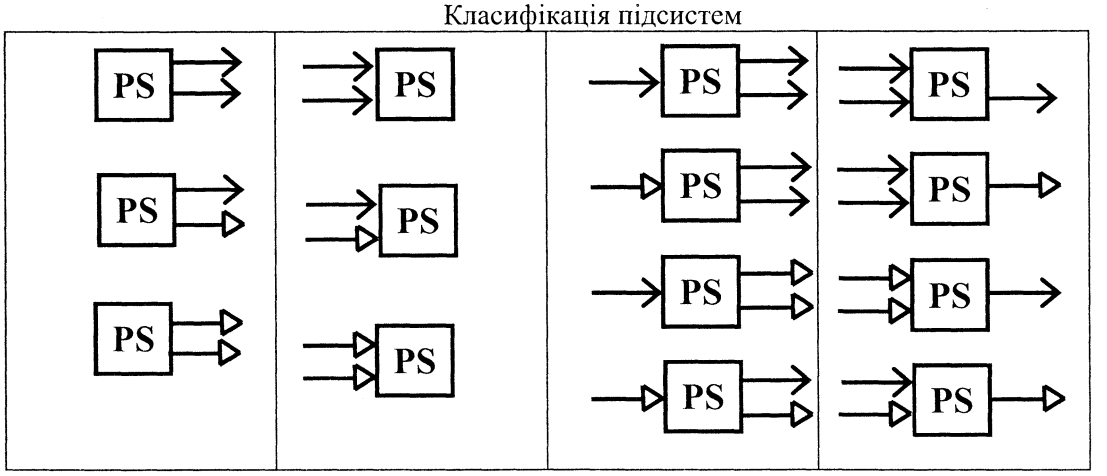


В табл.6.1 елемент □ вважається вільним. Вільними елементами ОУ можуть бути невикористовувані технологічні параметри, люди, не задіяні в технологічному процесі, процесори гарячого резерву, пошкоджений компонент мікроелектроніки, елемент мікроелектроніки, що вийшов з ладу та ін.

Підсистема – це структура, яка складається з елементів, може мати не більше двох входів та двох виходів, але характеризується відсутністю зворотніх зв'язків (табл.6.2).

Таблиця 6.2.

Класифікація підсистем



Система – це сукупність елементів та підсистем, які доцільно взаємодіють між собою на основі системи організаційних зв'язків. Система обов'язково має зворотні зв'язки (рис.6.2)

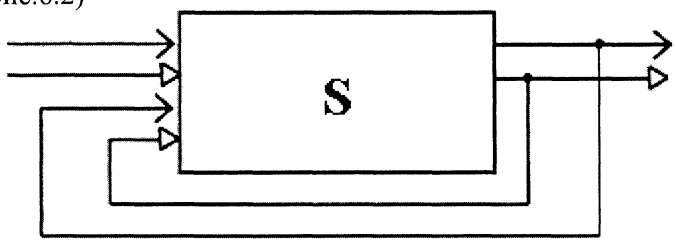


Рис.6.2. Макромодель системи.

6.4. Полікритеріальність ОУ СКС.

Полікритеріальність визначається властивістю ОУ невідповідності критеріїв доцільності елементів та підсистем об'єкта головному напрямку доцільності ОУ, як системи (рис.6.3).

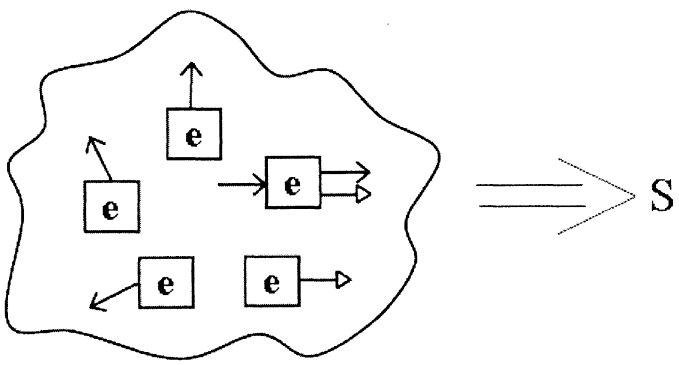


Рис.6.3. Приклад полікритеріального ОУ як системи.

Наприклад, при проектуванні максимально надійної комп'ютерної системи або процесора частина елементів або підсистем можуть не характеризуватися максимальною надійністю, яка може досягатися шляхом резервування, розпаралелення та ін.

6.5. Кібернетичність ОУ СКС.

Кібернетичність визначається наступними моделями кібернетичних об'єктів:

- "чорна скринька";
- "сіра скринька";
- "прозора скринька".

Особливістю моделі кібернетичної системи "чорна скринька" (рис.6.4), яка була запропонована Н. Віннером, є відсутність необхідності вивчення внутрішньої структури та компонентів системи, яка може бути достатньо складна для оперативного аналізу. Перевагою такої моделі, як об'єкта управління КС, є можливість доцільного керування системою шляхом подання на її входи функціональних або тестуючих сигналів та аналізу вихідної реакції системи на

зовнішні збурення. В той же час суттєвими недоліками застосування такої моделі є неможливість вдосконалення її архітектури, доцільного розділення на окремі компоненти, а також оптимізація її функцій.

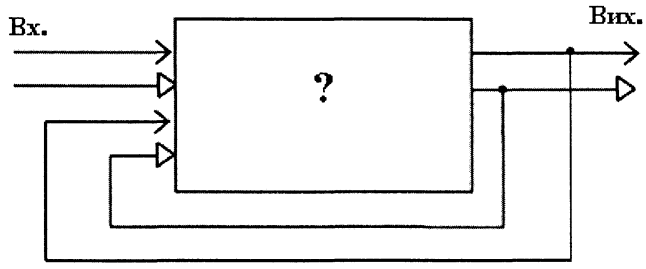


Рис.6.4. Модель КС "чорна скринька".

Модель кібернетичної системи "сірий ящик", запропонована Робертом Мак-Класкі, представлена на рис.6.5.

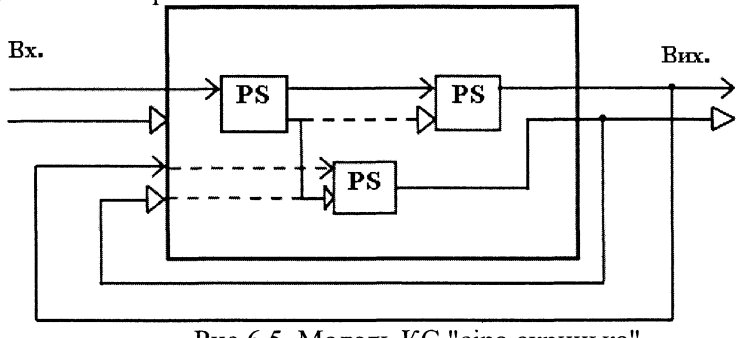


Рис.6.5. Модель КС "сіра скринька".

Особливістю моделі "сіра скринька" є необхідність отримання знань про її внутрішню структуру та функції її підсистем. Така кібернетична система абсолютно керована, може бути доцільно розділена на компоненти. В той же час внаслідок відсутності знань про наявність та функції вільних елементів в межах системи не дозволяє оптимізувати її характеристики шляхом зовнішніх впливів.

Модель кібернетичної системи "прозора скринька", запропонована російським вченим О.П.Шишкіним, представлена на рис.6.6.

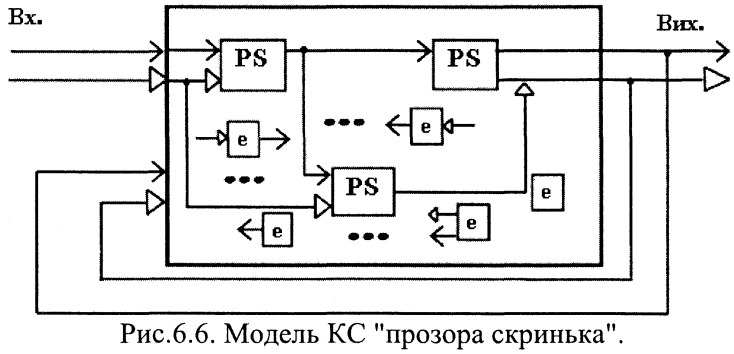


Рис.6.6. Модель КС "прозора скринька".

Особливістю моделі "прозора скринька" є достатньо велика складність отримання знань про внутрішню структуру, функції підсистем, а також наявність функціонально незадіяних вільних елементів з полікритеріальними характеристиками, які доволі часто можуть бути пасивними або антагоністичними до основних функцій системи. В той же час, після детального аналізу, система може бути оптимально доцільно розділена на підсистеми, додатково можуть бути використані ресурси вільних елементів, змінені їх полікритеріальні характеристики, а також реалізовані критерії проблемної орієнтації системи: підвищення швидкодії, надійності, стійкості, розширення функціональних властивостей та ін.

6.6. Замкнутість ОУ СКС.

Замкнутість визначається характером взаємодії та системою зв'язків з ресурсами та інформаційними або матеріальними зв'язками та споживачами інформаційних або матеріальних результатів функціонування системи.

Існують три класи систем по ознаці замкнутості:

- відкрита система;
- напіввідкрита система;
- замкнута система.

Відкрита система характеризується всією повнотою інформаційних та матеріальних зв'язків з ресурсами та споживачами результатів її функціонування (рис.6.7)

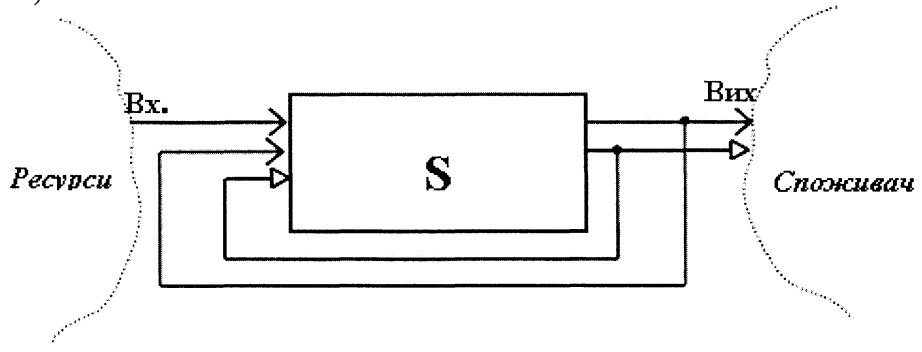


Рис.6.7. Відкрита система.

Особливістю відкритої системи є обов'язкова наявність всіх зв'язків з зовнішнім середовищем. Така система характеризується необмеженим часом існування, може самовдосконалюватися, розвиватися, оптимізуватися та доцільно дробитися на підсистеми.

Напіввідкрита система характеризується відсутністю окремих зв'язків з ресурсами та споживачами (рис.6.8 (а)).

На рис.6.8 (б) показані напіввідкриті системи з обмеженими функціями споживання результатів роботи. Такі системи можуть бути керовані на рівні інформаційних або матеріальних вхідних потоків, можуть існувати необмежено в часі, а також оптимізовані. В той же час відсутність зв'язків на рівні споживачів результатів діяльності тенденційно приводить до їх деградації та виникає

необхідність в їх ліквідації з боку ресурсів, оскільки вони не генерують ні інформаційних, ні матеріальних потоки, тобто стають недоцільними.

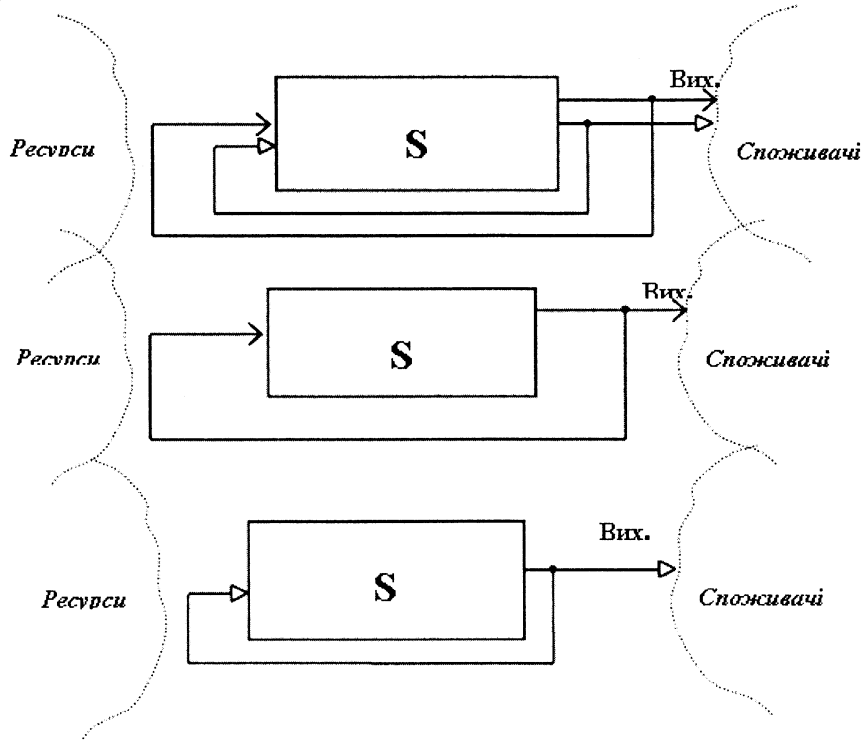


Рис.6.8 (а). Напіввідкриті системи з обмеженими ресурсами.

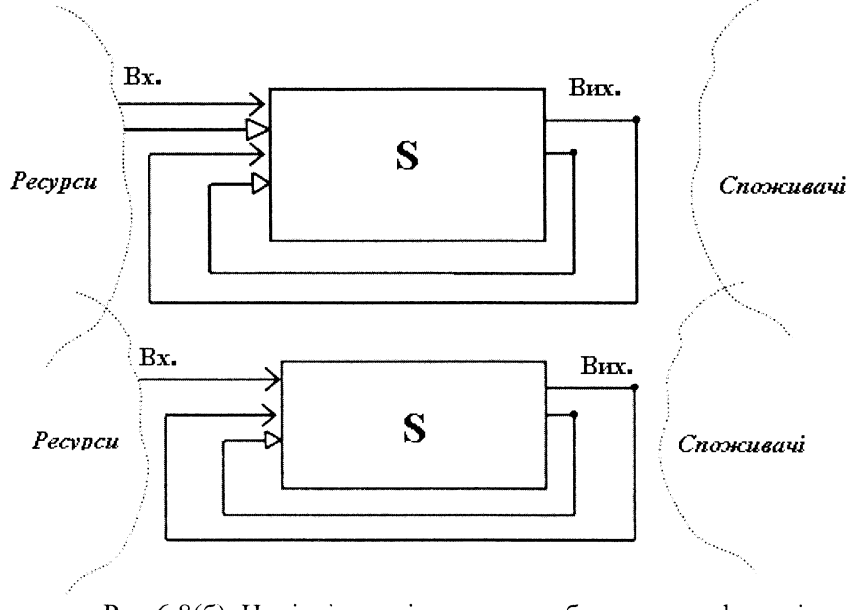


Рис.6.8(б). Напіввідкриті системи з обмеженими функціями.

Особливістю таких систем є відсутність окремих інформаційних або матеріальних зв'язків з зовнішнім середовищем. Такі системи можуть генерувати інформаційні або матеріальні потоки до моменту вичерпання власних ресурсів. В той же час вони не можуть бути керованими з боку зовнішнього середовища, оптимізовані або доцільно роздроблені.

На рис.6.9 показано клас напівзамкнутих систем з виродженими інформаційними або матеріальними зв'язками. Такі системи не можуть бути оптимізаційно керовані, а також характеризуються тенденціями до деградації та недоцільного існування з обмеженим часом.

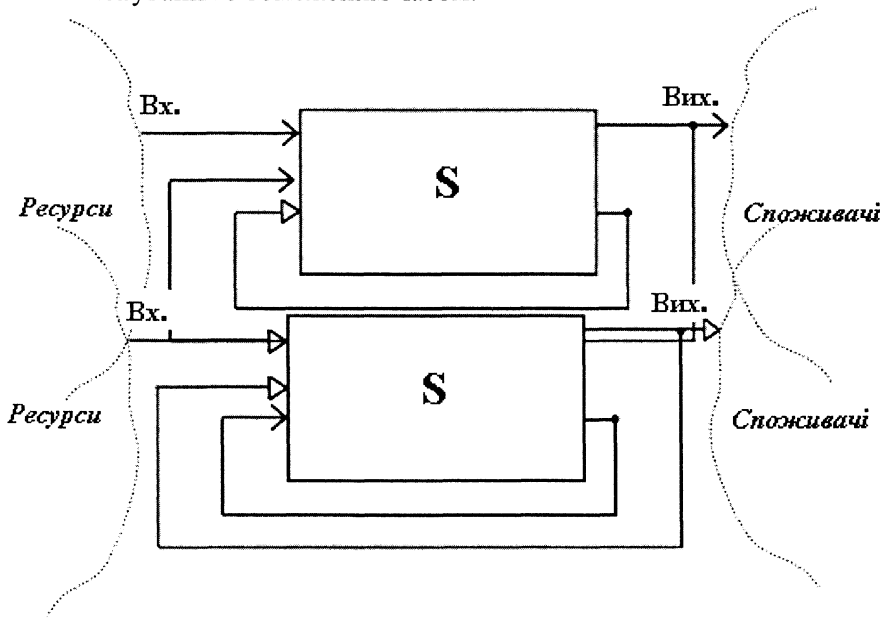


Рис.6.9. Напівзамкнуті системи з виродженими зв'язками.

Замкнуті системи (рис.6.10) характеризуються відсутністю інформаційних та матеріальних зв'язків з навколишнім середовищем. Тому вони підкоряються постулату: завжди прямуй до самознищення.

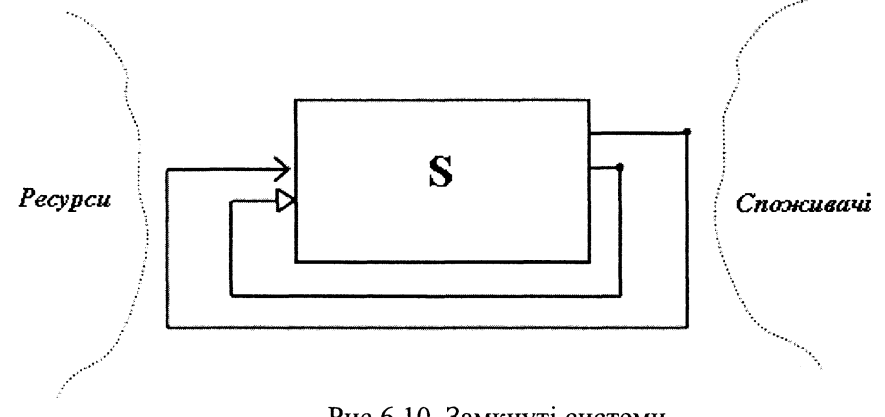


Рис.6.10. Замкнуті системи.

6.7. Ієрархічність ОУ СКС.

Існують два класи систем по ознаці ієрархічності:

1). Гантельні.

2). Пірамідальні.

Архітектура систем з "гантельними" характеристиками показана на рис.6.11.

Рис.6.11. Архітектура системи з “гантельними” характеристиками.

Особливістю таких систем є певна системна складність верхнього рівня управління, відносно вузькі функції комунікаційного середовища та велике число виконавчих органів та механізмів з окремими виробничими, алгоритмічними, соціальними функціями.

Архітектура класу пірамідальних систем показана на рис.6.12.

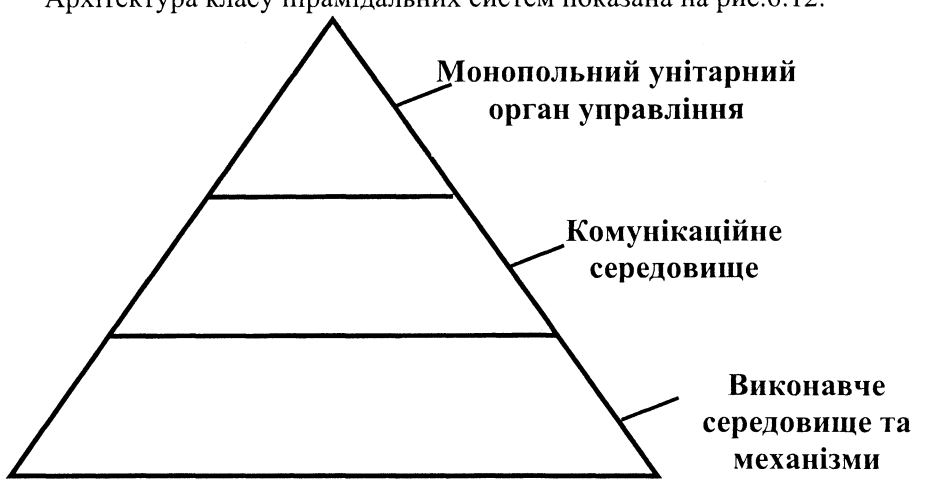


Рис.6.12. Архітектура системи з “пірамідальними” характеристиками.

Особливістю такої архітектури є наявність монопольного органу управління, який однозначно характеризується низьким системним інтелектом і відносно великим комунікаційним середовищем, яке, виконуючи службові функції, поглинає значну частину ресурсів системи, суттєво знижуючи ефективність її функціонування. Важливим атрибутом характеристик пірамідальної архітектури є ізоморфність при її трансформації, тобто така система завжди переходить сама в себе.

Позитивними характеристиками гантельної архітектури є високий рівень інтелекту системи управління і велика стійкість системи за рахунок потужного фундаменту виконавчих органів та механізмів. В той же час дана система неізоморфна, оскільки при її трансформації по вертикалі чи по горизонталі, її функції швидко руйнуються і деградують, оскільки вона переходить в стан полікритеріальної системи, з якого вона сама без зовнішнього впливу не може відновитися.

Пірамідальна архітектура характеризується ізоморфністю, абсолютною керованістю та стійкістю. До суттєвих недоліків пірамідальної архітектури слід віднести:

- низький системний інтелект, обумовлений монопольним управлінням;
- катастрофічне розмноження помилок при руху інформацій зверху вниз;
- зростання ваги і ціни помилок при руху пошкодженої інформації знизу вверх;
- некібернетичність, оскільки зворотні зв'язки існують тільки всередині системи.

Тому найбільш перспективними, як в технічному так і в соціальному аспектах, за архітектурними ознаками є системи з гантельною структурою, незважаючи на їх вразливість відносно процесів трансформації, вплив якої можна зменшити організацією черезрівневих інформаційних чи матеріальних зв'язків. Системи з пірамідальною архітектурою є доцільними на низових рівнях, як підсистеми, внаслідок характеристики абсолютної керованості.

6.8. Емерджентність ОУ СКС.

Характеристика емерджентності системи визначає ступінь складності, архітектурної досконалості та її інтелекту. Оцінка емерджентності визначається за формулою

$$k_e = \frac{N_з}{N_e},$$

де $N_з$ – число інформаційних зв'язків,

Ne – число компонентів системи.

За означенням, система вважається емерджентною, тобто характеризується високими інформаційно-інтелектуальними властивостями, при умові, коли $k_e \geq 2$.

Для пояснення характеристики емерджентності розглянемо приклади:

1. Нехай система складається з двох, трьох та більшої кількості елементів, які інформаційно зв'язані між собою ієрархічною архітектурою (рис.6.12). З рисунка видно, що ієрархічна система при будь-якому числі рівнів та розгалуженості наближається до 1. Тобто вона не може бути емерджентною.

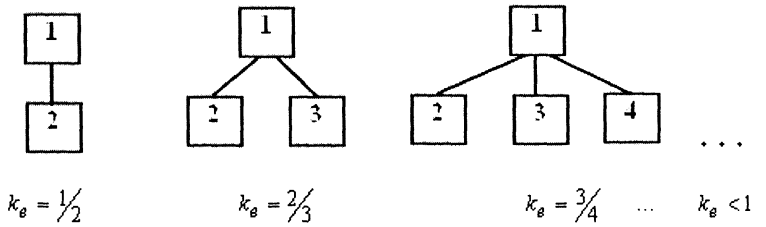


Рис.6.13. Архітектура ієрархічної системи.

2. Нехай система складається з наростаючого числа елементів, які інформаційно зв'язані між собою мережно-ієрархічною архітектурою (рис.6.14). З рисунка видно, що коефіцієнт емерджентності більше 1 і наближається до 2. Тобто система також не є емерджентною.

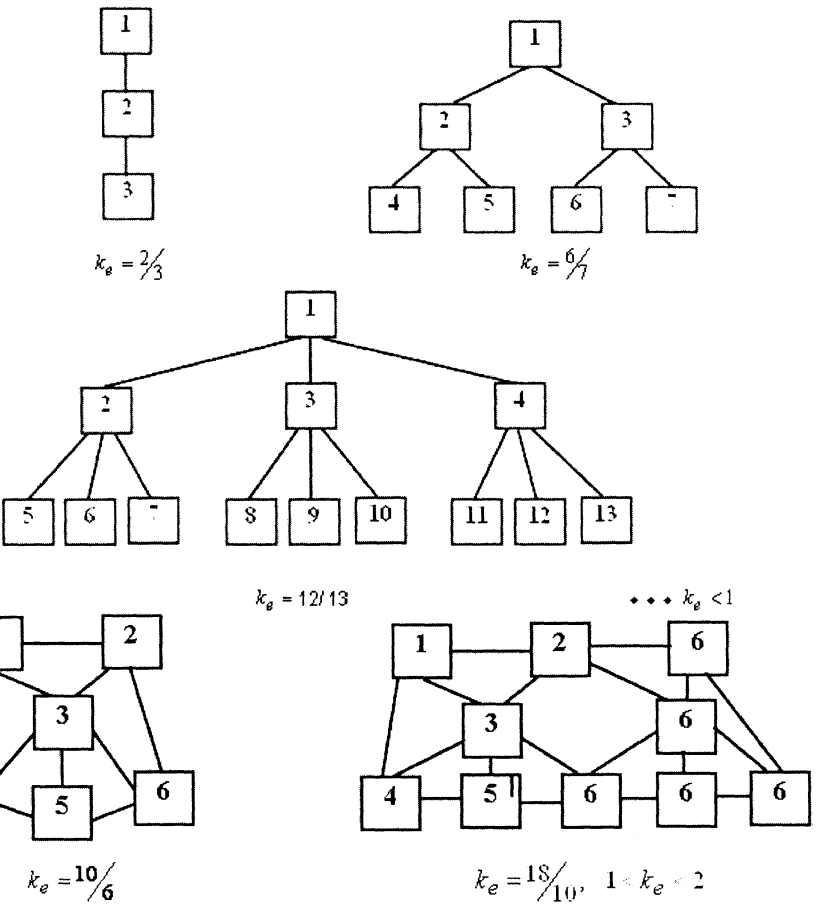


Рис.6.14. Архітектура мережно-ієрархічної системи

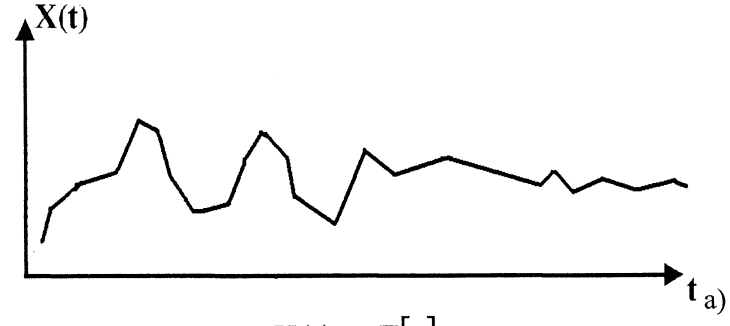
3. Нехай система з наростаючим числом компонентів характеризується систолічною архітектурою, тобто кожен з кожним (рис.6.14.). Такі системи, як видно з рисунка, є емерджентними, оскільки коефіцієнт емерджентності більше 2.

Очевидно, що максимально емерджентними є нейромережеві архітектури та біологічні нейронні системи.

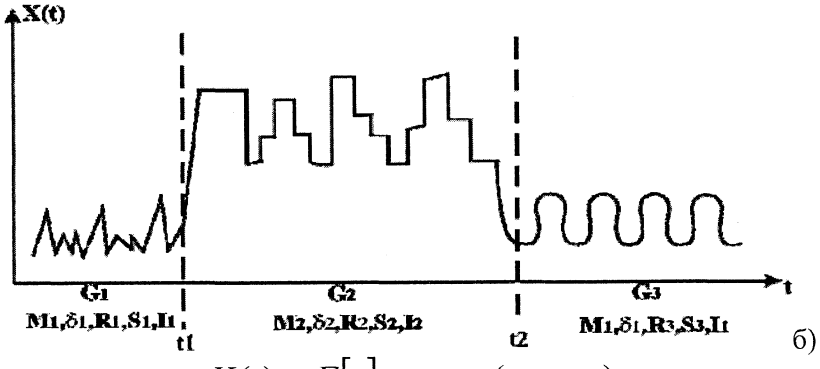
6.9. Стаціонарність ОУ СКС.

Згідно класифікації характеристик системи по ознаках стаціонарності існують три класи системи:

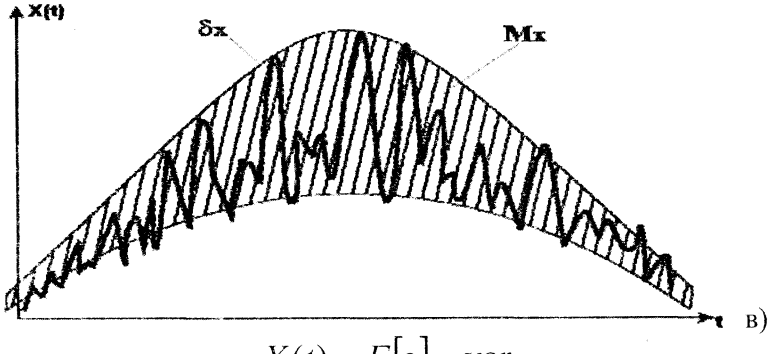
1. Стаціонарні (рис.6.15а);
2. Квазістаціонарні (рис. 6.15б);
3. Нестаціонарні (рис. 6.15в).



$$X(t) = F[\bullet] = const$$



$$X(t) = F[\bullet] = const(t_j - t_i)$$



$$X(t) = F[\bullet] = \text{var}$$

Рис.6.15. Продукційні часові моделі подання знань об'єктів різних класів стаціонарності ($F[\bullet]$ - компоненти характеристичного функціоналу).

Характеристика стаціонарності системи визначається незмінністю компонентів функціоналу $F[\bullet]$, який описує стани системи на певному інтервалі часу.

$$X(t) = F\left[x(t), M_x, M_j, M_v, D_x, \delta_x, R_{xx}, S_{(\omega)}, I_x\right], \qquad (6.1)$$

де $X(t)$ - сигнальна модель станів системи;

$M_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$ - вибіркове математичне сподівання;

$M_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1+j}^{n+j} x_{i+j}$ - ковзне математичне сподівання;

$M_v = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{i-j} \cdot x_{i+j}$ - вагове математичне сподівання

$D_{xj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{i+j} - M_x\right)^2$ - дисперсія;

$\delta_{xj} = \sqrt{D_x}$ - середньоквадратичне відхилення;

$R_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \dot{x}_i \cdot \dot{x}_{i+j}$ - мультиплікативна автокореляційна функція (існує 8 автокореляційних функцій, які описуються різними рівняннями);

$S_{(\omega)} = \sum_{j=1}^{m}(\rho_{xx}, W_j)$ - спектральні характеристики сигнальної моделі X(t) (дана характеристика може бути розрахована в різних теоретико-числових базисах: Фур'є, Хаара, Радемахера, Крестенсона, Уолша та Галуа),

де $\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}$ - нормована автокореляційна функція сигнальної моделі,

W_j - ортогональна функція відповідного ТЧБ;

$I_x = \hat{E}[\log_2 A]$;

$I_x = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot \log_2\left(\frac{1}{P_i}\right)$;

$I_x = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m} \log_2(D_x^2 - R_{xx}^2)$ - оцінка ентропії станів системи на основі сигнальної моделі.

Дана оцінка може бути обчислена згідно інформаційної міри Хартлі, Шеннона, Колмогорова, Боюна, Николайчука, Олівера та ін.

6.10. Динамічність ОУ СКС.

Характеристика динамічності визначається реакцією об'єкта управління на зовнішнє збурення, яке представляється функцією Дірака. Класифікують об'єкти управління за двома ознаками динамічності:

- нединамічні;
- динамічні.

Характеристика реакції нединамічного об'єкта на зовнішнє стрибкоподібне збурення описується трьома перехідними функціями: 1, 2, 3 (рис.6.16):

- першого порядку;
- другого порядку;
- другого порядку з транспортним запізненням.

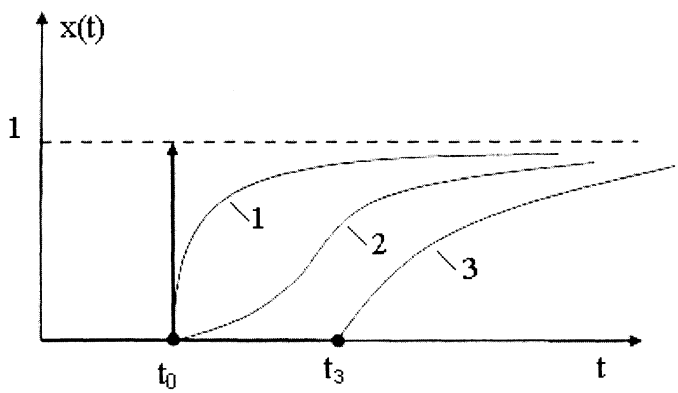


Рис.6.16. Реакція нединамічного ОУ на зовнішнє збурення (t_0 – момент дії зовнішнього впливу, t_3-t_0 – транспортне запізнення)

Як видно з рис.6.16, характеристика реакції нединамічного ОУ, ніколи не досягає рівня зовнішнього збурення.

Динамічні об'єкти характеризуються перехідними процесами, які описуються рівняннями Бесселя і можуть перевищувати рівень зовнішнього збурення (рис.6.17).

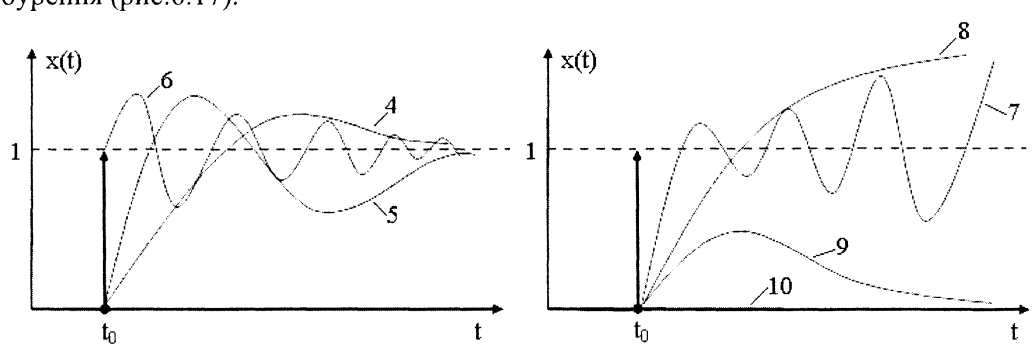


Рис.6.17. Реакція динамічних ОУ на зовнішнє збурення.

6.11. Стійкість ОУ СКС.

Стійкість об'єктів управління визначається на основі теорії управління і охоплює наступні класи об'єктів: абсолютно стійкі; стійкі; нестійкі; пасивні.

Абсолютно стійкі ОУ відповідають характеристикам нединамічних об'єктів (рис.6.16)

Об'єкти, перехідні характеристики яких при зростанні часу асимптотично наближаються до рівня зовнішнього збурення, належать до класу стійких (рис.6.17).

Об'єкти, характеристики яких описуються функціями Бесселя з додатніми коефіцієнтами або розподілом Релея, належать до класу нестійких.

Пасивні об'єкти характеризуються відсутністю реакції на зовнішній вплив. Такі об'єкти можуть знаходитись в станах відключення, несправності, перед аварійних чи аварійних станах. Окремим випадком об'єктів з такими характеристиками є адаптивні ОУ.

6.12. Адаптивність ОУ СКС.

Об'єкти, які характеризуються властивостями адаптивності мають внутрішню пам'ять для реєстрації передісторії, а також наявність штучного чи природного інтелекту.

На рис.6.18 показані часові перехідні характеристики адаптивних об'єктів.

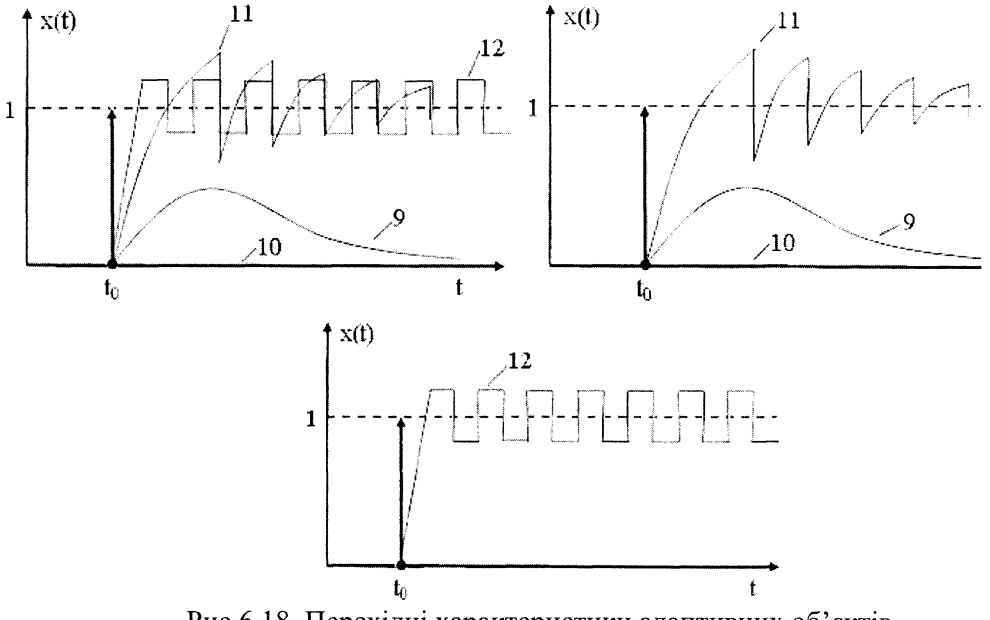


Рис.6.18. Перехідні характеристики адаптивних об'єктів.

Адаптивні об'єкти характеризуються особливими перехідними характеристиками при багаторазовому повторенні знакозмінних зовнішніх впливів (рис.6.19).

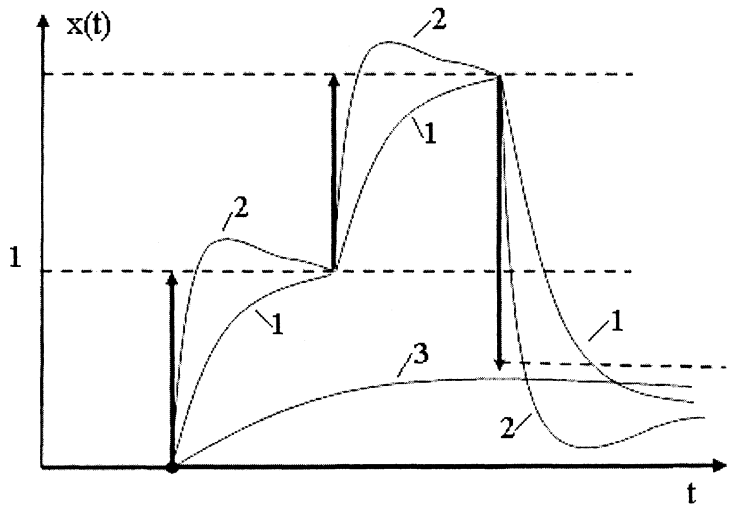


Рис.6.19. Перехідні характеристики адаптивних ОУ при багаторазових зовнішніх збуреннях.

З рис.6.19 видно, що характеристика 1 відповідає нединамічному абсолютно стійкому класу об'єктів, характеристика 2 відповідає динамічному стійкому об'єкту, характеристика 3 може бути однією з реалізацій реакції адаптивного ОУ.

Очевидно, що з часом характеристики ОУ можуть змінюватися, тобто переходити з одного класу в інший і за часовими показниками, і за амплітудою зовнішнього впливу.

6.13. Післядія ОУ СКС.

Дана характеристика визначає реакцію об'єкту після припинення дії зовнішнього впливу (рис.6.20). На рис.6.20 видно, що об'єкти можуть характеризуватися інвертованими характеристиками абсолютно стійких та нестійких об'єктів, динамічністю або пасивністю та різними характеристиками стійкості.

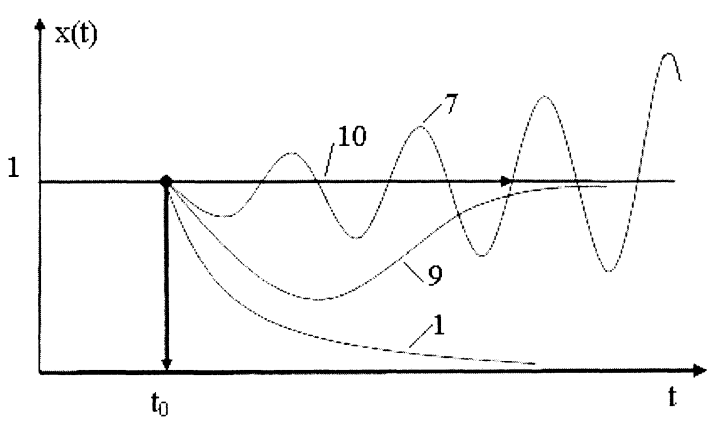


Рис.6.20. Реакція об'єкта після припинення дії зовнішніх впливів.

При цьому саме об'єкти з нестійкими характеристиками можуть найкраще функціонувати в умовах припинення дії зовнішніх впливів за рахунок наявності позитивних зовнішніх зворотніх зв'язків.

Контрольні запитання і завдання.

1. Охарактеризуйте системні властивості об'єктів управління СКС.
2. Вкажіть відмінності між простими, складними і надскладними ОУ.
3. Систематизуйте характеристики ділимості ОУ.
4. Поясніть особливості полікритеріальності ОУ.
5. Поясніть відмінності характеристик кібернетичності ОУ.
6. Поясніть ознаки замкнутості ОУ як системи.
7. Розкрийте структурні властивості гантельної та пірамідальної ієрархічності ОУ СКС.
8. Поясніть характеристику емерджентності ОУ.
9. Якими особливостями відрізняються стаціонарні, квазістаціонарні та нестаціонарні ОУ?
10. Поясніть характеристики нединамічних ОУ.
11. Якою асимптотикою характеризуються динамічні ОУ?
12. Поясніть характеристики стійкості ОУ.
13. Дайте ознаки адаптивних ОУ при одноразових та багаторазових зовнішніх збуреннях.
14. Опишіть характеристику поведінки ОУ після припинення дії зовнішніх впливів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 6 РОЗДІЛУ.

1. Малиновский Б.М. Введение в кибернетическую технику. Параллельные структуры и методы / Малиновский Б.М., Боюн В.П. Козлов Л.Г. – К.: Наукова думка, 1989. – 272 с.
2. Мартин Дж. Введение в сетевые технологии. Практическое руководство по организации сетей / Мартин Дж. – СПб.: Лори, 2002. – 659 с.
3. Мартин Дж. Вычислительные сети и распределенная обработка данных / Мартин Дж. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 256 с.
4. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем / Мартин Дж. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 196с.
5. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я.М. - Тернопіль: ТНЕУ, 2008. – 536 с.
6. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами / Под ред. Т. Харрисона. – Т.1. – М.: Мир, 1975. – 230 с.
7. Э.Квейд Анализ сложных систем / Пер. с англ. под ред. И.И.Ануреева, И.М.Верещагина. – М.: Советское радио, 1969, 520с.

РОЗДІЛ 7

МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ СКС

7.1. Решітчасті моделі джерел інформації ОУ

7.1.1. Сигнальна.

Основою для побудови будь-якої сигнальної моделі ОУ є продукційна модель подання знань, що відображає значення амплітуди досліджуваного процесу або номери станів ОУ (рис. 7. 1). Процес, який описує стани ОУ, може бути неперервним або носити дискретний характер і представлений в різних просторах (лінійному, квадратичному, логарифмічному, полярному та інш). Таким чином, інформаційні моделі ОУ теж можна поділити на дві групи: аналогові та дискретні.

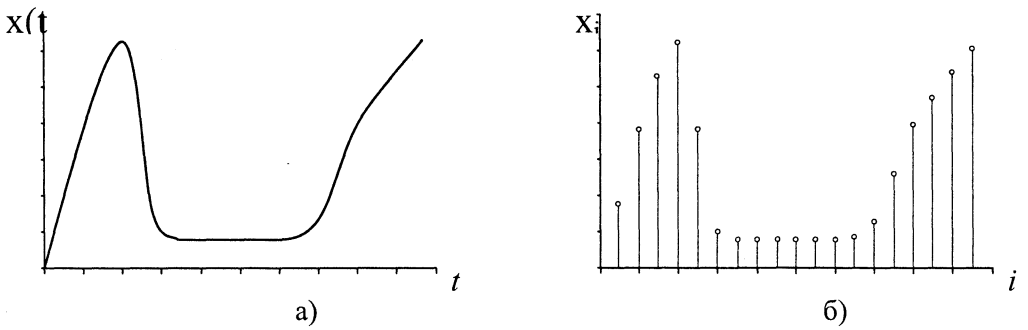


Рис.7.1. Відображення моделей ОУ в лінійному просторі:

а) – аналогових; б) – дискретних у вигляді решітчастих функцій.

Слід зауважити, що подання значень процесу в дискретному вигляді більш зручне для подальшого аналізу, оскільки сучасна комп'ютерна техніка переважно використовує дискретні базиси. Очевидно, що властивості аналогових ОУ можуть бути описані за допомогою дискретних моделей із заданою точністю.

Існує три способи переходу від аналогової величини $x(t)$ до дискретної x_i:

$$x_i = \hat{E}\left[\frac{x(t)}{\Delta}\right]; \qquad x_i = \check{E}\left[\frac{x(t)}{\Delta}\right]; \qquad x_i = \tilde{E}\left[\frac{x(t)}{\Delta}\right],$$

де $\hat{E}, \check{E}, \tilde{E}$ – цілочисельні функції з округленням відповідно до більшого, меншого і найближчого цілого; Δ – крок квантування.

Крок квантування Δ вибирається у відповідності до заданої точності та динаміки зміни станів ОУ. Найчастіше час дискретизації Δt визначається на основі динаміки та асимптотики автокореляційних функцій.

Математично обгрунтована дискретизація аналогового сигналу $x(t)$ з

частотою f_d здійснюється шляхом множення сигналу $x(t)$ на суму імпульсів Дірака, періодичність яких $t_d = \frac{1}{f_d}$: $D = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \frac{i}{f_d}\right)$.

Позначивши дискретизований сигнал x_i отримаємо наступний вираз:

$$x_i = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x\left(\frac{i}{f_d}\right) \cdot \delta\left(t - \frac{i}{f_d}\right) \text{ або } x_i = x(t) \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \frac{i}{f_d}\right).$$

На основі дискретних інформаційних моделей ОУ побудовані комп'ютеризовані системи з U- та R-технологіями. G- та I-технології використовують інтегральні і диференціальні моделі ОУ.

7.1.2. Інтегральна

Інтегральні моделі ОУ відображають значення процесів або станів ОУ в інтегральному просторі і описуються наступним виразами для аналогових S:

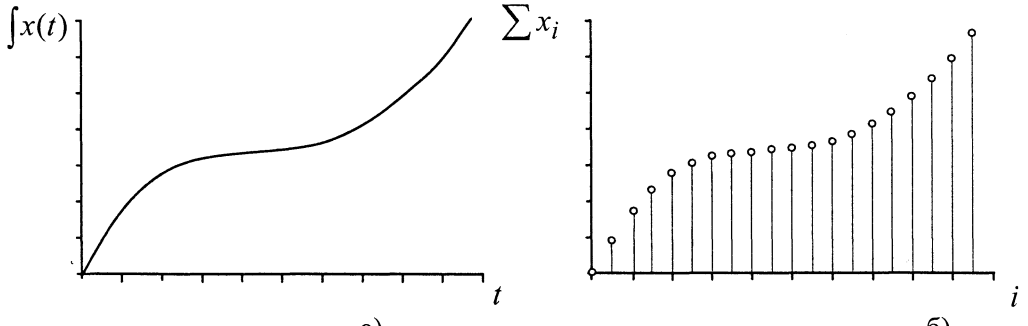
$$I = \int_0^{\tau} x(t)\, dt,$$

де τ – відрізок часу спостереження і

$$I = \Delta t \sum_{i=0}^{k} x_i,$$

для дискретних ІП, де $k = \overset{\vee}{E}\left[\frac{\tau}{\Delta t}\right]$, Δt – крок дискретизації.

Таким чином, для наведених на рис.7.1 процесів інтегральні моделі можна подати у вигляді продукційних моделей (рис.7.2).



а) б)

Рис.7.2. Відображення моделей ОУ в інтегральному просторі:
а) – в аналоговому вигляді; б) – в дискретному вигляді.

Інтегральні моделі ОУ в кожен момент часу несуть інформацію як

про поточне значення процесу так і про весь процес в цілому за весь період спостереження τ, тому є більш інформативними, ніж моделі в лінійному просторі. Недоліком є те, що в інтегральних моделях різко зростає діапазон квантування і розрядність кодів при визначенні, передаванні, обробці та відображенні даних. Такі моделі знайшли ефективне застосування в комп'ютеризованих системах з інтегрально-імпульсною технологією на базі кодів поля Галуа.

7.1.3. Диференціальна.

Диференціальні моделі характеризують похідну сигналу і описуються виразами: $D(t) = x'(t)$ – для аналогових процесів і $D_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta t}$ – для дискретних процесів. Коли $\Delta t = 1$, то $D_i = x_i - x_{i-1}$, що відповідає кодуванню станів ОУ першими приростами.

Останній вираз є першою різницею дискретних відліків і характеризує зміну поточного стану ОУ відносно попереднього (рис.7.3). Очевидно, що на даній моделі, по суті, базується комп'ютеризовані системи з I -технологією.

Оскільки похідна характеризує градієнт нахилу дотичної до кривої процесу, то це дає можливість прогнозувати поведінку процесу на деякий відрізок часу наперед. Тривалість цього відрізку і точність прогнозування залежить від динаміки процесу. Ще однією перевагою диференціальної моделі є зменшення діапазону значень і надлишковості кодів про стан ОУ, оскільки $M_x = 0$.

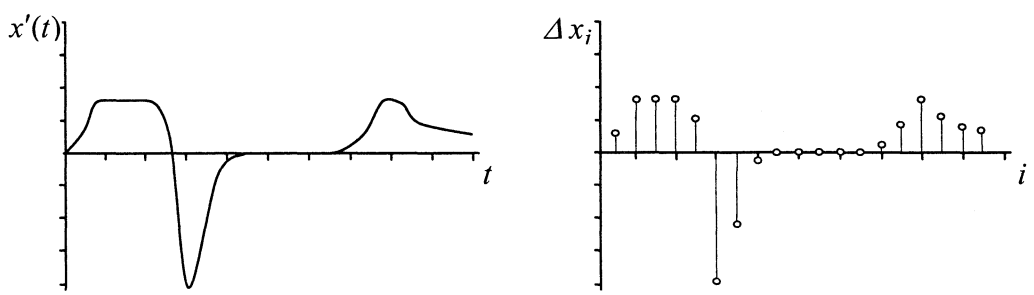


Рис. 7.3. Диференціальні моделі ОУ а) – аналогові; б) – дискретні.

7.1.4. Центрована

Важливим класом моделей дискретних ОУ при побудові статистичної моделі дисперсії є представлення сигнальних моделей у вигляді центрованих значень (рис.7.4) згідно виразу: $\overset{\circ}{x}_i = x_i - M_x$.

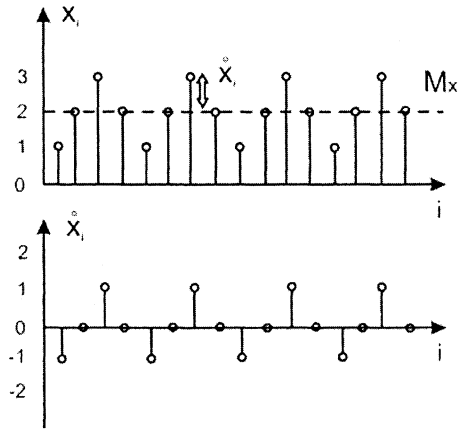


Рис. 7.4. Лінійна модель дискретного ОУ та її спектр на основі оператора центрування.

7.2. Статистичні моделі ОУ.

7.2.1. Вибіркове математичне сподівання.

Як вже відмічалося, одними з найрозповсюдженіших і ефективних засобів аналізу дискретних ОУ є статистичні моделі. В першу чергу – це оцінки математичного сподівання та середнє по ансамблю. Оцінка середнього по ансамблю потребує наявності певної кількості реалізацій, тому може використовуватись для статистичного аналізу повідомлень після їх отримання. В РКС реального часу на низових рівнях широко використовується модель математичного сподівання, класичним варіантом якої є вибіркова оцінка

$$M_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot$$

Вибіркова оцінка математичного сподівання дозволяє зменшити об'єм даних в n разів і здійснити низькочастотну фільтрацію динаміки станів ОУ (рис.7.5).

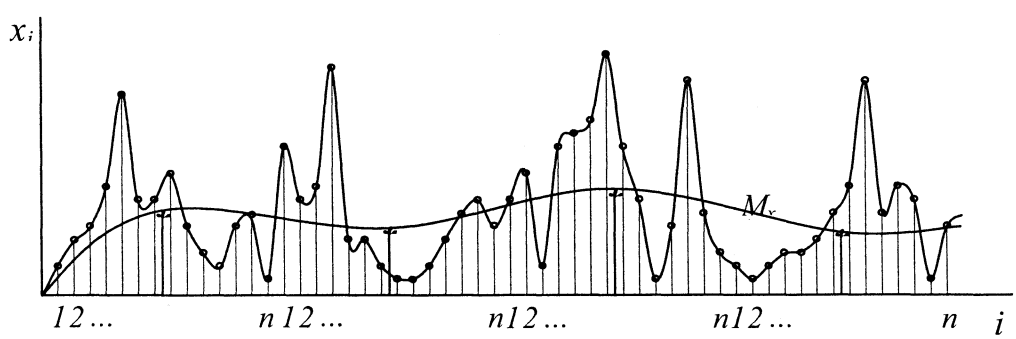


Рис.7.5. Решітчаті функції повідомлень x та вибіркової оцінки математичного сподівання M_x.

7.2.2. Ковзне математичне сподівання

Модифікацію оцінки середнього по часі є ковзна оцінка

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} x_{i+j} ,$$

де j – дискретний зсув в часі.

Ковзна модель математичного сподівання також здійснює низькочастотну фільтрацію і зменшує вплив одиничних випадкових стрибків станів ОУ на відображення інтегрального усередненого стану ОУ. На відміну від попередньої, ковзна модель M_j з більшою точністю відтворює середньостатистичну динаміку станів ОУ, проте об'єм даних практично не зменшується (рис.7.6).

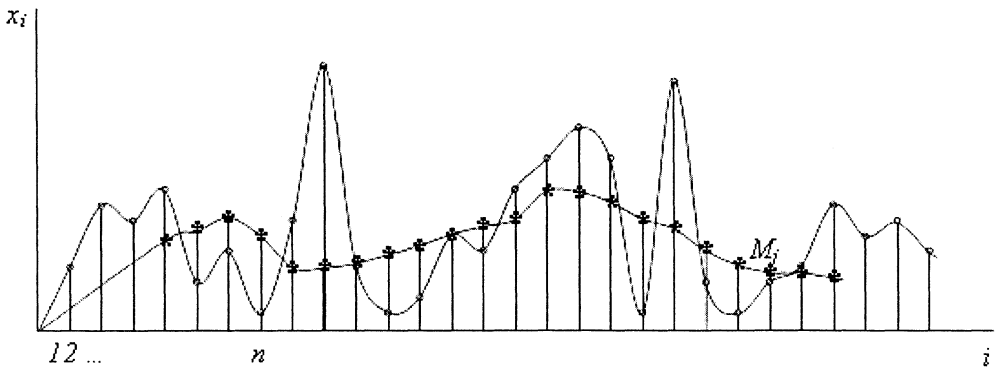


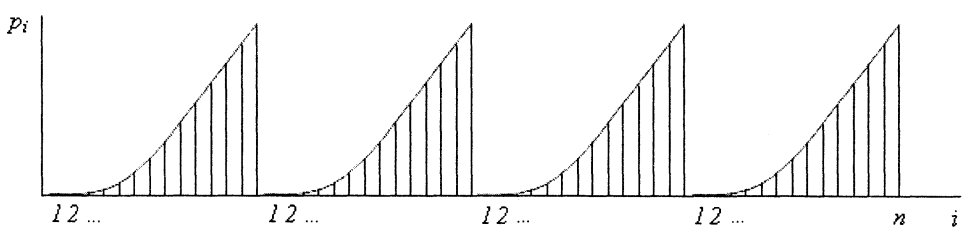
Рис.7.6. Решітчаті функції повідомлень x та ковзної оцінки математичного сподівання M_j.

7.2.3. Вагове математичне сподівання

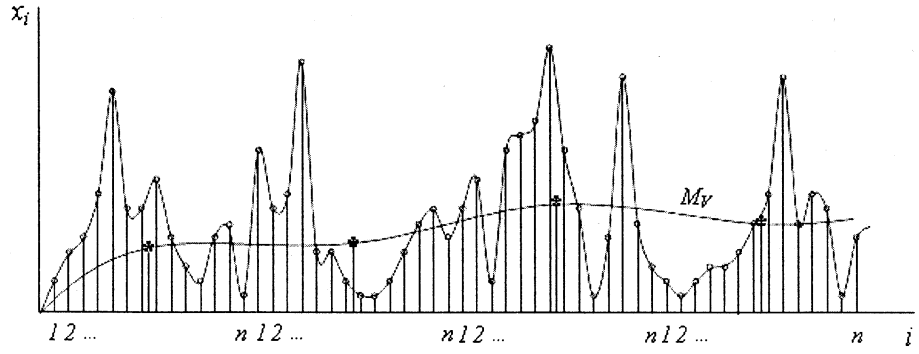
Існує також зважена оцінка середнього по часі, яка враховує старіння даних про стани ОУ, використовуючи вагові коефіцієнти (рис.7.7)

$$M_V = \sum_{i=1+j}^{n+j} p_{i-j} \cdot x_{i+j} ,$$

де p_i – вагові коефіцієнти, при чому $\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$.



а)



б)

Рис.7.7. Графіки а) – вагової функції V_i, що має експоненціальний характер; б) – ІП x_i та зваженої оцінки математичного сподівання M_V.

7.2.4. Дисперсія.

Важливою статистичною характеристикою динаміки станів ОУ у квадратичному просторі є дисперсія, оцінка якої визначається виразом:

$$D_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - M_x)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\overset{\circ}{x}_i{}^2 ,$$

де n – об'єм вибірки, x_i – масив вихідних даних, M_x – вибіркове математичне сподівання, $\overset{\circ}{x}_i$ - центровані дискретні значення станів ОУ.

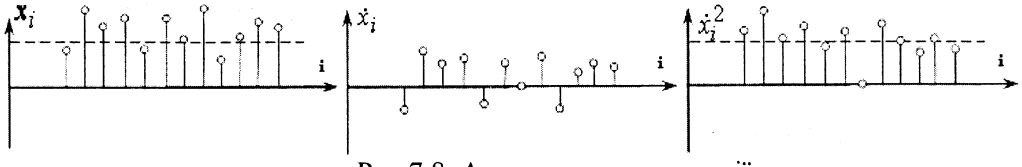


Рис.7.8. Асимптотика дисперсії.

7.2.5. Середньоквадратичне відхилення.

Дисперсія у лінійному просторі представляється через середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} .$$

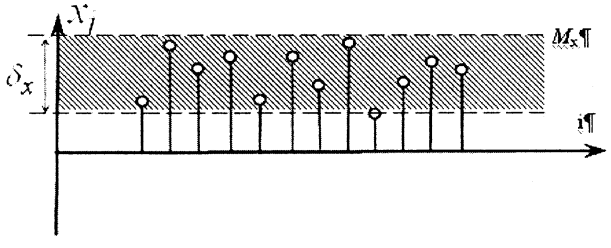


Рис. 7.9. Асимптотика середньоквадратичного відхилення.

Оцінки дисперсії і середньоквадратичного відхилення аналогічно математичному сподівання, можуть реалізовуватись по вибірках, на ковзному інтервалі та з врахуванням вагових коефіцієнтів.

7.3. Кореляційні моделі ОУ.

7.3.1. Знакова.

Знакова автокореляційна модель ОУ використовується для аналізу швидкопротікаючих процесів та високої динаміки станів ОУ, який проводиться на основі виявлення залежності між полярністю зсунутих в часі центрованих значень $\overset{\circ}{x}_i$. Знакова автокореляційна модель (рис.7.10) описується виразом:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mathrm{sgn}[\overset{\circ}{x}_i] \cdot \mathrm{sgn}[\overset{\circ}{x}_{i+j}],$$

де $\mathrm{sgn}[x_i] = \begin{cases} 1, x_i \geq 0; \\ -1, x_i < 0 \end{cases}$ – знакова функція.

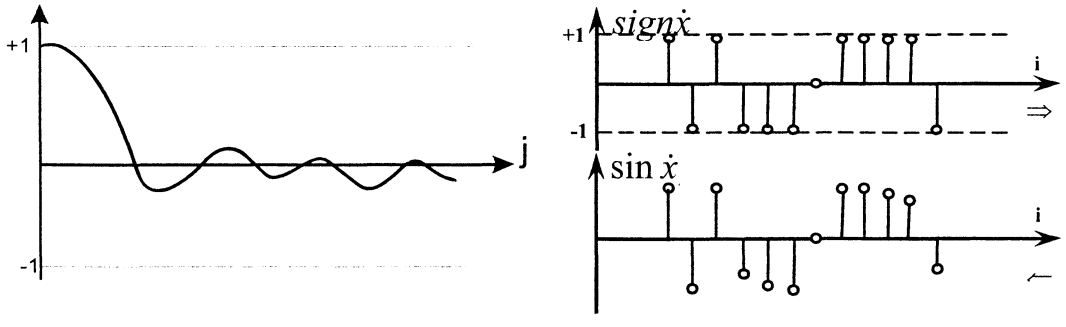


Рис.7.10. Модель та асимптотика знакової функції автокореляції.

На практиці, модель реалізується за допомогою логічного процесора, який здатний працювати з високою частотою (1-100 Ггц), проте вона втрачає в точності і потребує великої вибірки $n \geq 1024$. Очевидно, що $H_{xx}(0) = 1$ і діапазон значень оцінки знаходиться в межах $-1 \leq H_{xx}(j) \leq 1$.

7.3.2. Релейна.

Релейна автокореляційна модель ОУ (рис.7.11), яка базується на теорії інтегралів Стільтьєса, дозволяє підвищити точність оцінки і зменшити об'єм вибірки, зберігаючи досить високу швидкодію:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{\circ}{x}_i \cdot \mathrm{sgn}[\overset{\circ}{x}_{i+j}] \text{ або } \qquad H_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \mathrm{sgn}[\overset{\circ}{x}_{i+j}].$$

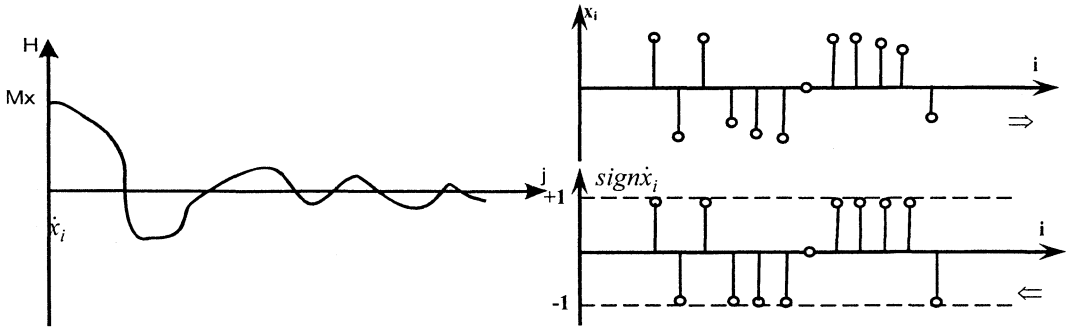


Рис.7.11. Модель та асимптотика релейної функції автокореляції.

Релейна автокореляційна модель ОУ характеризується високою швидкодією обчислень, оскільки не містить операцій множення і потребує менший об'єм вибірки $n \geq 512$. Перевагою даної моделі є знаходження математичного сподівання в нульовій точці без використання додаткового алгоритму. В той же час дана модель не є нормованою і не може бути прямим чином використана для обчислення спектрів.

7.3.3. Кореляційна.

Високий рівень розвитку і широке впровадження мікропроцесорної техніки, великих інтегральних схем, спецпроцесорів та сучасних технологій об'єктно-орієнованого програмування для обробки повідомлень забезпечує простоту реалізації та можливість широкого використання моделей цієї групи. В основу даного класу моделей ОУ покладено автокореляційну функцію $R_{xx}(j)$, яка розроблена в теорії мультиплікативних функцій базису Фур'є (рис.7.12):

$$R_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{\circ}{x}_i \cdot \overset{\circ}{x}_{i+j} .$$

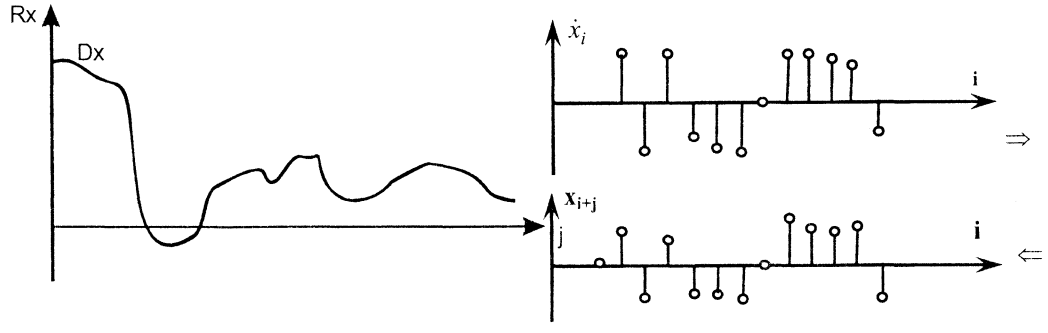


Рис.7.12. Модель та асимптотика кореляційної функції.

Обчислення автокореляційної функції забезпечує достатню точність визначення статистичних зв'язків між станами ОУ при вибірці $n \geq 512, m = 64$, де

m – число точок. Вона також має важливі асимптотичні властивості: значення кореляційної функції при нульовому зміщенні рівне дисперсії $R_{xx}(0) = D_x$, а для ергодичних процесів при $j \to \infty$, $R_{xx}(j) \to 0$. Діапазон квантування зменшується за рахунок використання центрованих значень, але це також приводить до значного ускладнення алгоритму обчислень та затрат часу, що негативно відображається на швидкодії отрмання автокореляційної моделі ОУ. На основі кореляційної функції можна побудувати ряд інших моделей такого типу.

7.3.4. Коваріаційна.

Автоковаріаційна модель не містить операції центрування (x_i) і дозволяє проводити оцінку статистичних зв'язків згідно аналітичного виразу:

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot x_{i+j} .$$

Автоковаріаційна модель (рис.7.13) завжди приймає позитивні значення і в нульовій точці несе інформацію про математичне сподівання M_x і дисперсію D_x:

$K_{xx}(0) = D_x + M_x^2$, і при $j \to \infty$ прямує до M_x^2.

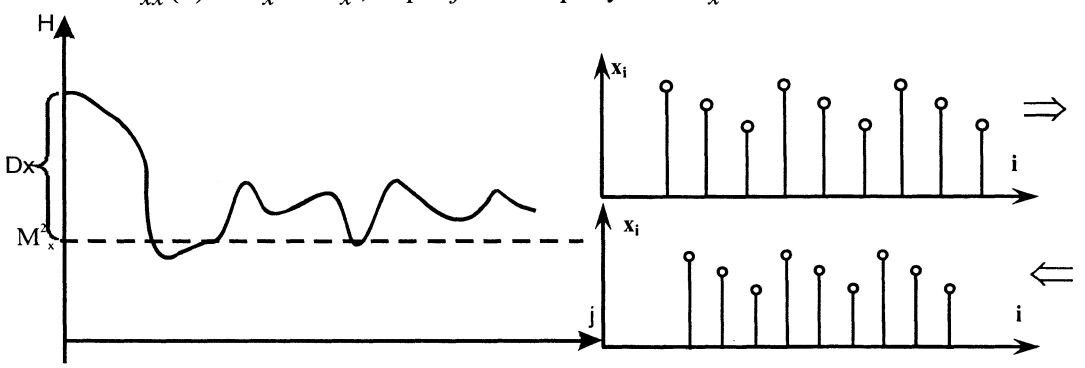


Рис.7.13. Модель та асимптотика коваріаційної функції автокореляції.

7.3.5. Структурна.

Структурна автокореляційна модель ОУ (рис.7.14), теоретичні основи якої розроблені академіком А.Н.Колмогоровим, забезпечує високу точність оцінки при великих зміщеннях j і дає можливість в асимптотичному наближенні отримати значення дисперсії $C_{xx}(j) \underset{j\to\infty}{\to} D_x$:

$$C_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{i+j})^2 .$$

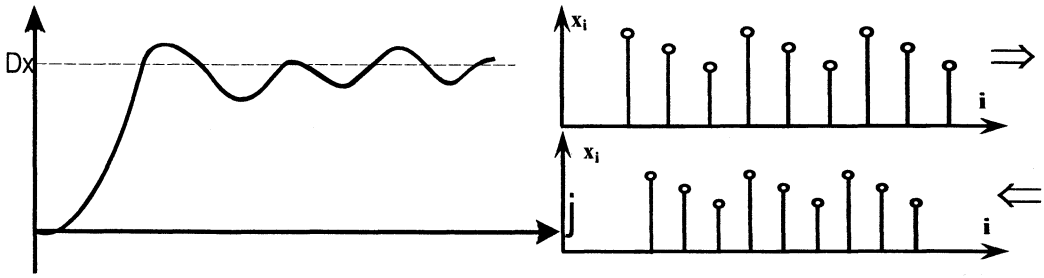


Рис.7.14. Модель та асимптотика структурної функції автокореляції.

Така модель дещо незручна у використанні через отримання результатів в квадратичному просторі.

7.3.6. Модульна.

Модульна автокореляційна модель ОУ (рис.7.15), теоретичні засади якої сформульовані академіком М.П.Тихоновим [37], має усі властивості структурної, але дозволяє отримати результат в лінійному просторі:

$$G_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|x_i - x_{i+j}\right|.$$

Модель $G_{xx}(j)$, для марковських процесів, в асимптотиці, при $j \to \infty$, приймає значення математичного сподівання M_x і має високу швидкодію.

Структурна і модульна автокореляційні моделі дають підвищену точність оцінки внаслідок більшої інформативності елементів суми.

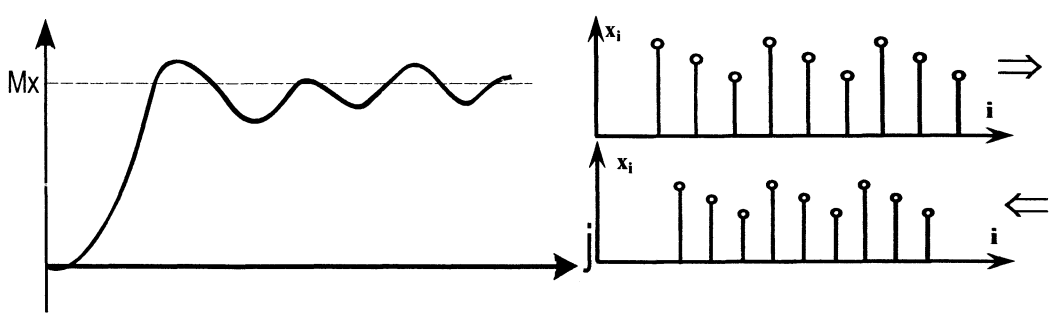


Рис.7.15. Модель та асимптотика модульної функції автокореляції.

7.3.7. Еквівалентна.

Автокореляційна функція еквівалентності (рис.7.16), теоретичні основи якої розроблені Я.М.Николайчуком, забезпечує високу ефективність в оперативній обробці інформації, за рахунок можливості реалізації її з найбільшою швидкодією серед усіх кореляційних моделей:

$$\overset{\vee}{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\overset{\vee}{z}_i[x_i, x_{i+j}],$$

де $\overset{\vee}{z}_i[x_i, x_{i+j}] = \overset{\vee}{z}_i = \begin{cases} x_i, \text{при } x_i \le x_{i+j}, \\ x_{i+j}, \text{при } x_i > x_{i+j}. \end{cases}$ – функція “менше з двох”.

Характерною властивістю моделі є те, що в нульовій точці функція еквівалентності рівна математичному сподіванню: $F_{xx}(0) = M_x$.

Модель еквівалентності можна подати в модифікованому вигляді замінивши функцію “менше з двох” $\overset{\vee}{z}$ на функцію “більше з двох” $\hat{z}$

$$\hat{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \hat{z}_i[x_i, x_{i+j}].$$

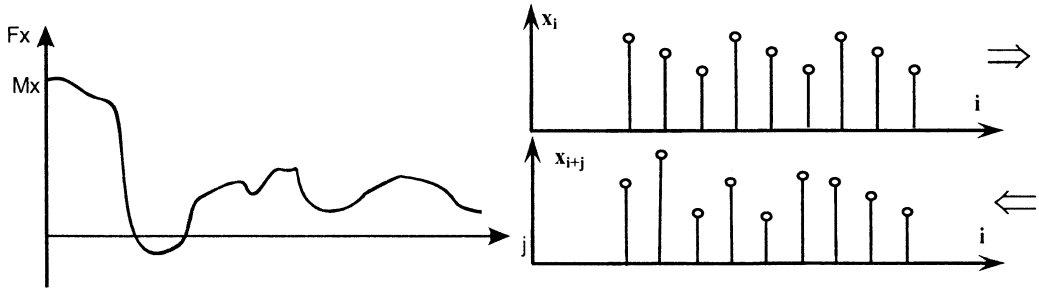


Рис.7.16. Модель та асимптотика еквівалентної функції автокореляції.

Структурна і модульна автокореляційні моделі дають підвищену точність оцінки в наслідок більшої інформативності елементів суми.

Автокореляційна функція еквівалентності (7.1), теоретичні основи якої розроблені Я.М.Николайчуком [200], забезпечує високу ефективність в оперативній обробці інформації, за рахунок можливості реалізації її з найбільшою швидкодією серед усіх кореляційних моделей:

$$\overset{\vee}{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{\vee}{z}_i[x_i, x_{i+j}], \qquad (7.1)$$

де $\overset{\vee}{z}_i[x_i, x_{i+j}] = \overset{\vee}{z}_i = \begin{cases} x_i, \text{при } x_i \le x_{i+j}, \\ x_{i+j}, \text{при } x_i > x_{i+j}. \end{cases}$ – функція “менше з двох”.

Характерною властивістю моделі є те, що в нульовій точці функція еквівалентності рівна математичному сподіванню: $F_{xx}(0) = M_x$.

Модель еквівалентності можна подати в модифікованому вигляді замінивши функцію “менше з двох” $\overset{\vee}{z}$ на функцію “більше з двох” $\hat{z}$

$$\hat{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \hat{z}_i[x_i, x_{i+j}].$$

Між наведеними оцінками кореляційних функцій, провівши деякі прості перетворення, можна встановити аналітичні залежності, які для стаціонарних ДІ

будуть мати вигляд:

$$\left.\begin{aligned} K_{xx}(j) &= R_{xx}(j) + M_x^2; \\ C_{xx}(j) &= 2\left|D_x + M_x^2 - K_{xx}(j)\right| = 2\left[D_x - R_{xx}(j)\right]; \\ G_{xx}(j) &= 2\left(M_x - \overset{\vee}{F}_{xx}(j)\right); \\ \hat{F}_{xx}(j) &= 2M_x - \overset{\vee}{F}_{xx}(j), \end{aligned}\right\} \qquad (7.2)$$

де $\hat{z}_i[x_i, x_{i+j}] = \hat{z}_i = \begin{cases} x_i, \text{ якщо } x_i \geq x_{i+j}, \\ x_{i+j}, \text{ якщо } x_i < x_{i+j}, \end{cases}$

а також статистичні залежності:

$$\rho_{xx}(j) = 1 - \frac{G_{xx}^2(j)}{2\mu_x\sigma_x^2}; \quad \rho_{xx}(j) = \frac{1}{\mu_x\sigma_x}B_{xx}(j); \quad \rho_{xx}(j) = \sin\left(\frac{1}{\mu^2}H_{xx}(j)\right),$$

де μ_x – коефіцієнт, що залежить від закону розподілу.

Для закону розподілу Гауса станів ДІ $\mu = \sqrt{\frac{2}{\pi}}$ і відповідно попередні вирази будуть мати вигляд:

$$\left.\begin{aligned} G_{xx}(j) &= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sqrt{D_x - R_{xx}(j)}; \\ \rho_{xx}(j) &= \sin\left[\frac{\pi}{2}H_{xx}(j)\right]; \\ \rho_{xx}(j) &= \sqrt{\frac{\pi}{2}}\cdot\frac{P_{xx}(j)}{\sigma_x}. \end{aligned}\right\} \qquad (7.3)$$

Особливими кореляційними оцінками є

$$\left.\begin{aligned} B_{xx}(j) &= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i + x_{i+j}\right); \\ Q_{xx}(j) &= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i^2 + x_{i+j}^2\right), \end{aligned}\right\} \qquad (7.4)$$

які вироджуються в статистичні характеристики стаціонарних сигналів $B_{xx}(j) = 2M_x$ і $Q_{xx}(j) = 2(D_x + M_x^2)$, в наслідок чого втрачають властивість відображати кореляційні зв'язки. Ефект виродження виникає в наслідок того, що оцінки (7.4) є сумою симетричних функцій, в результаті чого гасяться кореляційні

властивості:

$$\left.\begin{aligned} B_{xx}(j) &= 2\overset{\vee}{F}{}^{2}_{xx}(j) + G_{xx}(j), \\ Q_{xx}(j) &= 2\overset{\vee}{F}{}^{2}_{xx}(j) + 2\frac{1}{n}\sum_{i}^{n}\overset{\vee}{z}_i \cdot \left|x_i - x_{i+j}\right| + C_{xx}(j), \end{aligned}\right\}$$

де $\overset{\vee}{F}{}^{2}_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\overset{\vee}{z}{}^{2}_{i}(x_i, x_{i+j})$ – квадратична функція еквівалентності.

З другого виразу (7.5) видно, що між функціями $\overset{\vee}{F}{}^{2}_{xx}(j)$ і $C_{xx}(j)$ існує **аналітичний зв'язок, який виражається через функцію**

$$Tm_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n}\overset{\vee}{z}_i \cdot \left|x_i - x_{i+j}\right|.$$

7.4. Нелінійні решітчасті моделі ОУ.

7.4.1. Одновимірні адаптивні моделі ОУ у базисі Радемахера.

Швидко зростаючі обсяги інформації вимагають створення нових **ефективних технологій** зменшення надлишковості даних.

Широке застосування отримали адаптивні та неадаптивні методи стиснення **даних. Адаптивні методи** базуються на аналізі станів об'єктів управління і **адаптивного кодування.** Процедура кодування базується на визначенні активних і **неактивних відліків, що можна** продемонструвати на прикладі рис. 7.17.

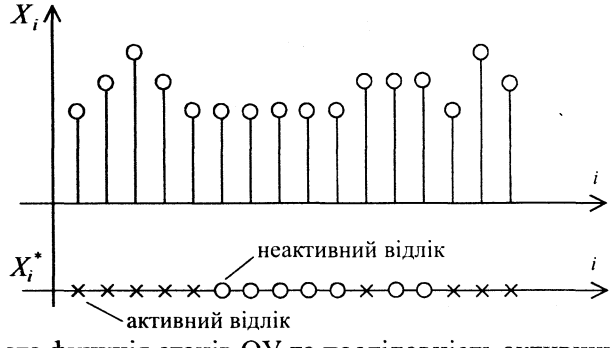


Рис. 7.17. Решітчаста функція станів ОУ та послідовність активних і неактивних відліків: $x_i = x_i^*$, $x_i \neq x_i - 1$, x_i^* – активний відлік, x_i – неактивний відлік.

Ефект стиснення даних досягається за рахунок кодування тільки активних **відліків і їх номерів,** розрядність коду визначається за формулою Хартлі:

$$n = \hat{E}[\log_2 A],$$

де $\hat{E}[\cdot]$ – цілочисельна функція; A – діапазон квантування; n – розрядність двійкового коду для представлення величини x_i; $0 \le x_i \le A$.

В результаті такого адаптивного кодування станів ОУ формується наступний потік даних:

$$\{i, x_i^*\},\ i = 1,2,...m,$$

де m – число відліків.

Розрядність коду номера активного відліку дорівнює:

$$l = \hat{E}[\log_2 m].$$

Сумарна розрядність кодів S, що реєструються, визначається сумою:

$$S = n + l.$$

7.4.2. Адаптивні моделі ОУу базисі Галуа.

Метод адаптивного кодування ОУ в базисі Галуа полягає у тому, що кожному відліку у відповідність ставиться біт послідовності Галуа. Якщо відлік активний, то біт Галуа інвертується $\overline{G}$ і після нього слідує значення контрольованого параметра, прямий біт Галуа G означає, що відлік неактиний.

Потік інформаційних даних набуде вигляду:

$$\overline{G}X^*GGG...\overline{G}X^*\overline{G}X^*GGG...G.$$

Для різних процесів число активних відліків f може змінюватись в діапазоні:

$$1 \le f \le m.$$

Можливі два варіанти слідування активних відліків f:

1) Активні відліки слідують один за одним на віддалі $d \ge l$, де l розрядність кодону Галуа, яка рівна розрядності коду номера відліка, при $l = 5$ послідовність має вигляд:

$$GGGGGG\overline{G}X^*GGGGGGGGG\overline{G}X^*GGGGGGGGG\overline{G}X^*GG.$$

2) Активні відліки, що слідують через кількість біт, що менша, ніж розрядність кодону $d \le l$, тобто послідовність має вигляд:

$$GGG\overline{G}X^*GG\overline{G}X^*G\overline{G}X^*GGG\overline{G}X^*GG\overline{G}X^*GGG\overline{G}X^*\overline{G}X^*G.$$

Перспективний також модифікований метод адаптивного кодування станів ОУ в базисі Галуа, який при появі активного відліку реєструє тільки його значення та кодон Галуа. Метод ефективно зменшує надлишковість даних при першому варіанті слідування активних відліків. У даному випадку одержуємо верхню оцінку коефіцієнта стиснення.

Початковий об'єм даних, коли кожне значення кодується максимальною кількістю біт, розраховується за формулою:

$$I_0 = m \cdot \hat{E}[\log_2 A].$$

Обчислимо об'єм даних при різних методах кодування:

1) метод однопараметричного адаптивного кодування:

$$I_1 = f \cdot \left(\hat{E}[\log_2 A] + \hat{E}[\log_2 m] \right),$$

2) метод адаптивного кодування в базисі Галуа:

$$I_2 = m + f \cdot \hat{E}[\log_2 A];$$

3) модифікований метод адаптивного кодування в базисі Галуа:

$$I_{3\max} = f \cdot \left(\hat{E}[\log_2 m] + \hat{E}[\log_2 A] \right) \text{ – нижня оцінка,}$$

$$I_{3\min} = \hat{E}[\log_2 A] + \hat{E}[\log_2 m] + (f-1) \cdot \left(\hat{E}[\log_2 A] + 1 \right) =$$

– верхня оцінка.

$$= \hat{E}[\log_2 m] + f \cdot \hat{E}[\log_2 A] + f - 1$$

Нижня оцінка співпадає з 1–м методом, верхня - дозволяє збільшити коефіцієнт стиснення в 1,6 – 2 рази. Тобто, якщо процес задовольняє умові, що активні відліки йдуть послідовно один за одним, то показники стиснення з використанням запропонованого методу є кращими, ніж методів 1 і 2.

Коефіцієнт стиснення розраховуємо відносно початкового – нульового методу, об'єм даних при якому рівний I_0 (рис.7.18):

для першого методу:

$$K_{ct1} = \frac{m \cdot \hat{E}(\log_2 A)}{f \cdot \left(\hat{E}[\log_2 A] + \hat{E}[\log_2 m] \right)};$$

для другого методу:

$$K_{ct2} = \frac{m \cdot \hat{E}(\log_2 A)}{m + f \cdot \hat{E}[\log_2 A]};$$

для третього методу, при умові, що всі активні відліки слідують один за одним:

$$K_{ct3} = \frac{m \cdot \hat{E}[\log_2 A]}{\hat{E}[\log_2 m] + f \cdot \hat{E}[\log_2 A] + (f-1)}.$$

Для інших випадків коефіцієнт стиснення при використанні третього методу визначається згідно аналітичного виразу:

$$K_{ct3} = \frac{m \cdot \hat{E}(\log_2 A)}{f \cdot \hat{E}[\log_2 A] + m - j},$$

де j – число бітів Галуа, які не враховуються.

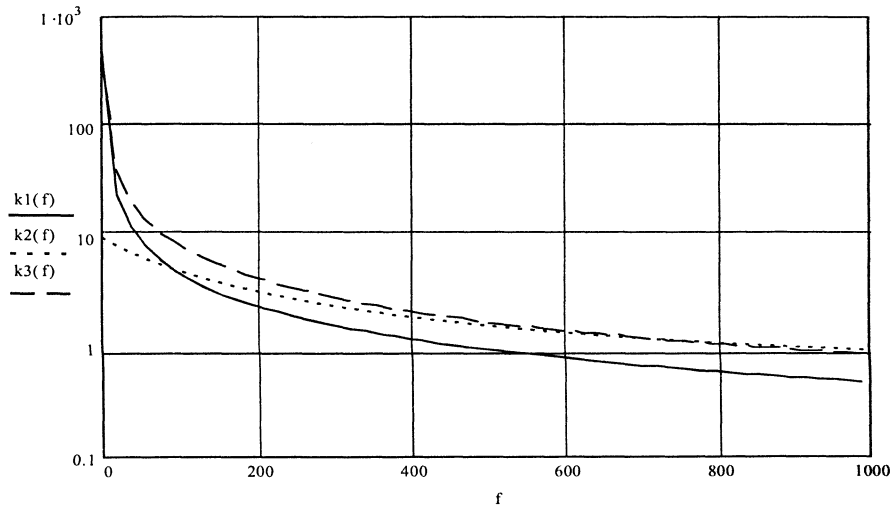


Рис. 7.18. Залежності коефіцієнта стиснення від кількості активних відліків.

Отже, описаний метод адаптивного кодування станів ОУ доцільно використовувати для стиснення даних, що мають велику розрядність даних і понад 50% активних відліків.

За рахунок рекурентних властивостей бітів Галуа такими ОУ формується потік даних з блоковою синхронізацією. Це дає можливість використовувати даний метод у багатоканальних системах збору та обробки інформації.

Однією зі складних задач на рівні РКС є впровадження стандартних протоколів зв'язку між давачами технологічних параметрів, контролерами і ПК. Високий рівень промислових завад, а також вимоги підвищеної надійності і живучості РКС ставлять високі вимоги до протоколів фізичного рівня та методів кодування.

Основним недоліком стандартних протоколів є необхідність здійснення процедури бітстафінгу за рахунок незалежності кожного біту службових даних при реалізації флагів. Другим недоліком більшості існуючих протоколів є відсутність методів виключення неактивних джерел інформації в полі даних.

Властивості кодів Галуа, які визначають логічний зв'язок між різними елементами послідовності, відкривають нові можливості розробки методів стиснення даних та організації блокової і символьної синхронізації в послідовних біт- та байт-орієнтованих потоках даних.

В багатоканальних системах контролю та управління на основі вертикальної інформаційної технології дані в каналах змінюються в різні моменти часу, що приводить до формування асинхронних потоків даних.

Вирішити задачу вирівнювання динаміки таких інформаційних потоків можна використанням буферного запам'ятовуючого пристрою, в якому зберігаються останні n – розрядів послідовності Галуа кожного каналу і передаються в канал зв'язку у визначені моменти часу або по запиту з центрального сервера, але при цьому відбувається старіння інформації.

Структуру повідомлень такого багатоканального ОУ можна представити матрицею:

$$\begin{vmatrix} N & & & & \\ 1 & X^*_{i,1} & X_{i+1,1} & \dots & X^*_{m1} \\ 2 & X^*_{i,2} & X_{i+1,2} & \dots & X_{m2} \\ \dots & & \dots & & \\ \dots & & \dots & & \\ j & X^*_{i,j} & X_{i+1,3} & \dots & X_{mj} \\ \dots & & \dots & & \\ \dots & & \dots & & \\ n & X_{i,n} & X^*_{i+1,n} & \dots & X^*_{mn} \end{vmatrix},$$

де n – число каналів; m – число відліків; X^*_i – активний відлік; X_i – неактивний відлік.

Для зменшення надлишковості даних в багатоканальних системах, які необхідно передавати по каналах зв'язку, та формування послідовного біт-орієнтованого протоколу виконується паралельне сканування каналів та формування біт-рекурентної послідовності Галуа G – якщо відлік неактивний, або інвертованого біту Галуа $\overline{G}$, якщо відлік активний.

В результаті адаптивного кодування станів ОУ формується наступний потік даних:

$$CC\overline{G}X_{i1}\,\overline{G}X_{i2}\dots\overline{G}X_{ij}\dots GGG\dots\overline{G}X_{i+1,n}\,\overline{G}X_{m1}\dots G\dots\overline{G}X_{mn}\,CC,$$

де СС – символи блокової синхронізації.

Коефіцієнт стиснення для потоку даних такими ОУ визначається за формулою:

$$k_c = \frac{n\cdot m\cdot \hat{E}[\log_2 A]}{n\cdot m + f_a\cdot \hat{E}[\log_2 A]},$$

де f_a – число активних відліків; n – номер каналу; m – число повідомлень n -го каналу.

Графічні залежності зміни коефіцієнта стиснення k_c від зміни розрядності відліків $g_1 = 8$; $g_2 = 16$; $g_3 = 24$ та кількості активних відліків $1 \le f \le 124$ представлено на рис. 7.19.

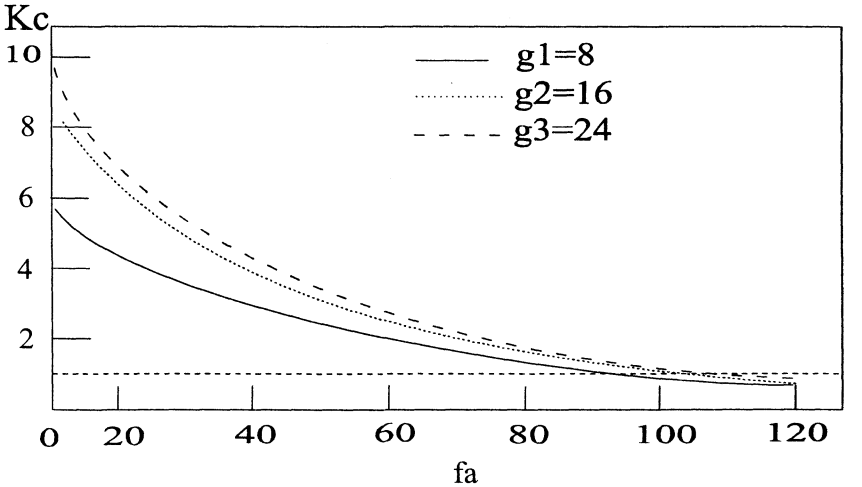


Рис. 7.19. Залежність стиснення даних від кількості активних відліків.

З графіків видно, що використання адаптивних ОУ є найбільш ефективним при кількості активних відліків менше 50%, тобто для об'єктів з невисокою динамікою.

Викладений метод стиснення даних на основі кодів поля Галуа дає можливість адаптації інформаційної системи до зміни динаміки станів ОУ та їх відповідних статистичних характеристик в часі.

7.4.3. Нелінійні моделі ОУ у базисі Крестенсона.

Кодування багатомірних ОУ є складною теоретичною та актуальною технічною задачею.

В загальному вигляді задачу кодування багатомірного ОУ можна формалізувати наступним чином:

заданий вектор багатомірного простору N_k у вигляді

$$N_k = \{b_1, b_2, \ldots b_i, \ldots b_k\}, \tag{7.6}$$

де b_i – значення i – го параметру.

Існують різні методи перетворення багатовимірного простору в одновимірний на базі використання різних базисів чисел. При використанні базису Радемахера для такого перетворення вибирається система базисів:

$$\{a^0, a^1, a^2, \ldots a^n\}, \tag{7.7}$$

де a – модуль системи числення.

При використанні двійкового числення $a_i = 2$.

Таким чином кожне значення b_i може дорівнювати "0" або "1".

При використанні інших систем числень, наприклад $a=8$, $a=10$, $a=16$ відповідно число значень b_i буде дорівнювати 8, 10, 16.

Такий спосіб кодування багатовимірного ОУ передбачає однакове число розрядів для кодування b_i, що рідко можна спостерігати на практиці.

При цьому може виникати суттєва надлишковість подання даних, якщо окремі ординати багатовимірного простору потребують меншого числа розрядів, тобто $b_i << a^i$.

Даний недолік можна практично виключити при кодуванні станів ОУ в базисі Крестенсона.

При цьому вибирається така система взаємопростих модулів P_i, для яких виконуються умови:

$$b_i \le P_i - 1.$$

В даному випадку, застосувавши пряме перетворення системи залишкових класів над послідовністю (7.6), отримаємо:

$$N_k = res \sum_{i=1}^{n} B_i \cdot b_i (\mathrm{mod}\, \wp),$$

де $\wp = \prod_{i=1}^{n} P_i$, $0 \le N_k \le \wp - 1$,

$$B_i = \frac{\wp}{P_i} \cdot m_i \equiv 1 (\mathrm{mod}\, P_i),$$

де m_i – задовольняють умові $0 \le m_i \le P_i - 1$.

Приклад кодування тривимірного джерела в базисі Крестенсона показаний на рис.7.20.

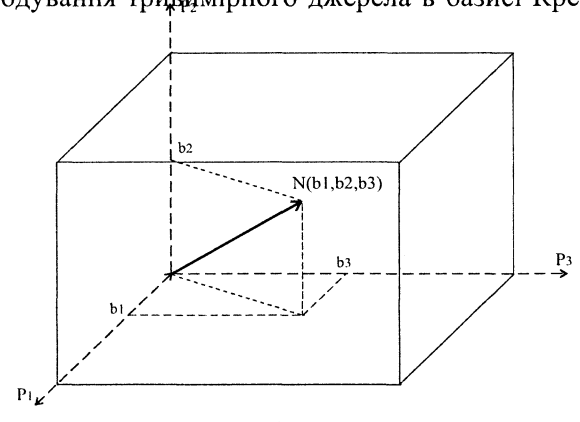


Рис.7.20. Кодування тривимірного ОУ у базисі Крестенсона.

Даний метод кодування багатомірних ОУ, на відміну від декартових координат, дозволяє виключити надлишковість кодування в тривимірному просторі, яка виникає при виконанні умови (7.7).

7.4.4. Нелінійні моделі ОУ у базисі Крестенсона-Галуа.

Кодування станів багатомірних ОУ виконується на основі перетворення Крестенсона – Галуа. Структурна схема процесора обробки даних на основі перетворення Крестенсона – Галуа представлена на рис.7.21.

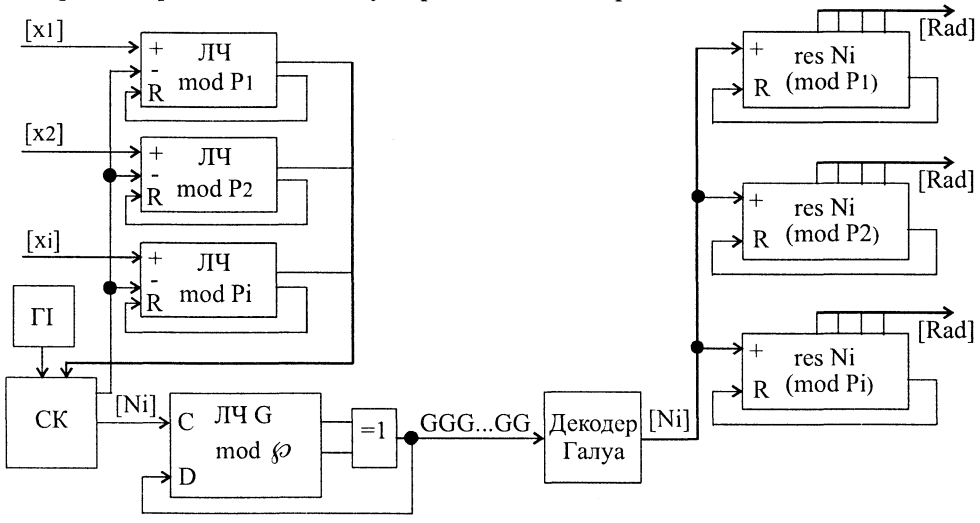


Рис. 7.21. Структурна схема системи кодування багатоканальних ОУ у базисі Крестенсона-Галуа: ЛЧ mod Pi – лічильник по модулю Pi; ЛЧ G – лічильник Галуа; ГІ – генератор тактових імпульсів; СК – схема керування.

Робота процесора виконується наступним чином.

Значення технологічних параметрів x_i в унітарному базисі поступають на вхід сумування лічильників. Після завершення циклу вимірювання на входи віднімання вказаних лічильників поступають імпульси з генератора тактових імпульсів через схему керування. Віднімання імпульсів відбувається до тих пір, поки всі лічильники одночасно не встановляться в "0". Паралельно така сама кількість імпульсів поступає на генератор Галуа по модулю $\wp$. На приймальній стороні відбувається зворотна операція одержання значень x_i. Використання прямого перетворення системи залишкових класів дозволяє перейти від багатовимірного до одновимірного подання значень технологічних параметрів на передавальній стороні та зворотного перетворення на приймальній стороні, і, відповідно, спростити реалізацію протоколів передавання даних та захистити дані від несанкціонованого доступу.

Використання взаємопростих модулів розмірності $P_i = 2^n - 1$ дозволяє передавати залишки послідовностями Галуа (рис. 7.21).

Коефіцієнт зменшення надлишковості даних таких ОУ розраховують за формулою:

$$k_c = \frac{\sum_{i=1}^{k} \hat{E}\left[\log_2 b_{i\max}\right]}{\hat{E}\left[\log_2\left(\prod_{i=1}^{n} P_i - 1\right)\right]}.$$

Важливою задачею є кодування багатомірних ОУ, які представляють багатовимірні вектори в вузлах двовимірної площини (рис.7.22).

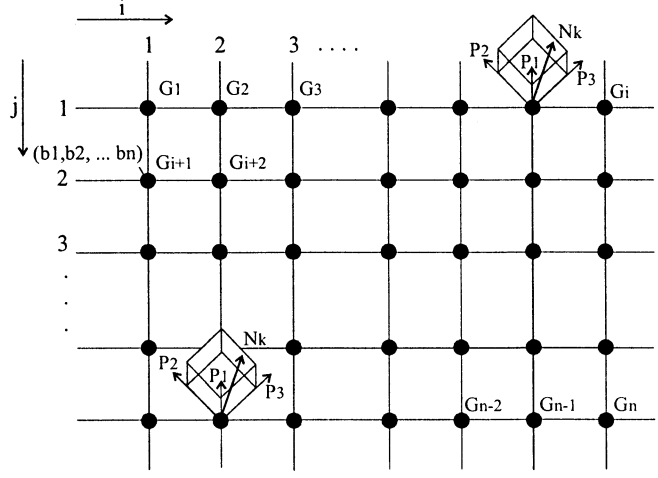


Рис. 7.22. Модель багатоканального ОУ у хеммінговому просторі.

До таких задач належать задачі картографії, екологічного моніторингу, розподілу характеристик в перерізах нафтогазопроводів, метеорологічні задачі.

В результаті отримуємо двовимірну площину з векторами N_{ijk}.

Задача підвищення ефективності кодування таких ОУ може бути вирішена двома шляхами:

а) розширенням системи модулів для внутрішнього кодування i та j;

б) кодуванням цих координат в базисі Галуа.

В першому випадку пряме перетворення залишкових класів в розширеній системі модулів має вигляд:

$$N_{k\,i\,j} = res\left(\sum_{i=1}^{k+2} b_i \cdot \beta_i \,(\mathrm{mod}\,\wp^*)\right),$$

де $\wp^*$ – розширений модуль, який включає систему модулів

$P_1, P_2, \ldots, P_i, \ldots, P_k, P_{k+1}, P_{k+2}$,

де $\begin{matrix} 0 < P_{k+1} \le \alpha - 1 \\ 0 < P_{k+2} \le \beta - 1 \end{matrix}$, $i = 1,2,\ldots,\alpha$, $j = 1,2,\ldots,\beta$.

Коефіцієнт стиснення для даного методу розраховується за формулою:

$$K_{c1} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \hat{E}\left[\log_2 b_{i\max}\right] + \hat{E}\left[\log_2 \alpha\right] + \hat{E}\left[\log_2 \beta\right]}{\hat{E}\left[\log_2 (\wp^* - 1)\right]}. \qquad (7.8)$$

При застосуванні кодів Галуа вектор N_k доповнюється одним бітом Галуа, і двовимірне джерело представляється у вигляді одновимірного масиву даних

$$\{G_l, N_k\},$$

де G_l –рекурентна послідовність бітів Галуа,

$0 \le G_l \le \alpha \cdot \beta$.

Коефіцієнт стиснення при цьому визначається за формулою

$$K_{c2} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \hat{E}\left[\log_2 b_{i\max}\right] + \hat{E}\left[\log_2 \alpha\right] + \hat{E}\left[\log_2 \beta\right]}{1 + \hat{E}\left[\log_2\left(\prod_{i=1}^{n} P_i - 1\right)\right]}. \qquad (7.9)$$

Описаний метод дозволяє перейти від багатовимірного представлення параметрів контрольованого об'єкту до одновимірного, що, в свою чергу, суттєво спрощує протоколи передавання даних, захищає дані від несанкціонованого доступу та зменшує об'єми інформаційних та службових даних.

Графічна залежність коефіцієнта стиснення на основі залежностей (7.8) і (7.9) при $P1 = 17$, $P2 = 53$, $P3 = 153$, $\alpha = 10$, $\beta = 12$ подана на рис. 7.23.

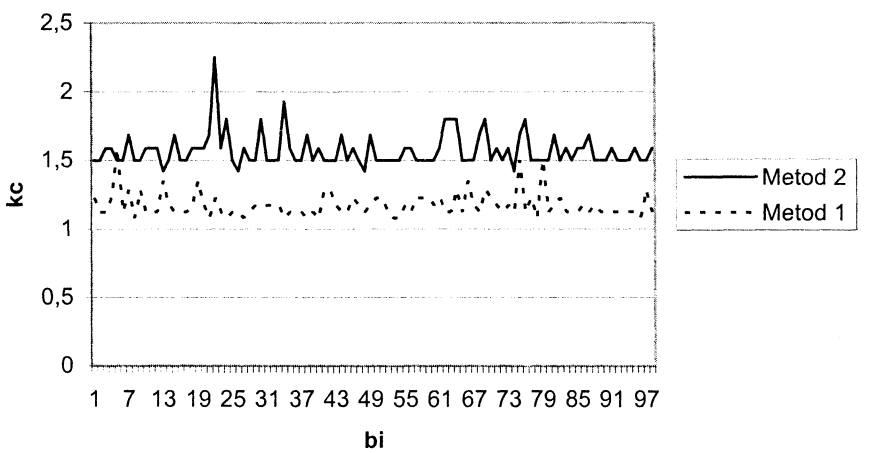


Рис. 7.23. Залежність коефіцієнта стиснення від значення виміряних параметрів.

7.4.5. Моделі ОУ на основі вертикальної інтегрально-імпульсної технології.

На рис.7.24 показана продукційна модель інтегрально-імпульсного ОУ. Основним принципом побудови такої моделі є синтез кодової шкали Галуа по осі ординат та формування асинхронного потоку бітів Галуа в моменти пересічення квантованих значень по вертикалі функцією аналогових станів ОУ.

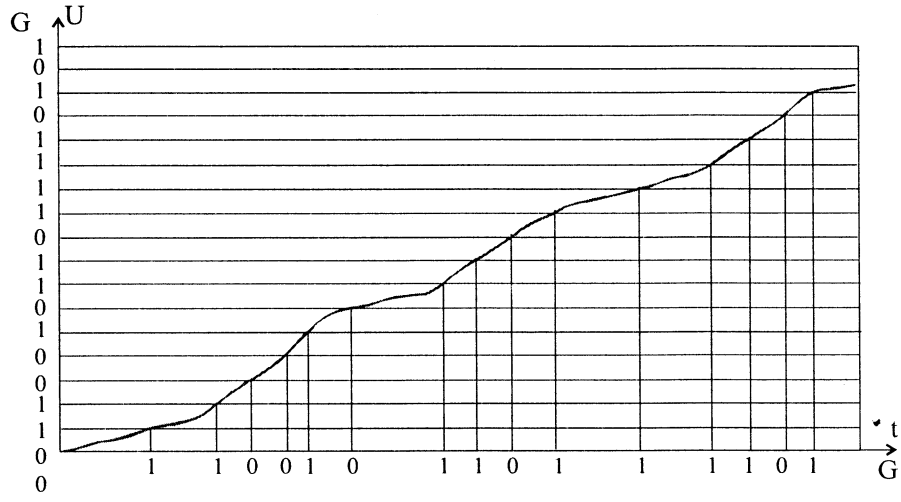


Рис.7.24. Інтегральне представлення сигналу.

На рис.7.25 показана продукційна модель інтегрально-імпульсного ОУ при значних перевантаженнях динаміки, що може приводити до втрати значної частини бітів Галуа на виході такого ОУ.

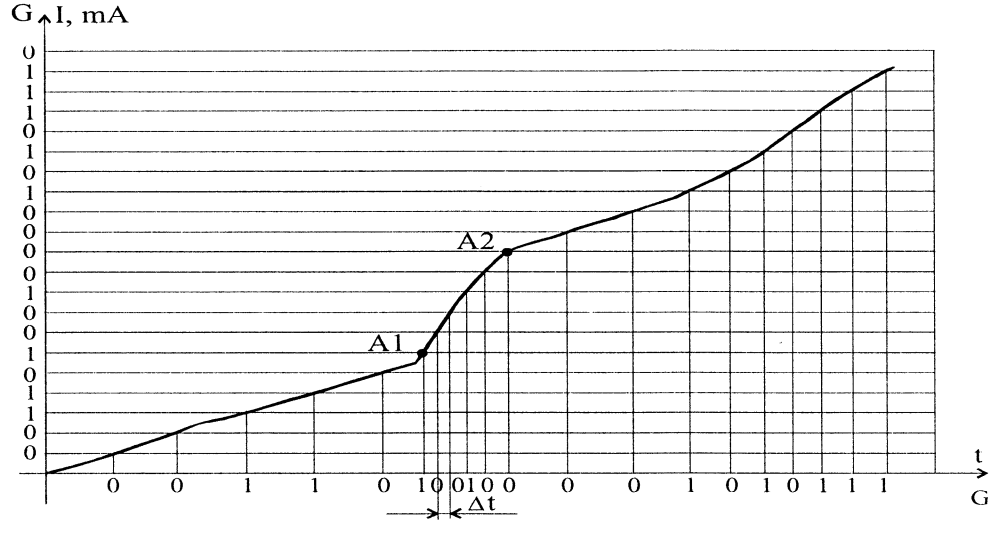


Рис. 7.25. Інтегральне представлення сигналу.

7.4.6. Кодові шкали в базисі Галуа.

Перевагою такого способу біт-орієнтованого кодування станів ОУ по відношенню до існуючих, наприклад Δ -модуляції, є відсутність втрати інформації за рахунок можливості відновлення усередненої динаміки станів ОУ на інтервалі перевантаження кодової системи за рахунок обчислення різниці між інтегралами A2-A1, що відповідає процедурі диференціювання і відновлення станів ОУ у сигнальному просторі.

Дана технологія кодування станів ОУ на основі квазітрійкової кодової шкали Галуа (рис.7.26) впроваджена і використовується на міжнародному європейському еталоні витрати газу (м. Івано-Франківськ), що дозволило суттєво підвищити та стабілізувати метрологічну точність названого еталону.

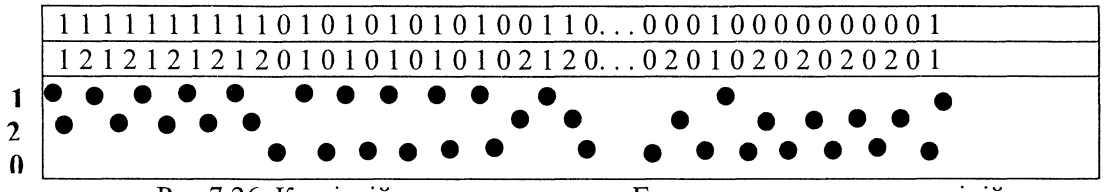


Рис.7.26. Квазітрійкова кодова шкала Галуа для високоточних лінійних переміщень (m=10, N=1024)

7.5.Спектральні моделі ОУ у різних теоретико-числових базисах.

Поряд з часовими статистичними характеристиками, важливе місце в інформаційному аналізі стохастичних сигналів займають спектральні характеристики. Спектральний аналіз базувався, як правило на прямому та зворотному перетворенні Фур'є. Проте в математиці відомо багато інших систем ортогональних функцій, в тому числі: Чебишева, Лежандра, Бесселя, поліноми Лагера та ін.

З розвитком комп'ютерної техніки та апарату дискретної математики все частіше використовуються системи прямокутних ортогональних функцій Уолша, Хаара, Віленкіна-Крестенсона. Як відмічається в [3, 14, 34], спектральна обробка в базисах Уолша, Хаара, Хаароподібних та Уолшеподібних функцій найбільше задовільняють сучасну цифрову техніку, а також відповідають тенденціям розвитку мікроелектронних, мікропроцесорних засобів опрацювання інформації. При виборі базисних функцій в спектральній обробці сигналів, крім простоти формування стандартних сигналів, намагаються досягнути також мінімальної кількості гармонік, необхідної для апроксимації сигналу.

Дослідимо збіжність процесу апроксимації сигналу в трьох базисах стандартних сигналів: Фур'є, Радемахера (частковий випадок базису Уолша) і Крестенсона. Більшість технологічних об'єктів мають ергодичний характер зміни станів, для яких нормована автокореляційна функція $\rho_{xx}(j)$ при великих зміщеннях j прямує до нуля або приймає випадкові значення, які згладжуються функцією експоненти (див. табл.5.3) .

Для спектрального аналізу стаціонарних випадкових процесів шукають енергетичний спектр, який визначається за теоремою Вінера-Хінчіна, яка для системи гармонічних функцій записується виразом:

$$G_x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{xx}(\tau) \cdot e^{-j2\pi f\tau} d\tau$$

або в дискретному просторі:

$$G_x(f) = \sum_{k=1}^{n} \rho_{xx}(k) \cdot e^{-j2\pi fk}, \qquad (7.10)$$

де ρ_{xx} – нормована автокореляційна функція.

Вираз (7.10) виражає взаємокореляцію між ρ_{xx} і гармонічними сигналами різної частоти. Тоді прокорелювавши ρ_{xx} з стандартними сигналами в базисі Радемахера визначимо спектр сигналу в цьому базисі:

$$G_x(f) = \sum_{k=1}^{n} \rho_{xx}(k) \cdot rad(i, \theta),$$

де $rad(i, \theta) = sig[\sin(2^i \pi\theta)]$, або $rad(i, \theta) = (-1)^{ent(2^{i+1}\theta)}$,

$ent(x)$ – ціла частина від x;

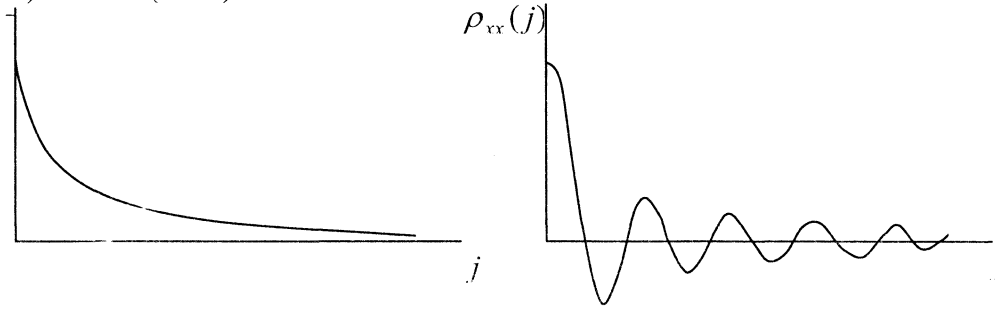
$\theta = t/T$ – аргумент, нормований до періоду сигналу T.

На рис.7.27 показано характеристики ρ_{xx} для стохастичних і гармонічних сигналів.

Аналогічно визначимо енергетичний спектр сигналу в базисі Крестенсона:

$$G_x(f) = \sum_{k=1}^{n} \rho_{xx}(k) \cdot cr(i, \theta),$$

де $cr(i, \theta) = 1 - zal(2^{-i}\theta)$ – залишок від x.



а) б)

Рис. 7.27. Нормована автокореляційна функція ергодичного процесу
а) – без гармонічних складових; б) – з гармонічними складовими.

Для сигналів $x(t)$ з широким спектром найкращу збіжність забезпечує розклад в базисі Крестенсона, оскільки, як показано на рис.7.28, одна гармоніка базису Крестенсона включає практично всі кратні гармоніки базису Фур'є.

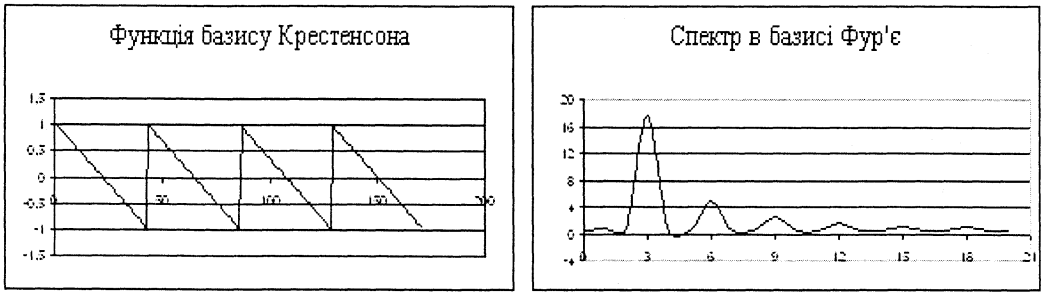


Рис.7.28. Спектральний розклад базисної функції Крестенсона в базисі Фур'є.

Перевагою цього базису є висока ефективність генерування ортогональних сигналів апаратними засобами на стандартних лічильниках, а також більш високий рівень упаковки енергетичного спектру по відношенню до базису Фур'є.

7.6. Моделі структуризованих джерел інформації

Система числення залишкових класів (СЗК) базису Крестенсона, розроблена Акушским І.Я. та Юдіцким Д.І., особливо її цілочисельна форма, широко використовувалась, починаючи з 70-х років минулого століття, для побудови швидкодіючих спеціалізованих процесорів систем повітряної оборони колишнього СРСР, а також за той же період реалізована у системі контролю та управління процесами буріння «АТОС-Б» та інших цифрових пристроях низових рівнів комп'ютерних систем.

Нормалізована форма СЗК, запропонована науковою школою проф. Николайчука Я.М., широко використана в телекомунікаційних процесорах інформаційних систем нафтогазової промисловості.

Перспективними модифікаціями СЗК, які в даний час глибоко досліджуються на кафедрі спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету, є розроблена досконала цілочисельна та, особливо, її нормалізована форма, а також запропонована розмежована форма СЗК (табл. 7.1).

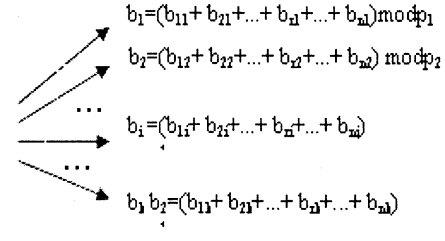
Відомі чотири форм перетворення залишкових класів, які базуються на аналітиці прямих та зворотніх перетворень.

В табл.7.1: N_k – число у позиційній системі числення (у базисі Радемахера); $(b_1 b_2 ... b_i ... b_k)$ – представлення числа у СЗК; $(p_1 p_2 ... p_i ... p_k)$ - набір взаємно простих модулів СЗК; b_i - найменший невід'ємний залишок; P – діапазон кодування чисел в СЗК; a_i – ранг; K – число модулів СЗК; B_i – базисні числа СЗК; res – символ операції знаходження найменшого невід'ємного залишку; int – символ операції виділення цілої частини; mod - символ операції по модулю; m_i – ранговий коефіцієнт СЗК; δp – дробова частина в нормалізованій формі СЗК; $[N_k]_0$, $[b_i]_0$ – відповідно число та залишок у нормалізованій формі базису Радемахера.

Система числення в базисі Галуа знайшла потужне застосування при реалізації вертикальної інформаційної технології у розподілених комп'ютерних

системах контролю та обліку витрати енергоносіїв «ALFIYA», а також реалізації швидкодіючих конвеєрних спецпроцесорів.

Таблиця 7.1

№ п\п	Пряме перетворення форми СЗК	Зворотнє перетворення форми СЗК
1.	Цілочисельна форма СЗК	
	$N_k = (b_1 b_2 ... b_i ... b_k)_{(p_1 p_2 ... p_i ... p_k)}$ $N_k = b_i (\mathrm{mod}\, p_i)$, $N_k = a_i p_i + b_i$, $P = \prod_{i=1}^{k} p_i$; $0 \le N_k \le P$.	$b_i = res N_k (\mathrm{mod}\, p_i)$ $N_k = res \sum_{i=1}^{k} b_i \cdot B_i (\mathrm{mod}\ P)$, $B_i = \frac{P}{p_i} \cdot m_i \equiv 1 (\mathrm{mod}\ \ P_i)$ ·
2.	Нормалізована форма СЗК	
	$\frac{N_k}{P} = res \sum_{i=1}^{k} \frac{b_i \cdot B_i (\mathrm{mod} P)}{P}$, $[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} b_i \cdot \frac{B_i}{P} (\mathrm{mod} 1)$, $0 \le [N_k]_0 \le P-1$; $\frac{B_i}{P} = \frac{1}{p_i}$, $\delta_p \le \frac{1}{P}$, $\frac{1}{p_i} = 0.\overbrace{gggg}^{n_i}\overbrace{gggg}^{\delta_p}$,	$[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} b_i \cdot \frac{m_i}{p_i} (\mathrm{mod} 1)$ $[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} [b_i]_0 \cdot m_i (\mathrm{mod} 1)$, $[b_i]_0 = \frac{b_i}{p_i}$, $0 \le [b_i]_0 \le 1$. $N_k = \mathrm{int}[N_k]_0 \cdot P$,
3.	Досконала форма СЗК	
	$[N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} [b_i]_0 (\mathrm{mod} 1)$.	$b_i = \mathrm{int}\, res [N_k]_0 (\mathrm{mod} 1) \cdot P_i$
4.	Розмежована форма СЗК	
	$N_k = N_{1k} + N_{2k} + ... + N_{ik} + ... + N_{nk}$,	

На основі аналізу характеристик та функціональних можливостей використання ТЧБ для формування СД на низових рівнях РКС запропонований метод компактного завадозахищеного формування СД на основі ТЧБ Крестенсона, який описується наступним алгоритмом:

$$\left.\begin{array}{l} x_1(t) \to x_{i1} \to p_1 \to b_1 \\ x_2(t) \to x_{i2} \to p_2 \to b_2 \\ \ldots \\ x_j(t) \to x_{ij} \to p_j \to b_j \\ \ldots \\ x_m(t) \to x_{im} \to p_{k-1} \to b_{k-1} \\ D_i \to p_k \to b_k \end{array}\right\} N_k = res \sum_{j=1}^{k} b_j B_j (\mathrm{mod} P);$$

$$B_j = \frac{P}{p_j} m_j = 1(\mathrm{mod} P_j),$$

де $x_j(t)$ – аналогові дані телеметрії; x_{ij} – цифрові дані телеметрії; D_i – ТЕД;

$p_1, p_2 \ldots p_k$ – система взаємно простих модулів; $b_1, b_2 \ldots b_j \ldots b_k$ – набір найменших невід'ємних залишків; Bj – система ортогональних базисів СЗК.

При використанні нормалізованої досконалої форми СЗК даний метод формування СД реалізується у вигляді більш простого алгоритму:

$$\left.\begin{array}{l} x_1(t) \to x_{i1} \to p_1 \to [b_1]_0 \\ x_2(t) \to x_{i2} \to p_2 \to [b_2]_0 \\ \ldots \\ x_j(t) \to x_{ij} \to p_j \to [b_j]_0 \\ \ldots \\ x_m(t) \to x_{im} \to p_{k-1} \to [b_{k-1}]_0 \\ D_i \to p_k \to [b_k]_0 \end{array}\right\} [N_k]_0 = res \sum_{i=1}^{k} [b_i]_0 (\mathrm{mod} 1);$$

$$b_i = \mathrm{int} res [N_k]_0 (\mathrm{mod} 1) \cdot P,$$

де $[N_k]_0$ - аналітичний вираз з табл. 7.1.

7.7. Кластерні моделі квазістаціонарних ОУ.

Складні багатоканальні ОУ з великою кількістю станів та переходами між ними відповідно мають такі ж складні моделі, які відображають зміну поведінки ОУ, що відповідає переходам його в різні стани. Переважно ці моделі будуються у вигляді графів, вершини якого позначають стани ОУ, а дуги – переходи з стану в стан.

Для спрощення подання та відображення поведінки ОУ використовуються кластерні моделі. Кластеризація може бути проведена по переходах ОУ між станами (дугам графу) і по самих станах (вершинах графу).

Кластеризація по переходах базується на матриці ймовірностей переходу з стану S_i в стан S_j:

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{21} & \cdots & p_{i1} & \cdots & p_{n1} \\ \vdots & & & & & \\ p_{1j} & p_{2j} & \cdots & p_{ij} & \cdots & p_{nj} \\ \vdots & & & & & \\ p_{1m} & p_{2m} & \cdots & p_{im} & \cdots & p_{nm} \end{pmatrix},$$

де $P_{ij} = \dfrac{N_{ij}}{N}$, N_{ij} – кількість переходів $S_i \to S_j$; N – загальна кількість переходів за час спостереження T.

Задається критичний коефіцієнт значимості α, при чому $0 \le \alpha \le 1$ і всі переходи $S_i \to S_j$, в яких $p_{ij} < \alpha$, вважаються несуттєвими.

Нехай (2.42) має розмірність 4×4

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix}$$

і $p_{21} \ge \alpha, \quad p_{14} \ge \alpha,$

$p_{42} \ge \alpha, \quad p_{34} \ge \alpha.$

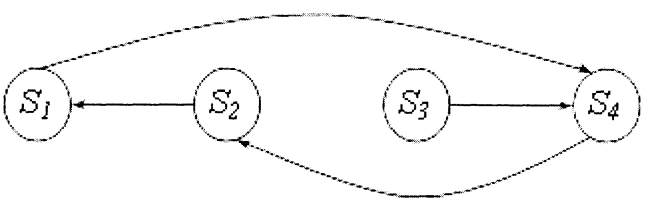
Тоді кластерна модель багатоканального ОУ може бути подана у вигляді таблиці або у вигляді графу (рис.7.29).

$S_2 \longrightarrow S_1$

$S_1 \longrightarrow S_4$

$S4 \longrightarrow S2$

$S3 \longrightarrow S4$



а) б)

Рис 7.29. Кластерні моделі ОУ: а) – таблична; б) – графова.

Якщо ввести градацію семантичної значимості переходів, отримаємо семантичну кластерну модель ОУ по переходах, в якій відображаються тільки ті переходи, які мають значення семантичних коефіцієнтів значимості q_{ij} більші за прийнятий критичний поріг β. Семантичні коефіцієнти переходів також

подаються у вигляді матриці

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{21} & \cdots & q_{i1} & \cdots & q_{n1} \\ \vdots & & & & & \\ q_{1j} & q_{2j} & \cdots & q_{ij} & \cdots & q_{nj} \\ \vdots & & & & & \\ q_{1m} & q_{2m} & \cdots & q_{im} & \cdots & q_{nm} \end{pmatrix}.$$

Взявши за основу попередній приклад з семантичними ваговими коефіцієнтами

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{pmatrix},$$

при чому $q_{21} \geq \beta$, $q_{14} \geq \beta$, $q_{32} \geq \beta$, $q_{24} \geq \beta$, кластерну модель ОУ можна подати в 4-х варіантах:

— відображення $S_i \to S_j$, для яких $p_{ij} \geq \alpha$ (рис. 7.29, б);

— відображення $S_i \to S_j$, для яких $p_{ij} \geq \alpha$ із позначенням семантичних ваг переходів (рис. 7.30);

— відображення $S_i \to S_j$, для яких $q_{ij} \geq \beta$ (рис. 7.29,а);

— відображення $S_i \to S_j$, для яких $p_{ij} \geq \alpha$ і $q_{ij} \geq \beta$ (рис. 7.31,б).

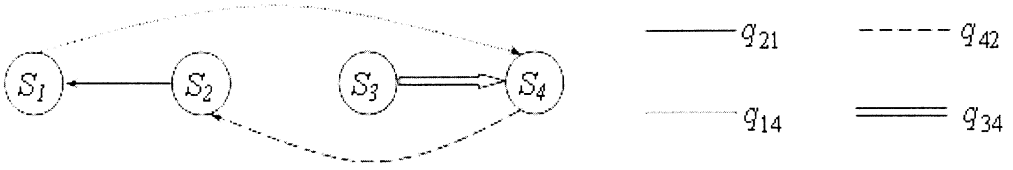
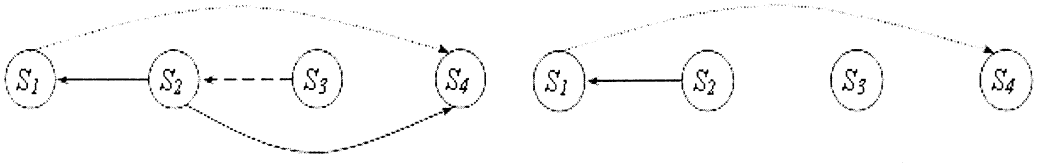


Рис.7.30. Приклад побудови кластерної моделі ОУ по ймовірнісних коефіцієнтах з позначенням семантичної ваги дуг.



а) б)

Рис 7.31. Приклади побудови кластерних моделей ОУ: а) – з врахуванням семантичних вагових коефіцієнтів переходів; б) – з врахуванням імовірнісних та семантичних вагових коефіцієнтів переходів.

Семантична градація переходів відображає інформацію, яка не враховується кількісними показниками p_{ij}, і може означати вибухонебезпечність, пожежонебезпечність, екологічну небезпеку, недопустимі економічні втрати та інше.

Кластеризація по станах ОУ передбачає зменшення кількості аналізованих станів за рахунок їх суміщення.

Для зменшення ширини графів запропоновано методи горизонтального, вертикального та групового склеювання (кластеризації) вершин.

Горизонтальна кластеризація передбачає склеювання вершин, які розміщені на одному рівні (рис.7.32) при виконанні умови:

$$\forall v_{ij}, \text{ що входять в } V_{Ij} \sum_{i}^{I} w_i \le m_j; \quad i = \overline{1, N}; \qquad j = \overline{1, L},$$

де v_{ij} – i-та вершина на j-му рівні;

V_{Ij} – нова вершина, утворена суміщенням v_{ij} на рівні j;

w_i – вага вершини v_{ij};

N – кількість вершин графу;

$m_j = \max\{v_{1j}, \ldots v_{ij}, \ldots, v_{n_j j}\}$ – максимальна вага вершини, яка розміщена на рівні j;

n_j – кількість вершин на j-му рівні;

I – перелік номерів вершин v_{ij}, які входять в V_{Ij}.

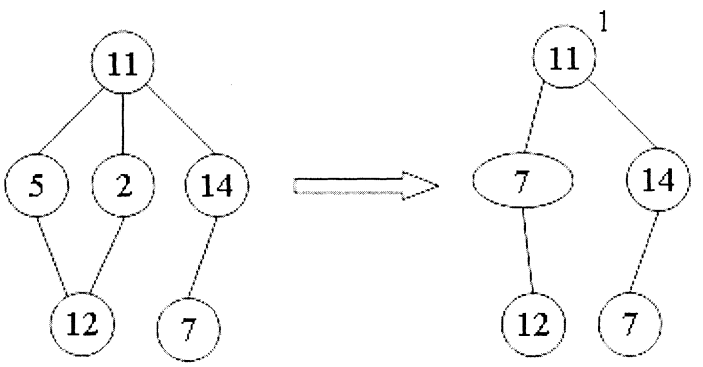


Рис.7.32. Приклад горизонтальної кластеризації моделі ОУ по вершинах графу.

Вертикальна кластеризація (рис.7.33) здійснюється за рахунок перенесення транзитної вершини v_{ik} графу з рівня k на рівень j, якщо виконуються умови:

$$n_j + 1 \le M \qquad \text{і} \qquad j_1 < j < j_1,$$

де $j_1 = \max\{in[e(v_{ik})]\}$ – максимальний номер рівня, з яким з'єднана вершина v_{ik} вхідними дугами;

$j_2 = \min\{out[e(v_{ik})]\}$ – мінімальний номер рівня, з яким з'єднана вершина v_{ik} вихідними дугами;

$M = \max\{n_1, \ldots, n_j, \ldots, n_L\}$ – максимальна кількість вершин, яка розміщена на одному з рівнів графу.

Групова кластеризація полягає в одночасному перенесенні транзитної вершини v_{ik} з k-го рівня на j-ий і суміщенням її з вершинами рівня j (рис.7.34).

При цьому повинні виконуватись умови: $\forall v_{ik}$, що входять в V_{Ij} $\sum_{i}^{I} w_i \le m_j$, при чому $j_1 \le j \le j_1$.

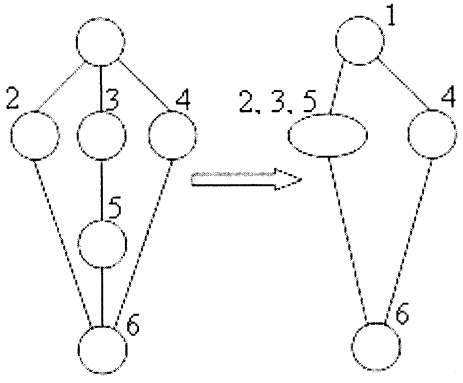


Рис. 7.33. Приклад вертикальної кластеризації моделі ДІ по вершинах графу.

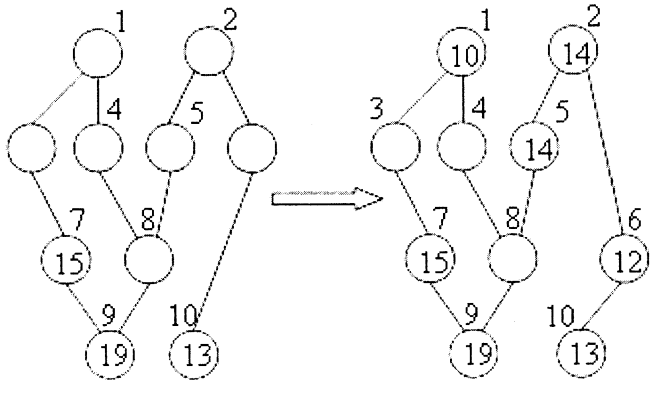


Рис. 7.34. Приклад групової кластеризації моделі ДІ по вершинах графу.

Таким чином, кластерні моделі ОУ дозволяють зменшити кількість вершин, які описують стани ОУ, що спрощує подальший аналіз їх поведінки, покращити ефективність сприйняття оператором великих об'ємів інформації і підвищити швидкість його реагування на відхилення об'єкту керування від норми.

7.8. Логіко–статистичні інформаційні моделі діагностики станів ОУ.

Система логіко-статистичних інформаційних моделей (ЛСІМ) дозволяє охопити широкий клас задач дослідження сигналів, що формуються ОУ, первинної обробки повідомлень в реальному часі, контролю відхилень та ідентифікації станів ОУ.

В основі першої ЛСІМ лежать апробовані методи ідентифікації допустимих відхилень станів ОУ від встановленої норми по амплітуді. Така модель багатоканального ОУ описується вектором булевих змінних:

$$L1 = \{a_1, a_2, \ldots, a_m\},$$

де m – загальна кількість каналів ОУ.

Якщо спостереження за ОУ ведеться протягом деякого інтервалу часу, то на цьому інтервалі формується послідовність векторів $L1_k$, які характеризують ОУ в кожен дискретний момент часу k.

Значення булевих змінних визначається за умовою:

$$a_{i_k} = \begin{cases} 0, \ при \ x_{i_k} \in E1_i; \\ 1, \ при \ x_{i_k} \notin E1_i, \end{cases}$$

де x_{k_i} – значення амплітуди сигналу в i-му каналі;

k – дискретний системний час;

$E1_i$ – апертура допустимих відхилень в i-му каналі.

Перша ЛСІМ має декілька модифікацій, які полягають у використанні статистичних характеристик сигналів і відповідних апертур в умові визначення координат вектора (2.44):

$$a_i = \begin{cases} 0, \ при \ M_{x_i} \in E11_i; \\ 1, \ при \ M_{x_i} \notin E11_i; \end{cases}$$

$$a_i = \begin{cases} 0, \ при \ M_{j_i} \in E12_i; \\ 1, \ при \ M_{j_i} \notin E12_i; \end{cases}$$

$$a_i = \begin{cases} 0, \ при \ D_{x_i} \in E13_i; \\ 1, \ при \ D_{x_i} \notin E13_1, \end{cases}$$

де в першій умові визначаючим фактором є оцінка вибіркового математичного сподівання, в другій умові – оцінка ковзного математичного сподівання, а в третій умові – оцінка дисперсії.

Перевагами наведених модифікацій є нечутливість до окремих випадкових відхилень станів ОУ (відсутність гіперчутливості), інтегральна чутливість моделі і

зменшення об'єму даних.

На рис. 7.35 наведено приклад, який відображає принцип формування булевих змінних в першій ЛСІМ та її модифікаціях для одного каналу ОУ.

Контроль динамічних параметрів об'єкту можна здійснювати за допомогою другої ЛСІМ. В її основу покладено визначення параметрів функції автокореляції, які відображають динамічні властивості сигналів. Друга ЛСІМ також описується вектором булевих змінних:

$$L2 = \{b_1, b_2, \ldots, b_m\};$$

$$b_i = \begin{cases} 0, \ при \ R_{x_i x_i}(j_0) < E2_i; \\ 1, \ при \ R_{x_i x_i}(j_0) \geq E2_i, \end{cases}$$

де $R_{x_i x_i}(j_0)$ – значення функції автокореляції при часовому зсуві j_0;

$E2_i$ – апертура амплітуди автокореляційної функції.

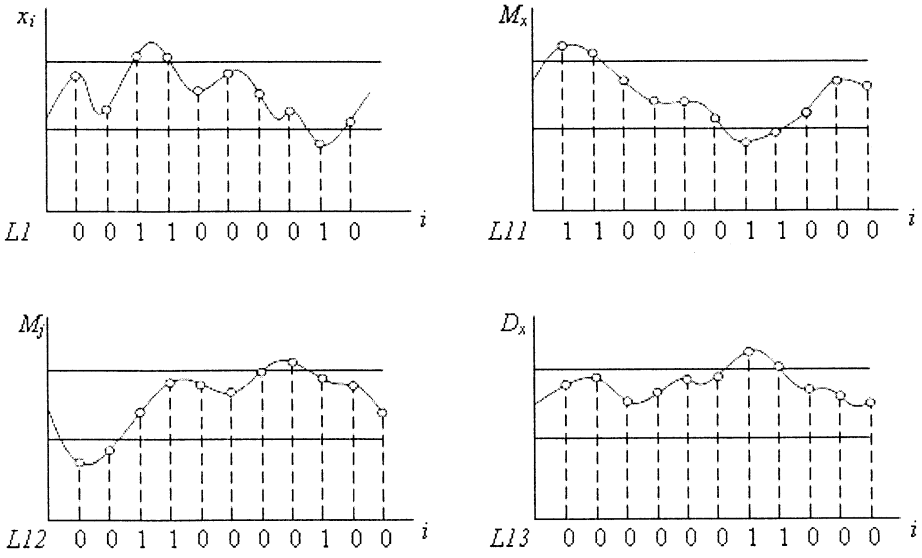


Рис. 7.35. Формування значень вектора першої ЛСІМ та її модифікацій.

Формування координат логічного вектора $L2$ може проводитись з використанням інших автокореляційних оцінок: $K_{xx}(j)$, $C_{xx}(j)$, $G_{xx}(j)$, $F_{xx}(j)$ в ролі функцій, що характеризують динамічні властивості станів ОУ. При цьому необхідно вибирати відповідні значення j_0 і $E2$.

На рис.7.36 наведено приклад формування значень другої ЛСІМ одноканального ОУ при зміні динаміки станів ОУ.

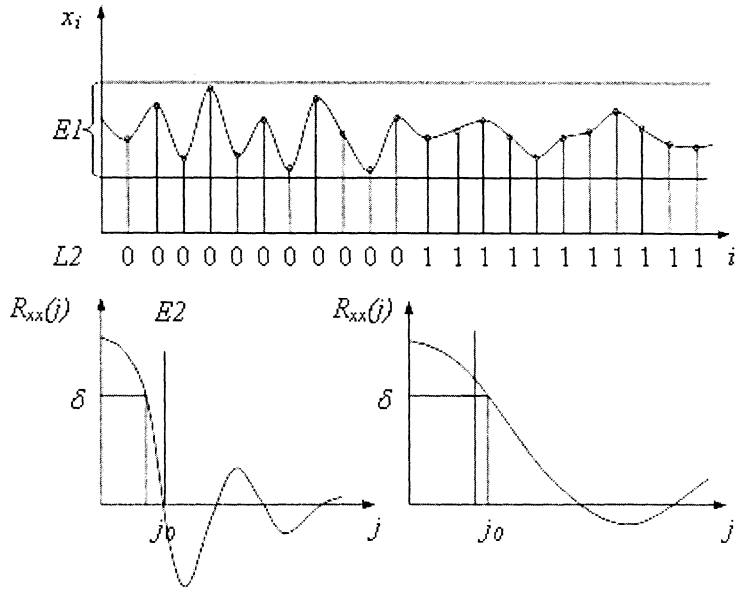


Рис. 7.36. Формування значень другої ЛСІМ.

Другу ЛСІМ можна модифікувати, що дозволить розширити її функціональні можливості контролю динаміки сигналу. Модифікація полягає в тому, що аналіз кореляційних оцінок проводиться не при одному значенні j_0, а на деякому інтервалі (j_1, j_2) (рис.7.37.).

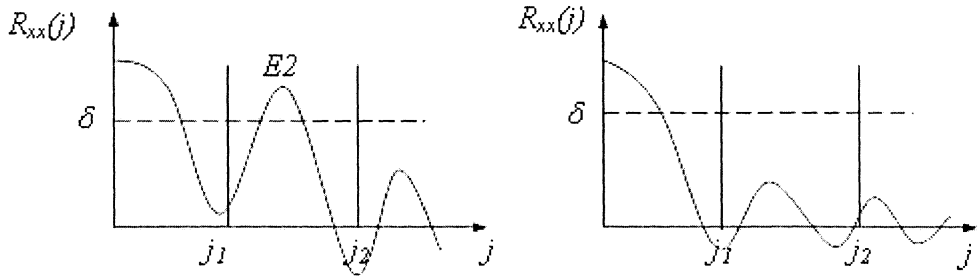


Рис.7.37. Приклади встановлення інтервальних апертур в другій ЛСІМ

В основі третьої ЛСІМ лежить процедура визначення коефіцієнтів взаємокореляції між двома контрольованими характеристиками станів ОУ. Тобто третя ЛСІМ реагує на фазові зміни двох характеристик ОУ. Як і попередні моделі, третя ЛСІМ описується вектором булевих змінних

$$L3 = \{c_1, c_2, \ldots, c_m\},$$

але координати c_i визначаються за іншою умовою:

$$c_i = \begin{cases} 0, \ при \ \ \rho_{x_i e_i}(j) < E3_i; \\ 1, \ при \ \ \rho_{x_i e_i}(j) \geq E3_i, \end{cases}$$

де $\rho_{x_i e_i}(j)$ – нормований коефіцієнт взаємокореляції між i-им станом ОУ x_i та відповідним еталоном стану e_i.

Суть третьої ЛСІМ полягає в ідентифікації фазових відхилень контрольованого стану ОУ від норми (рис.7.38).

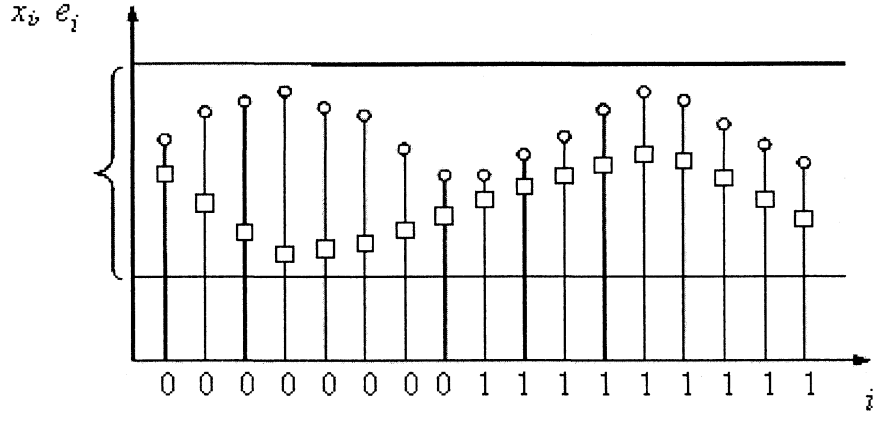


Рис.7.38. Формування булевих змінних у векторі третьої ЛСІМ.

В основу четвертої ЛСІМ покладено спектральний аналіз ІП, які описують стани ОУ. Задається або визначається множина $E4$ гармонік з частотами $\omega_1, \omega_2, \ldots$, які повинні бути присутніми в ІП при нормальному стані ОУ. Провівши спектральний аналіз контрольованого ІП визначається множина гармонік A, на які розкладається досліджуваний ІП в заданому базисі (рис.7.39). В результаті формується логічний вектор четвертої ЛСІМ багатоканального ОУ, координати якого реагують на зміну спектрального складу ІП у відповідному каналі:

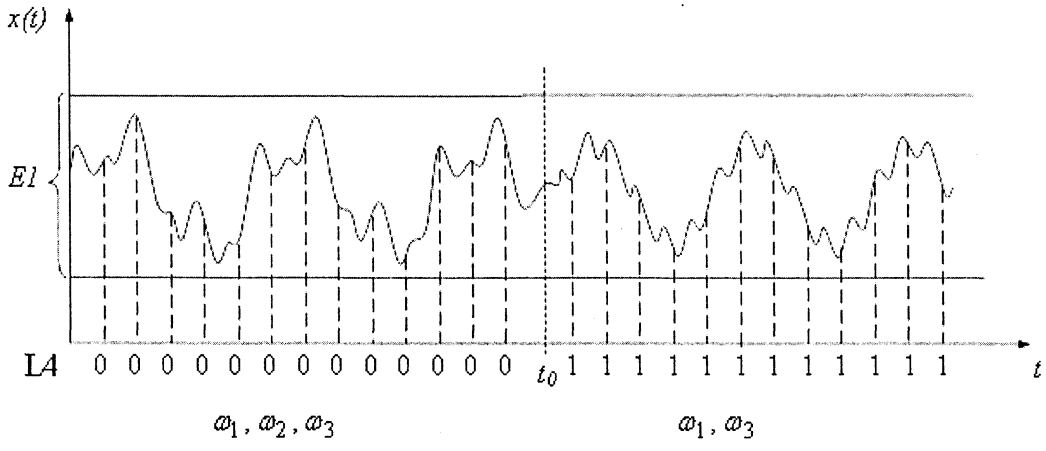


Рис.7.39. Формування логічних значень четвертої ЛСІМ при зміні спектрального складу інформаційного потоку ОУ.

Модель глобальної дисперсії дозволяє здійснити системну оцінку багатоканального ОУ, коли аналітичні співвідношення між даними в каналах не існують або складно знаходяться і мають громіздкий вигляд.

Модель побудована на основі матриці коефіцієнтів взаємокореляції між ІП в каналах ОУ. Кореляційна матриця для m-канального джерела $\|r_{ij}\|$ має розмірність $m \times m$ і симетрична відносно головної діагоналі, оскільки

$$r_{ij} = \begin{cases} r_{ji}, & при\ i \neq j, \\ 1, & при\ i = j; \end{cases}$$

де $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, m}$.

Тому інформативними є елементи матриці, розміщені під/над головною діагоналлю. Якщо цим елементам присвоїти порядкові номери, то отримаємо вибірку коефіцієнтів взаємокореляції об'ємом $N = \frac{m}{2} \cdot (m-1)$ (рис.7.40).

На основі відомого виразу знайдемо для даної вибірки глобальну дисперсію:

$$D_G = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^{N} r_s^{\,2} . \qquad (7.11)$$

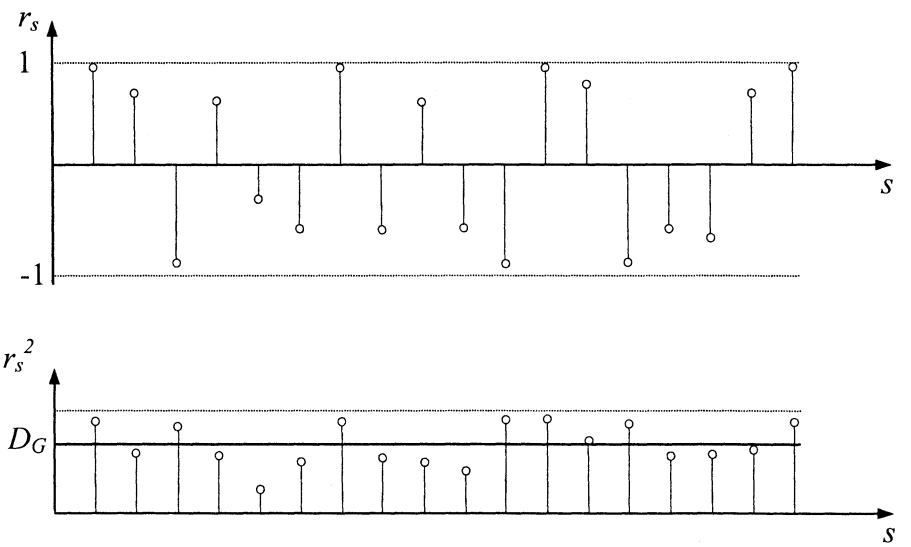


Рис.7.40. Решітчаті функції інформативних коефіцієнтів взаємокореляції та розраховане на їх основі значення глобальної дисперсії.

Отримана таким шляхом оцінка дисперсії називається глобальною (рис.7.41), завдяки тому, що характеризує загальний стан ОУ, з врахуванням статистичних взаємозв'язків між даними в різних каналах без аналізу даних в окремих каналах.

Врахування різної семантичної значимості переходів між станами об'єкта управління при побудові глобальної дисперсії дозволяє більш повно охарактеризувати стан ОУ, і ефективність використання глобальної дисперсії значно зростає, особливо на об'єктах з великою різницею ваги переходів. Семантичну глобальну дисперсію можна описати наступною функцію:

$$D_S = \frac{1}{N}\sum_{s=1}^{N} p_s \cdot r_s{}^2 , \qquad (7.12)$$

де $0 \le p_s \le 1$ – вагова функція.

Введення вагової функції p_s приводить до підвищення інформативності та динаміки глобальної дисперсії, що свідчить про більшу чутливість моделі.

Визначаючи кореляційну матрицю для багатоканального ОУ в дискретні моменти часу на інтервалі спостереження T, можна побудувати решітчасту функцію глобальної дисперсії D_G або D_S на цьому інтервалі (рис.7.41).

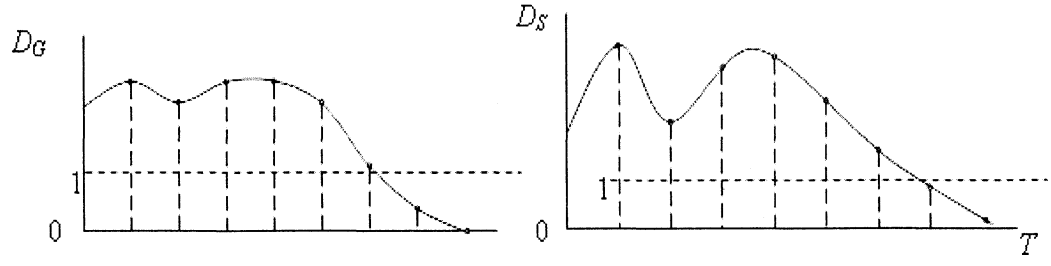


Рис.7.41. Графік зміни глобальної дисперсії.

Значення оцінок D_G і D_S, як видно з (7.11) і (7.12), відображають середньостатистичні значення кореляційних зв'язків між сигналами в каналах ОУ в квадратичному просторі. При зменшенні статистичної залежності між ІП в каналах ОУ, відповідно зменшуються коефіцієнти r_{ij}. Загальна тенденція зменшення коефіцієнтів r_{ij} призводить до зменшення D_G (D_S), що свідчить про руйнування взаємозв'язків в середині системи. В граничному випадку, коли $\forall\, i \ne j \;\; r_{ij} = 0$, то $D_G = 0$ ($D_S = 0$) і можна зробити висновок про руйнування всіх зв'язків, деградацію і повний інформаційний розвал системи.

Запропоновані методики побудови кластерних моделей та глобальної дисперсії багатоканальних ОУ є важливим інструментом для системного контролю станів складних багатоканальних об'єктів управління і можуть знайти широке застосування в автоматизованих системах управління об'єктів нафтогазової, енергетичної, атомної та інших галузей промисловості.

7.9. Ентропійні моделі станів ОУ.

Практичну міру ентропії дискретного джерела інформації Р. Хартлі запропонував у вигляді функції логарифма кількості можливих станів ОУ

$$H = \log_2 S^n = n \cdot \log S; \tag{7.13}$$

де H – ентропія;

S – число незалежних рівноймовірних станів ОУ;

n – довжина вибірки.

Більшість технологічних об'єктів, які в даному випадку розглядаються як стохастичні ОУ, формують дані, що підлягають гаусовому закону розподілу імовірностей. Для таких ОУ переважна більшість відліків лежить в діапазоні 3σ в околі математичного сподівання. Відповідно, ентропія буде визначатися згідно виразу:

$$H = \log_2 3\sigma .$$

При кодуванні неперервних ОУ із заданою точністю квантування по рівню і крокові дискретизації по часу А.Н. Колмогоровим запропонована нова міра інформації – ε -ентропія, яка визначається кількістю елементів ε при переході ОУ в різні стани:

$$H_\varepsilon \le \frac{T}{\Delta t} + \log\frac{C}{\varepsilon};$$

де Δt – крок дискретизації, що забезпечує точність квантування ε;

С – діапазон квантування;

T – інтервал часу спостереження ОУ.

Якщо визначити кількість значень, які можуть бути отримані в F -просторі за час T у вигляді:

$$\varphi(t) = 2^{\frac{T}{\Delta t}};$$

отримаємо:

$$H_\varepsilon \le \log\left(\frac{C}{\varepsilon} \cdot 2^{\frac{T}{\Delta t}}\right).$$

В частковому випадку, коли $\frac{C}{\varepsilon} = 2^m$ і $\frac{T}{\Delta t} = 2^n$

$$H_\varepsilon \le \log_2\left(2^m \cdot 2^n\right) = m + n .$$

Оцінки ентропії ОУ у вигляді міри Хартлі, 3σ і ε-ентропії Колмогорова вирішуються в цілих числах в тому випадку, коли діапазон квантування станів ОУ вибирається кратним цілому степеню числа 2. В іншому випадку, коли $S \ne 2^k$ $(k = 1, 2, 3, \ldots)$ необхідно користуватися оцінками:

$$H = n \cdot \hat{E}[\log_2 S] = n \cdot]\log_2 S[;$$

$$H = \hat{E}[\log 3\sigma];$$

$$H_\varepsilon = \hat{E}\left[\log_2\left(\frac{C}{\varepsilon}\cdot 2^{\frac{T}{\Delta t}}\right)\right],$$

де $\hat{E}$ – символ цілочисельної функції з округленням до більшого цілого.

Приведені оцінки ентропії ОУ базуються на умові, що кожен S_j стан джерела кодується *n*-розрядним двійковим кодом однакової довжини.

Розглянуті оцінки відповідають ОУ з рівноймовірними станами і, як правило, є максимальними, оскільки не враховують надлишковість ОУ за рахунок нерівноймовірності розподілу різних станів S_j ОУ.

Для ОУ з нерівноймовірними станами К. Шеноном введена міра ентропії

$$H = -k \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i ;$$

де k – додатній коефіцієнт, що враховує основу логарифма; p_i – ймовірність S_j-го стану дискретного ОУ.

Дж. Лонго запропонував розширити шенонівську теорію інформації введенням "якісних" параметрів, які б характеризували корисність інформації, тоді як шенонівське визначення використовує тільки імовірнісні, (повторюваність) стану ОУ без будь-якої семантики. Кожному стану ОУ Дж. Лонго ставить у відповідність коефіцієнти корисності $u_i \geq 0$.

Розподіл коефіцієнтів корисності не залежить від розподілу імовірностей, а визначається з семантичних міркувань. Тоді кількість інформації буде визначатися за виразом:

$$I(u, p) = -k\,u \cdot \log p ,$$

де k – стала величина; $p = p_i$ – імовірність S_j-го стану.

Ентропія корисності визначається як середнє статистичне значення усіх можливих повідомлень, з врахуванням коефіцієнтів u_i:

$$H(u, p) = -k \sum_{i=1}^{n} [u_i p_i \cdot \log p_i] .$$

Якщо всі $u_i = const$, ентропія корисності переходить в звичайну шенонівську ентропію ОУ.

Для некорисних станів, імовірність яких $p_i > 0$, вважаються $u_i = 0$. Якщо з умови $u_i > 0$ випливає, що $p_i = 0$, то це означає, що корисні стани неможливі.

Г. Шульц намагався узагальнити шенонівську ентропію і тим самим створити поняття оціночної ентропії. Він видозмінив ентропію, як середнє значення об'єму інформації $\log\frac{1}{p_i}$ окремих станів, щоб її можна було використовувати не тільки для передачі, але й для оцінки значимості інформації. Г. Шульц встановив оціночну шкалу, по якій найбільш «несприятливому» стану надавалось найнижче значення, а найбільш сприятливому стану – найвище. Для зручності користування значення шкали вибиралися кратними степеню числа 2.

$$W_0 = 2^0 = 1,\ W_1 = 2^1 = 2,\ W_2 = 2^2 = 4,...,W_n = 2^n.$$

З цих значень утворювалися оціночні коефіцієнти

$$\text{від } w_0 = \frac{W_0}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \text{ до } w_n = \frac{W_n}{\sum_{i=1}^{n} W_i}.$$

Вони еквівалентні послідовності частот p_i.

Для забезпечення додаткової умови, яка вимагає, щоб при однаковій семантичній оцінці всіх станів ОУ утворювалась шенонівська оцінка ентропії, використовується формула:

$$H(p,w) = H(p_1,p_2,\ldots,p_n,w_1,w_2,\ldots,w_n) = -\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{p_i w_i}{\sum_{j=1}^{n} p_j w_j}\cdot\log\frac{p_i w_i}{\sum_{j=1}^{n} p_j w_j}\right].$$

Легко помітити, що функція $H(p,w)$ симетрична відносно змінних p і w. Для $p = const$ вона приймає вигляд:

$$H(w) = -\sum_{i=1}^{n} w_i \log w_i,$$

а для $p_1 = p_2 = \ldots = p_n = w_1 = w_2 = \ldots = w_n$ має місце граничний випадок:

$$H(n) = -n\sum_{i=1}^{n}\log\frac{1}{n} = \log n,$$

де n – кількість можливих станів ОУ, що співпадає з оцінкою Хартлі. Функцію $H(p,w)$ можна виразити через абсолютні значення W_i і абсолютні частоти P_i

$$H(P,W) = -\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{P_i W_i}{\sum_{j=1}^{n} P_j W_j}\right]\cdot \log\frac{P_i W_i}{\sum_{j=1}^{n} P_j W_j}\cdot$$

При цьому вираз:

$$H(p,w) = H(P,W) = H(v) = -\sum_{i=1}^{n} v_i \log v_i$$

формально відповідає шеннонівській ентропії:

$$H(p) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i .$$

Необхідно відмітити, що у виборі оціночних коефіцієнтів P_i, W_j існує певна довільність, яка вносить експертну суб'єктивність в дану оцінку ентропії ОУ.

Для дискретного ергодичного ОУ, в якого кореляційні зв'язки існують тільки між двома сусідніми значеннями послідовності $x_1, x_2, \ldots, x_n$ ентропія визначається виразом:

$$H(x) = -\sum_{j} p(x_j)\cdot H_i = -\sum_{i=1}^{n} p(x_i)\sum_{j=1}^{n} p\left(x_j / x_i\right)\cdot \log p\left(x_j / x_i\right)$$

або

$$H(x) = -\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} p(x_i, x_j)\cdot \log p\left(x_j / x_i\right),$$

де $p\left(x_j / x_i\right)$ – умовна імовірність появи значення x_j при умові, що попереднім було значення x_i;

$p(x_i, x_j)$ – сумісна імовірність появи пари символів x_i, x_j.

В загальному випадку ентропія ергодичних ОУ визначається виразом:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\ldots\sum_{s=1}^{n} p(x_i, x_j, \ldots, x_s)\cdot \log p\left(x_i / x_j / \ldots / x_s\right),$$

де $p(x_i, x_j, \ldots x_s)$ – імовірність послідовності станів $i, j, \ldots s$; n – загальна кількість станів джерела; $p\left(x_i / x_j / \ldots / x_s\right)$ – умовна імовірність появи i-го стану при умові, що попередніми були $j, \ldots, s$ стани, при чому j-ий передував i-му, а s – найбільш віддалений стан, який має кореляційний зв'язок з i-м.

Для джерел з незалежними, але нерівноймовірними станами Б.Олівером отримана оцінка загальної кількості можливих комбінацій станів:

$$N = \frac{n!}{\prod_{j}^{n} S_j}$$

або в логарифмічному вигляді:

$$\log N = \log n! - \sum_{j}^{n} S_j ,$$

яке на основі наближення Стірлінга

$$\log N \to \log\sqrt{2\pi n} + n \cdot \log n - n\sum_{j=1}^{n} \log\sqrt{2\pi S_j} - n\sum_{j=1}^{n} p(j) \cdot \log p(j) - n \cdot \log n + n$$

зводиться до виразу:

$$H = \lim \frac{\log N}{n} = -\sum p(j) \cdot \log p(j) ,$$

що співпадає з шенонівським визначенням ентропії.

Д. Мідлтон також досліджував дискретні ОУ, які формують послідовність символів довільної довжини, розподілених у визначеному порядку в часі. Для реалізації дискретної випадкової послідовності $X = \{x_i\}$, кожен із символів x_i якої може приймати одне з l_i різних значень ($l \le l_i \le L$; $i = 1, 2, \ldots, n$), отримано вираз для апріорної невизначеності $x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_n$

$$H(X) = -\sum_{l_1}^{L} \ldots \sum_{l_n}^{L} p(X) \log p(X) ,$$

де додавання проводиться по всіх можливих значеннях кожного з символів x_i послідовності.

Для ОУ з статистично залежними станами Д. Мідлтон визначив вираз середньої умовної ентропії

$$H(X/Y) = \sum_{l_1}^{L} \ldots \sum_{l_n}^{L} \sum_{m_1}^{M} \ldots \sum_{m_k}^{M} p(x_1, \ldots, x_n, y_1, \ldots y_m) \cdot \log p(x_1, \ldots, x_n / y_1, \ldots, y_m) ,$$

де x_i, y_i – статистично залежні стани ОУ.

З останнього виразу випливає, що для розрахунку ентропії таких ОУ необхідно знати сумісні щільності ймовірностей різного порядку $W_1(y_1, t_1)$, $W_1(y_1, t_1; y_2, t_2), \ldots, W_1(y_1, t_1; \ldots; y_n, t_n)$.

При вивченні статистичних моделей показано, що на практиці ОУ не є настільки статистично складними, щоб їх описувати багатомірними розподілами.

Зокрема, для повного опису ергодичних стаціонарних ОУ достатньо знати двомірні розподіли і, відповідно, статистично середні. Природно, що ентропія і швидкість створення повідомлень такими джерелами, за рахунок кореляційних зв'язків між різними послідовностями символів і нерівномірності розподілу

імовірності символів, виявляються меншими в порівнянні з оцінкою інформаційної міри Хартлі (7.13).

В роботі В. Таллера [36] підкреслюються переваги, які можна отримати шляхом кореляційного аналізу і усунення внутрішньої кореляції повідомлень, що формуються джерелом. Показано, що якщо в деякий момент часу ОУ, що має S станів, переходить тільки в S_j можливих станів, то аналіз дійсного інформаційного змісту його повідомлень приводиться до меншого об'єму інформації в порівнянні з функцією найбільшої інформації

$$H \le k2BT\left(1+\frac{S}{N}\right),$$

де $H = k \cdot n\log S_{ave}$;

S_{ave} – середнє значення станів ОУ;

BT – інформаційна база повідомлень, що формується;

N – значення шуму.

При цьому встановлені вимоги найбільшої інформації базуються на твердженні, що неможливе аналітичне продовження функції інформації з точністю більшою ніж $1/S$, на протязі інтервалу між відліками.

Таким чином, величина $1/S$, як показано в роботі В. Талера, набуває змісту інтервалу кореляції між відліками відповідних станів ОУ.

Досліджуючи оцінки інформації дискретних випадкових величин В.П.Боюн запропонував δ-ентропію ОУ, яка характеризує невизначеність значення випадкового процесу і його динаміку. Приведена оцінка δ-ентропії визначається виразом:

$$h_\Delta = \frac{\left|f'_{cep}(t)\right|}{\left|f'_{\max}(t)\right|},$$

де $f'_{cep}(t)$, $f'_{\max}(t)$ – відповідно середнє і максимальне значення похідних зміни кількості станів джерела.

Приведена δ-ентропія не залежить від вибраних кванта по рівню і кроку дискретизації, а повністю визначається законом розподілу похідних.

В роботі Л. Г. Лапи [22] відмічено, що для визначення ймовірнісних показників ОУ необхідні детальні характеристики кореляційних зв'язків між різними станами. Там же підкреслюється, що чим більша кореляція між станами ОУ, тим більш нерівноймовірний розподіл умовної ймовірності $p(x_i/x_j)$ у виразі визначення ентропії ОУ з залежними станами, що приводить до зменшення ентропії джерела.

Л. Г. Лапа також звертає увагу на те, що функція ентропії Хартлі користується виключно одновимірними розподілами, в той час, як кореляційна

функція використовує двовимірні ймовірнісні розподіли. Тому принципово оцінка ентропії на базі кореляційної функції змістовніша, ніж функція ентропії Хартлі.

До аналогічного твердження приходить Ж. Макс [23], який, визначаючи зв'язок коефіцієнта кореляції з оцінками ентропії, доводить, що середнє значення двовимірної щільності ймовірності (кореляція) несе більше інформації про ентропію, ніж середні значення одновимірної щільності.

С. Голдман також розширює теорію інформації Шенона, застосовуючи поняття кореляційна функція і відмічає, що кореляційний аналіз є зв'язуючим елементом між спектральною теорією і теорією інформації.

Складність обчислення багатовимірних розподілів суттєво обмежує можливості використання шенонівських оцінок ентропії для ОУ з незалежними та статистично залежними станами при інженерному розрахунку їх властивостей, особливо, якщо дослідження інформаційних параметрів конкретних джерел ведуться комп'ютерною системою в реальному масштабі часу. Тому реалізація безпосереднього зв'язку кореляційної функції з розподілами ймовірностей станів і ентропією ОУ є досить перспективною. Такий зв'язок легко встановлюється для неперервних джерел:

$$h(X,Y) = -\int_{-\infty}^{\infty} \omega(x)\log_2 \omega(x)dx - \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} \omega(x)\log_2 \omega(y/x)dxdy = h(X) + h(Y/X),$$

де $h(X) = -\int_{-\infty}^{\infty} \omega(x)\log_2 \omega(x)\,dx$ – диференціальна ентропія;

$h(Y/X) = -\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} \omega(x,y)\log_2 \omega(y/x)\,dxdy$ – умовна диференціальна ентропія повідомлення Y;

$\omega(x,y)$ – щільність сумісного розподілу x і y;

$\omega(x)$ – щільність розподілу x;

$\omega(y/x)$ – умовна щільність розподілу y відносно x.

Багаторазовими дослідженнями реальних об'єктів управління і джерел інформації показано, що стохастичні параметри технологічних процесів на локальних проміжках часу досить точно описуються моделлю гаусового закону розподілу ймовірностей.

Оцінка ентропії джерел з корельованими станами, які мають гаусовий закон розподілу, визначається за виразом:

$$h[x(t), x(t+\tau)] = \log_2\left(2\pi\sigma_x^2\sqrt{1-\rho_{xx}^2(\tau)}\right) + \frac{1}{1-\rho_{xx}^2(\tau)}\log_2 e -$$

$$-\frac{\rho^2{}_{xx}(\tau)}{1-\rho_{xx}^2(\tau)}\log_2 e = \log_2\left(2\pi e\sigma_x^2\sqrt{1-\rho_{xx}^2(\tau)}\right).$$

Чисельний розрахунок ентропії дискретного ОУ з нерівноймовірними корельованими станами здійснюється у відповідності з виразом:

$$H\left[x_i, x_{i+j}\right] = \log_2 2\pi e + \log_2 \sigma^2_{\underset{x}{\circ}} + \frac{1}{2}\log_2\left[1 - \rho^2_{xx}(j)\right],$$

де перший елемент є константою інформаційної міри, що пов'язана з типом закону розподілу випадкової величини, другий елемент визначає дисперсію випадкових станів ОУ:

$$\sigma^2_{\underset{x}{\circ}} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2,$$

а третій елемент характеризує взаємну ентропію корельованих нерівноймовірних станів ОУ за допомогою квадрату нормованої функції автокореляції:

$$\rho^2_{xx}(j) = \left[\frac{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)\cdot\left(x_{i+j} - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)}{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}\right]^2. \qquad (7.14)$$

Розрахунок ентропії ОУ на основі оцінки нормованої автокореляційної функції $\rho_{xx}(j)$ є незручним при обчисленні в зв'язку з необхідністю центрування послідовності x_i згідно з (7.14). Для оцінки ентропії ОУ за допомогою структурної функції приведемо вираз розрахунку ентропії до вигляду:

$$H\left(x_i, x_{i+j}\right) = \log_2 2\pi e\sqrt{D^2_{\underset{x}{\circ}} - D^2_{\underset{x}{\circ}}\cdot\rho^2_{xx}(j)} =$$

$$= \log_2 2\pi e + \frac{1}{2}\log_2\left(\left[D_{\underset{x}{\circ}} - R_{xx}(j)\right]\cdot\left[D_{\underset{x}{\circ}} + R_{xx}(j)\right]\right),$$

де $R_{xx}(j) = D_{\underset{x}{\circ}}\cdot\rho_{xx}(j)$.

Кореляційна функція для стаціонарних процесів легко виражається через коваріаційну функцію $K_{xx}(j)$, яка значно простіша в обчисленні через відсутність центрування.

Відповідно, визначення ентропії зручніше здійснювати через автоковаріаційну функцію згідно наступного виразу:

$$H\left(x_i, x_{i+j}\right) = \log_2 2\pi e\sqrt{D^2_{\underset{x}{\circ}} - D^2_{\underset{x}{\circ}}\cdot\rho^2_{xx}(j)} =$$

$$= \log_2 2\pi e + \frac{1}{2}\log_2\left(\left[D_x - K_{xx}(j)\right]\cdot\left[D_x + K_{xx}(j)\right]\right).$$

На рис.7.42 наведено графіки ентропії $H(x_i, x_{i+j})$ та оцінки ентропії $\overline{H(x_i, x_{i+j})}$ для ОУ з кореляційною функцією $R_{xx}(j) = Ae^{-\alpha(j\cdot\Delta t)}\cos[\omega(j\cdot\Delta t)]$, де α – коефіцієнт згасання; Δt – крок дискретизації; A – амплітуда випадкового процесу; ω – колова частота.

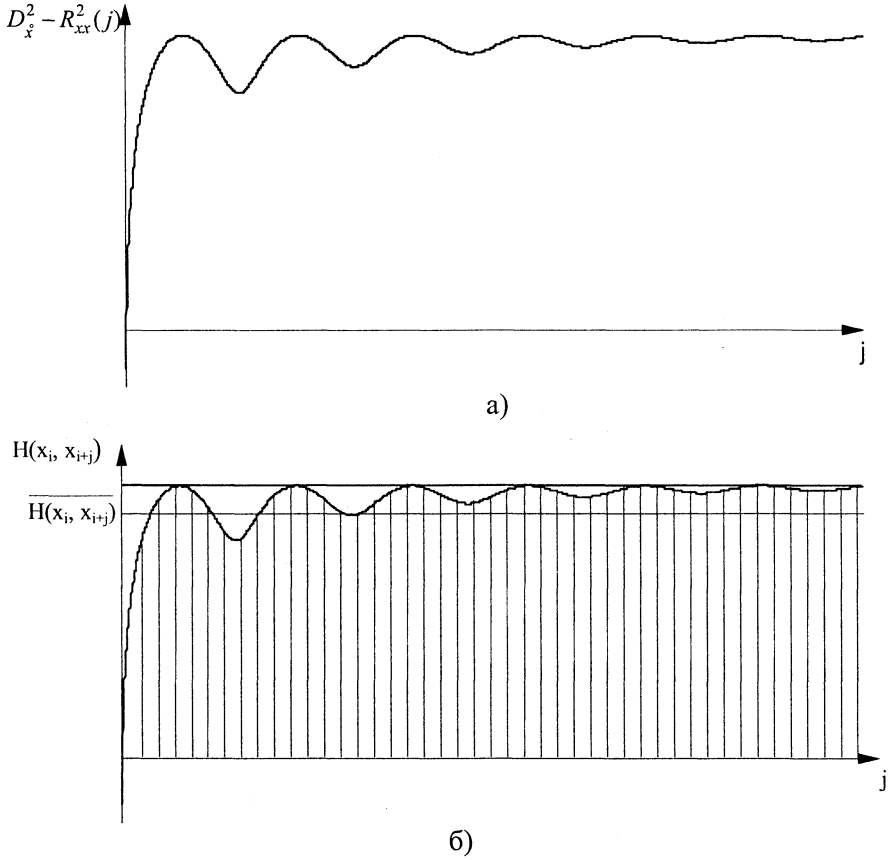


Рис.7.42. Графік функції $D_x^2 - R_{xx}^2(j)$ – а); графіки ентропії $H_{xx}(x_i, x_{i+j})$ і оцінки ентропії $\overline{H_{xx}(x_i, x_{i+j})}$ – б).

Аналітичний зв'язок між структурною і автокореляційною функціями визначається з (7.2). Підставимо, виражене через $C_{xx}(j)$ значення $R_{xx}(j)$, і отримаємо оцінку:

$$H(x_i, x_{i+j}) =$$

$$= \log_2 2\pi e + \frac{1}{2}\log_2\left[\frac{C_{xx}(j)}{2}\left(2D_x - \frac{C_{xx}(j)}{2}\right)\right].$$

Якщо оцінити середнє, отримаємо робочу формулу міри ентропії

$$\overline{H(x_i, x_{i+j})} =$$

$$= \frac{1}{2T}\sum_{j=1}^{T}\log_2(2\pi e)^2\left[\frac{C_{xx}(j)}{2}\left(2D_{\circ}_{x} - \frac{C_{xx}(j)}{2}\right)\right]$$

або

$$\overline{H(x_i, x_{i+j}x_i)} =$$

$$= \frac{1}{2T}\sum_{j=1}^{T}\log_2(2\pi e)^2\left[C_{xx}(j)\left(D_{\circ}_{x} - \frac{C_{xx}(j)}{4}\right)\right],$$

де T – інтервал усереднення.

Простіше, порівняно з структурною функцією, обчислюється модульна функція автокореляції $G_{xx}(j)$, яка в випадку гаусових процесів має статистичний зв'язок з функцією кореляції, звідки

$$\rho_{xx}(j) = 1 - \frac{\pi}{4} g_{xx}(j),$$

де $g_{xx}(j) = \dfrac{G_{xx}(j)}{\sigma_{\circ}_{x}}$ – нормована модульна функція автокореляції.

Тоді отримаємо оцінку ентропії у вигляді:

$$\overline{H(x_i, x_{i+j})} =$$

$$= \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}\log_2\left[\frac{\pi e\sqrt{\pi}}{2} G_{xx}(j)\cdot\sqrt{8 - \pi g_{xx}^2(j)}\right], \qquad (7.15)$$

яка може бути ефективно використана на практиці в задачах ідентифікації джерел інформації.

Модульна функція має простий аналітичний зв'язок з функцією еквівалентності (7.2), на основі якого, з (7.15) отримаємо оцінку ентропії, виражену через функцію еквівалентності $F_{xx}(j)$:

$$\overline{H(x_i, x_{i+j})} =$$

$$= \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}\log_2\left[\pi^2 e\frac{M_x - F_{xx}(j)}{\sigma_{\circ}_{x}}\sqrt{\frac{8\sigma_{\circ}_{x}}{\pi} - [M_x - F_{xx}(j)]^2}\right]. \qquad (7.16)$$

Аналогічні оцінки можна отримати, якщо використати статистичні зв'язки нормованої кореляційної функції із знаковою $H_{xx}(j)$ та полярною $P_{xx}(j)$ кореляційними функціями (7.3).

Відповідно оцінки ентропії будуть мати вигляд:

$$\overline{H(x_i, x_{i+j})} =$$

$$= \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}\log_2\left[2\pi e\sigma_{\circ}\cdot\sqrt{1-\sin^2\left(\frac{\pi}{2}H_{xx}(j)\right)}\right]; \qquad (7.17)$$

$$\overline{H(x_i, x_{i+j})} = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}\log_2\left[\frac{2\pi e}{\sigma_{\circ}}\cdot\sqrt{2-\pi\cdot P_{xx}^2(j)}\right]. \qquad (7.18)$$

Ентропійна модель, виражена через $\overset{\vee}{F}_{xx}(j)$, обчислюється з більшою швидкодією, завдяки простішій реалізації функції "менше з двох", ніж операцій множення, віднімання, піднесення до квадрату. Ентропійну модель на основі $H_{xx}(j)$ доцільно використовувати для обробки даних ОУ, які формують цифрові сигнали із значеннями +1 і –1.

Аналіз функції $H(x_i, x_{i+j})$ та оцінок $\overline{H(x_i, x_{i+j})}$ різних дискретних ОУ показує, що при заданому діапазоні квантування станів максимальною ентропією характеризуються дискретні послідовності максимальної довжини.

Це добре узгоджується з логічними уявленнями про інформаційну ємність дискретних послідовностей і властивостями сигнальних моделей ОУ, що дає можливість достатньо ефективно використовувати при інженерних розрахунках введені міри (7.15) – (7.17).

Реалізуючи обчислення оцінки $\overline{H(x_i, x_{i+j})}$ на ковзному інтервалі можна алгоритмічно просто здійснити ідентифікацію інформаційних станів технологічних об'єктів контролю та управління в реальному масштабі часу.

Даний клас моделей, по відношенню до кореляційних, здійснюють інтегральну оцінку імовірності переходів між станами і завдяки представленню в логарифмічному просторі забезпечують менші об'єми даних.

Контрольні запитання і завдання.

1. Поясніть характеристики сигнальних аналогових та дискретних моделей ОУ.
2. Якою аналітикою описуються аналогові та дискретні моделі ОУ?
3. Поясніть властивості аналогових та дискретних диференціальних моделей ОУ.
4. Що собою представляють центровані моделі ОУ?
5. Назвіть характеристики статистичних моделей ОУ.
6. В чому полягає різниця між вибірковим та ковзним математичним сподіванням станів ОУ?
7. Визначіть аналітику та характеристики вагового математичного сподівання.

8. Що представляє дисперсія станів ОУ?
9. Поясніть характеристику середньоквадратичного відхилення.
10. Поясніть асимптотику та алгоритм обчислення знакової автокореляційної моделі ОУ.
11. Якою аналітикою та асимптотикою описується релейна автокореляційна модель ОУ?
12. Поясніть властивості автокореляційної моделі ОУ.
13. Поясніть технологію застосування автокореляційної моделі для визначення кроку дискретизації аналогових процесів.
14. Що таке інтервал кореляції?
15. Поясніть асимптотику, переваги та недоліки коваріаційної моделі ОУ.
16. Визначіть аналітику, асимптотику та характеристики точності структурних моделей.
17. Дайте визначення модульної моделі автокореляції та її характеристики.
18. Якими параметрами описуються модель кореляційної еквівалентності?
19. Якими ентропійними характеристиками характеризується адаптивна модель ОУ у базисі Радемахера?
20. Поясніть особливості побудови адаптивної моделі одноканального ОУ у базисі Галуа.
21. Якими ентропійними характеристиками описуються моделі ОУ у базисі Галуа?
22. Викладіть теоретичні основи нелінійних моделей ОУ у базисі Крестенсона.
23. Визначіть компоненти структурної схеми процесора у базисі Крестенсона-Галуа.
24. Поясніть ентропійні характеристики моделі багатоканального ОУ у Хемінговому просторі.
25. Поясніть принципи побудови продукційної моделі ОУ на основі інтегрально-імпульсної інформаційної технології у базисі Галуа.
26. Поясніть принципи побудови квазітрійкової кодової шкали у базисі Галуа.
27. Опишіть аналітику побудови спектральної моделі ОУ згідно теореми Вінера-Хінчина.
28. Якими відмінностями характеризуються спектральні моделі у базисах Фур'є та Крестенсона?
29. Викладіть теоретичні положення та характеристики цілочисельної СЗК базису Крестенсона.
30. Викладіть теорію та поясніть переваги нормалізованої форми системи залишкових класів.
31. Опишіть формули та особливості застосування досконалої форми СЗК.
32. Поясніть принципи формування залишків розмежованої форми СЗК.
33. Якою структурою представлені структуризовані дані багатоканальних ОУ у цілочисельному базисі Крестенсона?
34. Дайте пояснення формування структуризованих даних у досконалій нормалізованій формі базису Крестенсона.

35. Якими структурами описуються кластерні моделі багатоканальних ОУ?
36. Дайте пояснення характеристик першої ЛСІМ.
37. Викладіть аналітику та характеристики другої ЛСІМ.
38. Визначіть особливості фомування третьої ЛСІМ.
39. Дайте пояснення четвертої ЛСІМ в різних ТЧБ.
40. Поясніть інформаційну технологію побудови п'ятої ЛСІМ у вигляді глобальної дисперсії.
41. Поясніть інформаційну міру ентропії джерела інформації по Хартлі.
42. Дайте характеристику ентропії згідно визначення 3σ .
43. Викладіть теоретичні основи оцінки ентропії за формулою Шеннона.
44. Поясніть оцінку δ -ентропії згідно оцінки Боюна.
45. Дайте характеристику ентропії згідно кореляційної оцінки Николайчука.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 7 РОЗДІЛУ.

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. - М.: Сов. радио. – 1968. – 460 с.
2. Архангельский А. Я. Программирование в Delphi. Учебник по классическим версиям Delphi.: М.- Бином. 2006.- 1152 с.
3. Бебих Н. В., Денисов А. И. Взаимная спектрально-корреляционная обработка сигналов в различных ортогональных базисах // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. 1983. Т. 26, № 3. С. 54-60.
4. Боровков А. А. Теория вероятности. – М.: Наука, 1976. –352 с.
5. Боюн В. П. Теоретико-информационные основы преобразования и обработки информации в системах реального времени // Проектирование и применение средств микропроцессорной техники: Сб. научн. Трудов.– Киев: ИК им. В.М.Глушкова АН УССР, 1986. – С. 9–17.
6. Боюн В. П. Динамическая теория информации. Основы и приложения. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, 2001. – 326 с.
7. Боюн В.П. Методы определения δ-энтропии случайных процессов // УСиМ. – 2000. –№ 4. – С.14-19.
8. Вилкас Э. Й. Решения: теория, информация, моделирование. – М.: Радио и связь, 1981. – 328 с.
9. Герчук Я. М. Графические методы в статистике. – М.: Наука, 1968. – 124 с.
10. Гитис Э.И., Пискунов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи.-М.: Энергоиздат, 1981. – 360с.
11. Голдман С. Теория информации. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1975. – 382 с.
12. Гоулд Б., Рейдер Ч. Цифровая обработка сигналов. – М.: Сов. радио, 1973. – 368 с.
13. Гринчишин Т.М., Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Шандровська Л.М., Кудряшов Ю.В. Моделі руху даних для розподілених юридичних об'єктів з дистанційними інформаційними потоками на основі безпровідних оптичних каналів зв'язку. Міжнародний науково-технічний журнал "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології".- 2002.- №2(4).- С.212-224.
14. Дагман Э. Г., Кухарев Г. А. Быстрые дискретные ортогональные преобразования. Новосибирск, 1983. – 284с.
15. Дейтел Х.М., Дейтел П.Дж., Чофнес Д.Р. Операционные системы. Распределенные системы, сети, безопасность - М.: БИНОМ, 2006. – 704 с.
16. Дудыкевич В.Б. Специализированные периферийные процессоры для первичной обработки информации, представленной число-импульсным кодом // Респ. науч.-техн. конф. «Диагностика и коррекция погрешностей преобразователей технологической информации», Киев. Тез. докл. – К., 1989. – С. 108–110.
17. Дунець Р.Б. Аналіз та синтез топологій комп'ютерних видавничо–поліграфічних систем. – Львів: НВФ „Українські технології", 2003. – 192с.
18. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функции и

функционального анализа. –М.: Наука, 1976. – 352 с.
19. Краус М., Кучбах Э., Вошни О. Сбор данных в управляющих вычислительных системах : Пер с нем.–М .: Мир, 1987.– 294 с.
20. Кузин Л. Т. Основы кибернетики: В 2-х т. Т. 2. Основы кибернетических моделей. Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – 584 с.
21. Кузьмин И.В., Кедрус В.А. Основы информации и кодирования. – К.: Вища школа, 1986.– 238с.
22. Лапа В. Г. Математические основы кибернетики. – К.: И-во "Выща школа", 1974. – 452 с.
23. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: Пер. с франц. - М.: Мир, 1983. – Т.1 – 311с., Т.2 – 256с.
24. Модин А. А. Интегрированные системы обработки данных. — М.: Наука, 1970. — 120 с.
25. Николайчук Я., Сегін А., Сабадаш І. Теоретичні основи формування ентропійних моделей на базі кореляційних функцій. Інформаційні технології і системи.- Науково-технічний журнал.- Львів.- 2002.- Т.5.- №1-2.- С.13-21.
26. Николайчук Я.М., Кусик Я.Б. Коди поля Галуа та їх застосування в перетворювачах форм інформації. Тезисы докладов 7-го симпозиума: Проблемы создания преобразователей формы информации – Киев: ИК АН Украины. – 1992. – С.56-57.
27. Николайчук Я.М., Петришин Л.Б. Вертикальна інформаційна технологія в кодових системах Галуа. Матеріали 2-ї Української конференції з автоматичного керування «Автоматика-95» Львів. – 1995. – С.131.
28. Николайчук Я.М., Ширмовский Г.Я., Процюк В.Р. Компактное кодирование сообщений в многоуровневой системе баз данных// Управляющие системы и машины. – 1984. – №1.
29. Николайчук Я.М., Ширмовский Г.Я., Рациональное кодирование и концентрация данных в низовой сети АСУ ТП бурение. Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – М.: ВНИИОЭНГ.– 1983. – №3. – С.236–239.
30. Николайчук Я.Н. О представлении информации в многоканальных информационно-измерительных системах. Респ. сб. «Изменение, контроль и автоматизация в нефтяной и газовой промышленности». – К.: "Техніка", 1974. – С.24-27.
31. Палагин А.В., Николайчук Я.Н. Опыт разработки микропроцессорных распределенных систем реального времени.–Киев : Знание, 1988.– 19 с.
32. Петришин Л.Б. Николайчук Я.Н., Ищеряков С.М. Цифровая обработка сигналов на основе преобразования кодов поля Галуа / Методы и микроэлектронные средства цифровой обработки и преобразования сигналов.– Рига: ИЭВТ АН Латвии. – 1989.– С.130 – 132.
33. Петришин Л.Б. Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації в базисі Галуа: Навч. посібник. – Київ.: ІЗіМН МОУ, 1997. – 237 с.
34. Ракошиц В. С., Козлов В. П., Можаев И. А. Специализированные микропроцессоры, реализующие быстрые преобразования // Цифров. обраб.

сигналов и её применение. М., 1981. – С. 38-56.
35. Таллер В. Теоретические ограничения скорости передачи информации. Теория информации и её приложения / Под ред. А. А. Харкевича – М.,: Физматгиз, 1959. – С. 58–81.
36. Тихонов А.Н., Арсенич В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 287с.
37. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. - М.: Изд-во иностр. лит, 1963. – 438 с.
38. Яцків Н.Г. Методи стиснення даних в інформаційно-керуючих системах // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. – 2001. – №37 (том 6). – С.183–186.

РОЗДІЛ 8

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ, АЛФАВІТНО-ЦИФРОВИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДАНИХ В СКС

8.1. Аналіз та обґрунтування вибору багатоканальних аналого-цифрових кодерів технологічних даних на низових рівнях СКС.

Фундаментальні теоретичні основи формування та перетворення інформації розроблені відомими зарубіжними вченими: В.Фрітч, Т.Харрісон, М.Батт, М.Краус, Ж.Макс та представлені в наукових школах українських вчених Орнатського П.П., Кузьміна І.В., Палагіна О.В., Малиновського Б.М., Кондалєва А.І., Боюна В.П., Задіраки В.К., Романова В.А., Николайчука Я.М., Алішева Н.І.

Як показано А.І.Кондалєвим, при розробці перетворювачів форми інформації (ПФІ) на низових рівнях РКС, пошук їх оптимальної структури виконується на основі множини рішень $S=\{S_1, S_2, \ldots, S_i, S_j\}$, які задовольняють умовам:

- $T(S_i) \le T_{доп}$;
- $H(S_i) \le H_{доп}$;
- $\delta(S_i) \le \delta_{доп}$;
- $C(S_i) \le C(S_j)$,

в яких T і δ – відповідно час і похибка перетворення; H – надійність АЦП, виражена у ймовірності безвідмовної роботи; C – загальна вартість.

Виходячи з умови реалізації сучасних АЦП у вигляді окремих інтегральних чіпів, необхідне розширення системи вказаних критеріїв додатковими умовами

$$N(S_i) \le N_{доп};\ E(S_i) \le E_{доп};\ Q(S_i) \le Q_{доп};\ C^0_{доп}(S_i) \le C^0(S_j) \le +C^0_{доп},$$

які враховують мінімізацію числа входо-виходів N, верхню границю споживаної потужності E, потік тепловиділення Q, діапазон робочих температур C^0, а в окремих застосуваннях на низових рівнях спеціалізованих комп'ютерних систем ряд інших параметрів (вибухобезпека, інтенсивність вібрацій, радіаційний фон та ін.).

При вирішенні задач розробки засобів формування СД для конкретних галузей промисловості та виробництв реалізується компромісне задовільнення приведеної сукупності критеріїв. При цьому також повинні враховуватися ергономічні показники, пов'язані з роботою людини-оператора в заданих виробничих умовах, а також граничні умови швидкості створення повідомлень на рівні конкретного засобу формування СД.

Таким чином, як видно з умов вибору оптимальної структури ПФІ, його основним компонентом є аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

Аналіз існуючих методів формування та кодування технологічних даних на низових рівнях РКС показує, що на практиці найширше застосування знайшли ПФІ, які в своєму складі містять АЦП різних типів.

На рис.8.1 показана класифікація АЦП по ознаках числа каналів та вихідних кодів в різних ТЧБ.

Класифіковані типи АЦП відрізняються інформацйними технологіями формування вихідних технологічних даних.

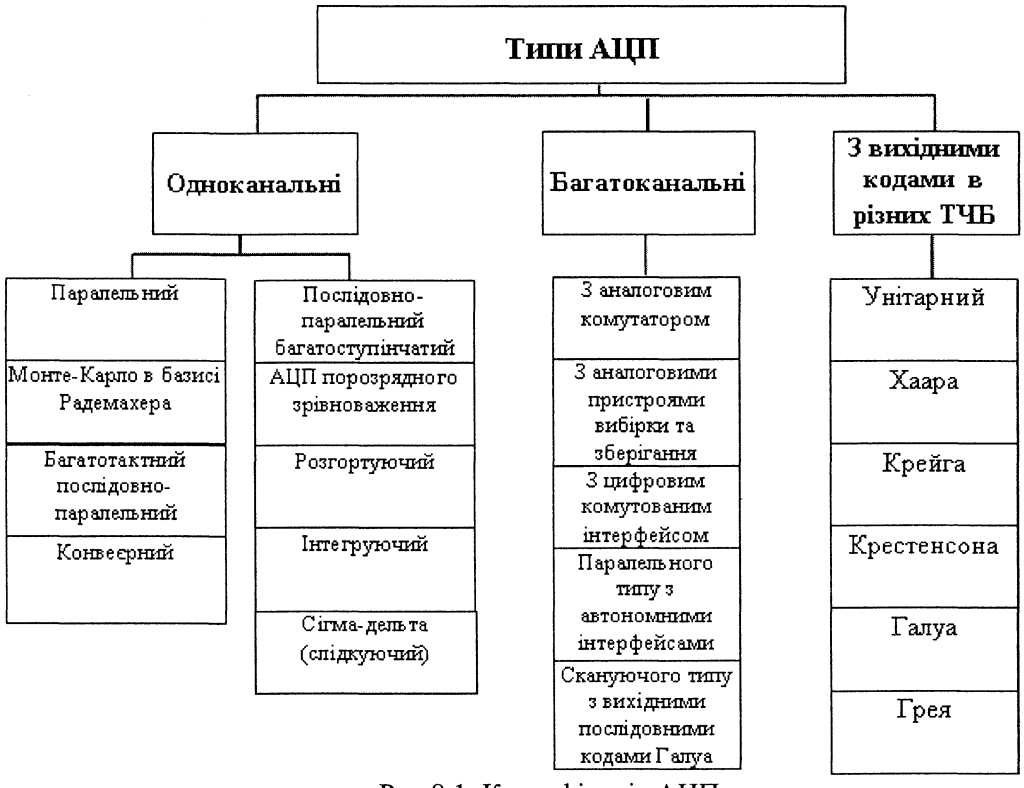


Рис.8.1. Класифікація АЦП.

Аналіз структури спецпроцесорів, сигнальних процесорів та аналого-цифрових кодерів, які використовуються в низових рівнях КС, показує, що в склад їх функціональних елементів входять одноканальні та багатоканальні АЦП (БАЦП). Тому при розробці та вдосконаленні названого класу процесорів доцільним є дослідження системних характеристик АЦП та БАЦП з метою вибору їх раціональних рішень та застосування у складі СП.

Розрахунок основних характеристик АЦП, як показано А.І. Кондалєвим, містить систему критеріїв, які визначають пошук оптимальної структури з множини рішень $S=\{S_1, S_2, \ldots, S_i, S_e\}$, які задовольняють умовам: $T(S_i)\le T_{доп}$; $\delta(S_i)\le\delta_{доп}$; $H(S_i)\le H_{доп}$; $C(S_i)\le C(S_j)$, в яких T і δ – відповідно час і похибка перетворення; H – надійність АЦП, виражена у ймовірності безвідмовної роботи; C – загальна вартість.

Реалізація сучасних АЦП в інтегральному виконанні приводить до розширення системи перелічених критеріїв додатковими умовами: $N(S_i)\le N_{доп}$; $E(S_i)\le E_{доп}$; $Q(S_i)\le Q_{доп}$; $C^0_{доп}(S_i)\le C^0(S_j)\le +C^0_{доп}$, які визначають мінімізацію числа входо-виходів N, обмеження споживаної потужності E і тепловиділення Q, діапазон робочих температур C^0, а також інші параметри.

Одночасне задовільнення названих критеріальних умов системних параметрів АЦП є практично недоцільним і економічно неефективним. В результаті на практиці використовуються сімейства різних класів АЦП, які

компромісно покривають завдання конкретних застосувань. Враховуючи, що різні типи АЦП в своєму складі містять багато однотипних елементів (наприклад, компаратори, ЦАП, генератори, регістри, лічильники і т.д.), а також різні сфери застосування АЦП, важливим їх системним параметром, як засобу обчислювальної техніки, є структурна складність.

Літературні дані по розробці сучасних АЦП показують, що їх системні властивості складності можуть бути описані характеристичним функціоналом:

$$S_{АЦП}=F(m, V, k, M, H_1, H_2, S), \qquad (8.1)$$

де m – число каналів; V – швидкодія; k розрядність; M – буферна пам'ять; H_1 – апаратна складність; H_2 – алгоритмічна складність; S – функціональні та інтерфейсні характеристики.

Питання розробки теоретичних положень оцінки апаратної та алгоритмічної складності цифрових процесорів детально розроблені та глибоко висвітлені в роботах наукової школи М.В. Черкаського, яким запропонована SH-модель алгоритму, що враховує апаратні засоби в явній формі:

$$B=<D, Q, q_0, q_f, G, P, M>,$$

де D – кінцева множина символів зовнішнього алфавіту; Q – кінцева множина станів SH – моделі; q_0 і q_f початковий і кінцевий стани, $q_0, q_f \in Q$; G – конфігурація апаратних засобів моделі G=(X,U), X – множина елементарних перетворювачів: $\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$; U – множина з'єднань: $\{u_1, u_2, \ldots, u_m\}$; P – програма; M – пам'ять.

В даній моделі використовується поняття "елементарний перетворювач" x_i, який є одиницею апаратної складності і перетворює деяку сукупність початкових вхідних даних d_i в сукупність вихідних даних $d_i' : x_i : \{d_i\} \to \{d_i'\}$.

При використанні SH-моделі пропонується використовувати наступні характеристики складності: апаратну, часову, ємнісну, програмну і структурну. Апаратна складність - кількість елементарних перетворювачів і елементів оперативної пам'яті. Часова складність визначається кількістю елементарних перетворювачів в максимальному шляху розповсюдження сигналу $L = \left|\max X_i\right|$.

Програмна складність визначається за формулою:

$$P = -F \log_2 \frac{F}{n \cdot m},$$

де $F = \sum_L f_l$; n – кількість входів керування; m – кількість дискретів часу часової діаграми; f_l - кількість сигналів керування l-го фрагменту часової діаграми; L – кількість фрагментів часової діаграми, конфігурації яких не повторюються.

Структурна складність алгоритмічного пристрою визначається за наступною формулою:

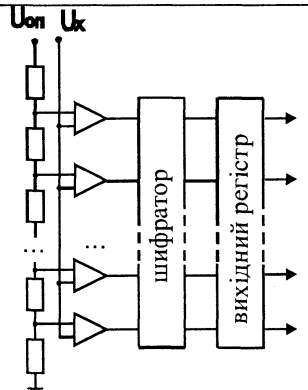
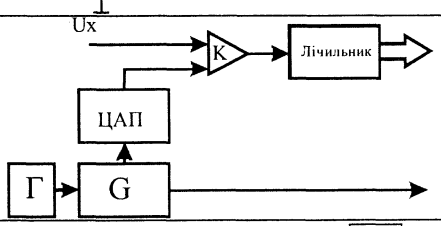
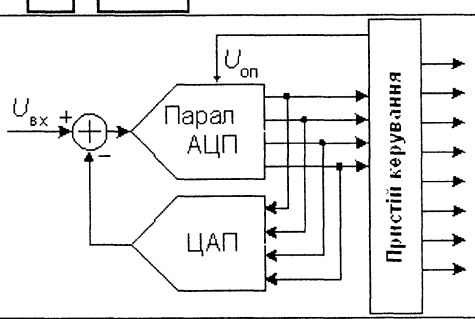
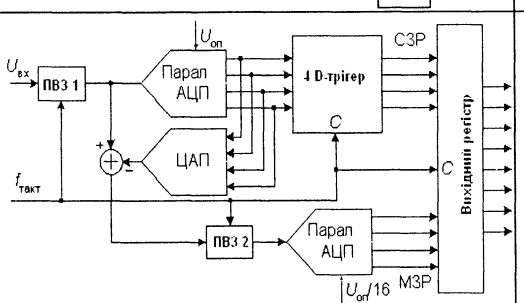
$$S = -E \log_2 \frac{E}{n(n-1)},$$

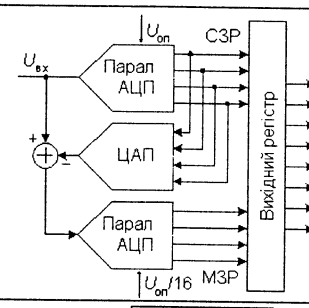
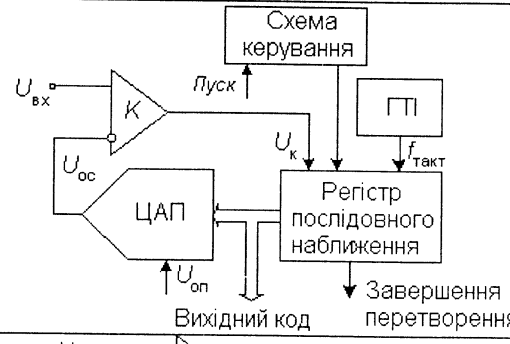
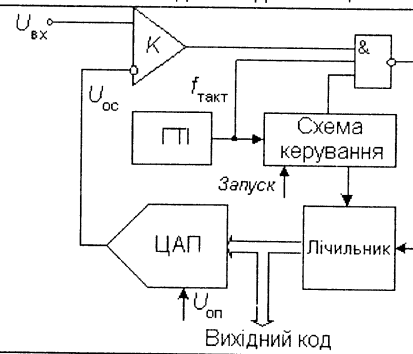
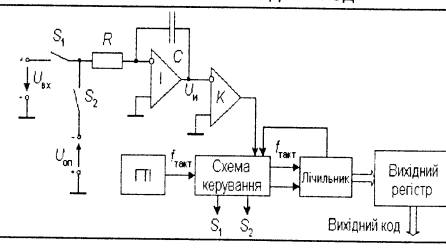
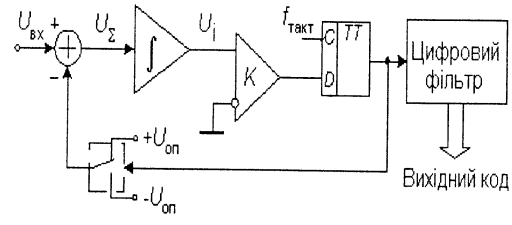
де E – кількість елементів трикутної матриці суміжності системи; n – кількість вершин графу.

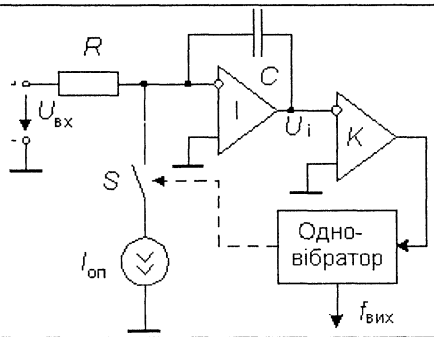
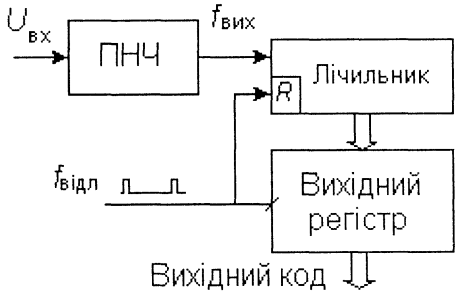
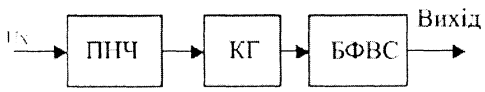
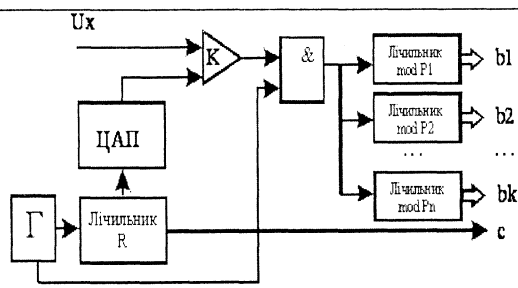
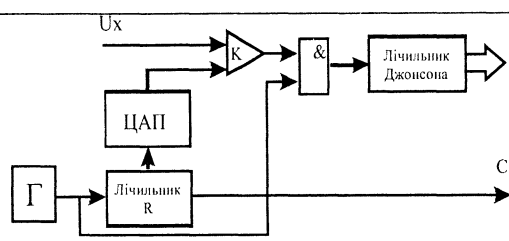
В аспекті наведених теоретичних положень оцінки апаратної, часової, структурної та системної складності розглянемо структури та системні характеристики існуючих одноканальних та багатоканальних АЦП, як компонентів спецпроцесорів (табл. 8.1).

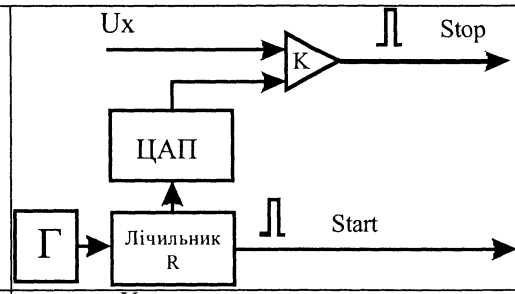
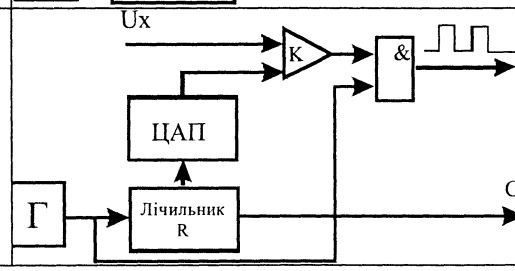
Таблиця 8.1

Структури та параметри вихідних сигналів

№	Тип АЦП	Структура	Двійковий код
1	Паралельний		a_k a_{k-1} .. a_v … a_1
2	АЦП Монте-Карло в базисі Радемахера		a_k a_{k-1} .. a_v … a_1
3	Багататактний послідовно-паралельний		a_k a_{k-1} .. a_v … a_1
4	Конвеєрний		a_k a_{k-1} .. a_v … a_1

5	Послідовно-паралельний багатоступінчатий (AD7884)		a_k … a_v a_{v-1} … a_1
6	АЦП порозрядного зрівноваження		a_k a_k a_{k-1} a_{k-1} … … a_v a_v … … a_1 a_1
7	Розгортуючий		a_k a_{k-1} … a_v … a_1
8	Інтегруючий		a_k a_{k-1} … a_v … a_1
9	Сігма-дельта (слідкуючий)		a_k a_{k-1} … a_v … a_1

10	Перетворювач напруга-частота(ПНЧ) з імпульсним виходом		y_1 y_2 … y_v
11	АЦП на основі ПНЧ, в базисі Радемахера		a_k a_{k-1} ... a_v … a_1
12	Інтегрально-імпульсний АЦП з імпульсним вихідним кодом в базисі Крейга-Галуа		… g_k … g_v g_{v-1} … g_1 …
13	АЦП розгортуючого типу в базисі Крестенсона		b1 b2 … bk
14	АЦП розгортуючого типу в базисі Крейга		$c_{(1)}$ $c_{(2)}$ … $c_{(k/2)}$ …

15	АЦП розгортуючого типу в базисі Хаара		… y_v …
16	АЦП розгортуючого типу в Унітарному базисі		y_1 y_2 … y_v …

Окремим класом АЦП скануючого типу є структури на основі базису Галуа. Вперше такі структури запропоновані Николайчуком Я. М. В даних перетворювачах використана базова структура АЦП паралельного типу (табл. 8.1, п.1), в той же час зчитування інформації відбувається за k тактів відповідно до розрядності АЦП. Слід відмітити наступні відмінності і переваги даного класу АЦП, структури яких подані в табл.8.2:

- практична відсутність дешифратора паралельного коду в базисі Хаара у послідовний код базису Галуа, який реалізується на основі провідного логічного елементу "АБО";
- можливість реалізації аналого-цифрового перетворення з буферизацією в запам'ятовуючому регістрі миттєвих значень вхідної напруги, або зчитування цифрових даних у коді Галуа за k тактів шляхом сканування вхідної напруги;
- унікальна можливість реалізації матриці компараторів з їх числом вдвічі меншим від числа рівнів квантування 2^k;
- реалізація захисту вихідних кодів від помилок у процесі аналого-цифрового перетворення шляхом розширення числа тактів сканування k+n, де n – додаткові біти рекурентного коректуючого коду;
- високий рівень регулярності архітектури через відсутність пірамідального дешифратора, що суттєво спрощує його мікроелектронну реалізацію.

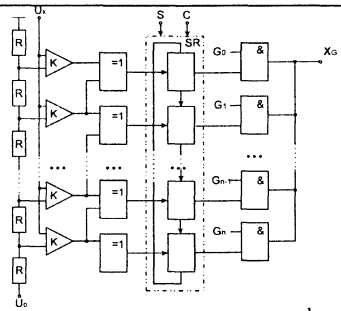
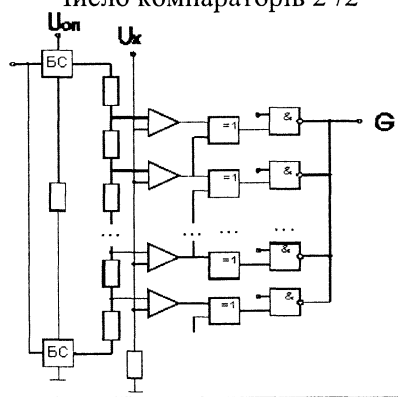
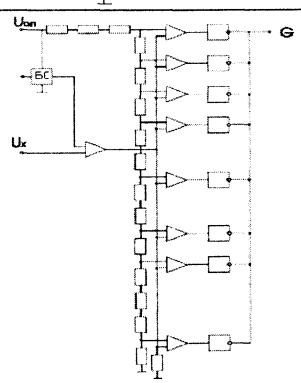
Аналіз характеристик сучасних основних типів одноканальних АЦП, структури яких приведений в табл. 8.1 та табл. 8.2 показує, що максимальну швидкодію аналого-цифрового перетворення забезпечують АЦП з паралельною архітектурою. При цьому граничні характеристики швидкодії паралельних АЦП в структурному плані залежать від сумарного часу послідовного спрацювання його компонентів:

$$T=t_K+ t_Ш+ t_P,$$

де $t_к$, $t_ш$, $t_р$ – відповідно затримки часу на переключення компаратора, пірамідального шифратора та D – тригера буферного регістра.

Таблиця 8.2

Структурні схеми АЦП в базисі Галуа

№	Тип АЦП	Структура	Параметри вихідних сигналів
1	Паралельний в базисі Галуа з буферним регістром	 Число компараторів 2^k	Послідовний код Галуа, g_k g_{k-1} … g_v g_{v-1} … g_1
2	Скануючий в базисі Галуа	Число компараторів $2^k/2$ 	Послідовний код Галуа, g_k g_{k-1} … g_v g_{v-1} … g_1
3	Скануючий в базисі Галуа на імпульсних компараторах	 k=4 Число компараторів $2^k/2$	Послідовний код Галуа, g_k g_{k-1} … g_v g_{v-1} … g_1

Наявність пірамідального шифратора, особливо багатоступеневого, значно впливає на зниження швидкодії такого класу АЦП. При цьому час переключення шифратора визначається числом послідовно з'єднаних логічних елементів,

кількість яких залежить від розрядності k, тобто, $\tau_ш - \alpha k$, де $\alpha>1$ – коефіцієнт, який враховує тип шифратора.

Гранична швидкодія АЦП порозрядного зрівноваження визначається сумарним часом спрацювання його елементів, що залежить від розрядності АЦП згідно виразу:

$$T=(t_K+t_P+t_Г+t_{ЦАП})k, \qquad (8.2)$$

де $t_Г$,$t_{ЦАП}$ – відповідно швидкодія генератора та ЦАП.

Швидкодія АЦП Галуа з буферним регістром визначається оцінкою часової затримки сигналів в елементах:

$$T=k(t_{TP}+ t_{ЛЕ})+ t_K+t_{ЛЕ},$$

де t_{TP},$t_{ЛЕ}$ – відповідно швидкодія тригера та логічного елемента.

Швидкодія АЦП Галуа скануючого типу з багатостабільним елементом визначається часом затримки (табл.8.3):

$$T=k(t_K+2t_{ЛЕ}+t_{БС}),$$

де $t_{БС}$ – швидкодія стабільного елементу.

Швидкодія АЦП Галуа скануючого типу на основі імпульсних компараторів характеризується часом затримки:

$$T=k(t_C+ t_{БС}+t_K+t_{ЛЕ}),$$

де t_C – час затримки на суматорі.

Найнижчою швидкодією характеризуються АЦП розгортуючого типу:

$$T=2^k(t_K+t_Г+t_{ЛЕ}+t_{ЛR}+t_{ЦАП}),$$

де $t_Л$ – швидкодія лічильника.

Для розрахунку параметрів швидкодії АЦП взято за основу параметри сучасної найбільш поширеної мікроелектронної елементної бази. Так наприклад, аналіз компонентів таких провідних фірм, як Texas Instruments, Fairchild Semiconductor, ST Microelectronic, ON Semiconductor, Burr Brown показує, що швидкодія сучасних логічних елементів знаходиться в межах 0,1-10ГГц. Швидкодія операційних пристроїв, які є компонентами АЦП (регістри, шифратори, суматори, лічильники і т.д.) залежить від їх структури (кількості послідовно з'єднаних елементів, алгоритму виконання перетворення та інш.).

Тому для кількісної оцінки швидкодії АЦП приймемо, що в різних архітектурах перетворювачів використовуються однотипні елементи (компаратори, регістри, лічильники, ЦАП та інші), дані параметри компонентів наведені в табл.8.3.

Таблиця 8.3

Час затримки на елементах АЦП

№	Компоненти	Позначення	Час спрацювання, нс
1	Аналоговий ключ (MAX320)	АК	150
2	Багатостабільний елемент	БС	35
3	Вентильний елемент (74AC00)	ЛЕ	7
4	Генератор	Г	20
5	Генератор Галуа	ГГ	28
6	Генератор керований напругою	ГКН	1000
7	Інтегратор (AD8605)	І	100
8	Компаратор (MAX941)	К	80

9	Лічильник	ЛR	3ЛЕ+(k-1)ЛЕ
10	Лічильник в базисі Крестенсона	ЛК	2(3ЛЕ+kЛЕ)
11	Лічильник Джонсона	ЛДж	2ЛЕ
12	Пристрій вибірки і зберігання (SHC605)	ПВЗ	30
13	Регістр	Р	2ЛЕ
14	Суматор (AD8610)	С	600
15	Тригер	ТР	2ЛЕ
16	Фільтр	Ф	5000
17	ЦАП (AD9774)	ЦАП	35
18	Шифратор	Ш	3ЛЕ

На рис. 8.2 зображено графіки зміни швидкодії АЦП різних типів, побудованих на елементній базі (табл. 8.3), та аналітичних виразів (табл. 8.4) в залежності від розрядності k.

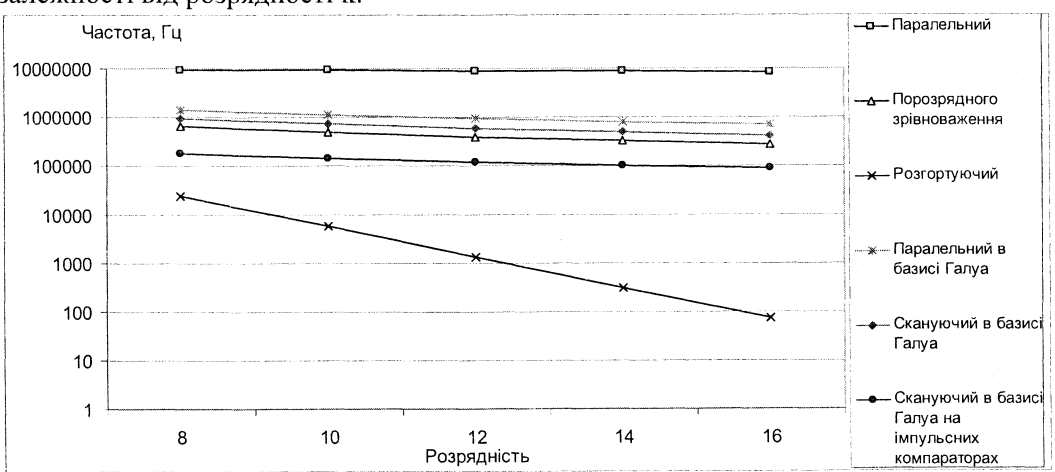


Рис. 8.2. Швидкодія АЦП різних типів в базисах Радемахера та Галуа в залежності від розрядності

З рис.8.2 видно, що швидкодія найбільш поширених АЦП паралельного типу знижується при зростанні розрядності внаслідок зростання складності пірамідального дешифратора кодів базису Хаара в базис Радемахера. При цьому швидкодія АЦП скануючого типу в базисі Галуа, на виході якого формується біт-орієнтований потік даних, суттєво перевищує швидкодію АЦП послідовного наближення та порозрядного зрівноваження, що формують вихідні коди аналогічного типу. Найменшою швидкодією при зростанні розрядності характеризується АЦП розгортуючого типу, в якому цикл перетворення виконується за 2^k.

В таблиці 8.4 наведені аналітичні вирази розрахунку часу затримки перетворення відомих АЦП різних типів, отримані на основі аналізу структур, приведених в табл. 8.4, а також параметри їх швидкодії, розраховані згідно виразу

$f_i=1/T_i$. На рис. 8.3 показана гістограма швидкодії досліджуваних класів АЦП, реалізованих на сучасній однотипній елементній базі.

Таблиця 8.4

Аналітичні вирази розрахунку часу затримки та параметри швидкодії АЦП

№	Тип АЦП	Аналітичний вираз розрахунку часу затримки, T_i	Швидкодія, кГц
1	Паралельний	$T=t_К+ t_Ш+ t_Р$	9671,18
2	АЦП Монте-Карло в базисі Радемахера	$T=2^k(t_Г+t_{ЛГ}+t_{ЦАП}+t_К+t_Л)$	23,36274
3	Багататактний послідовно-паралельний	$T=t_С+t_{АЦП}+t_{ЦАП}+t_С+t_{АЦП}+t_Р+t_{ЦАП}$	673,7636
4	Конвеєрний	$T=t_{ПВЗ}+t_{АЦП}+t_{ЦАП}+t_С+t_{ПВЗ}$	1252,505
5	Послідовно-паралельний багатоступінчатий	$T=t_{АЦП}+t_{ЦАП}+t_С+t_Р$	1340,842
6	АЦП порозрядного зрівноваження	$T=(t_К+t_Р+t_Г+t_{ЦАП})k$	877,809
7	Розгортуючий	$T=2^k(t_К+t_Г+t_{ЛЕ}+t_Л+t_{ЦАП})$	24,91231
8	Інтегруючий	$T=t_{АК}+t_І+t_{АК}+2^k(t_Г+t_Л+t_К)+t_Р$	33,56133
9	Сігма-дельта (слідкуючий)	$T=t_С+t_І+t_К+t_Ф$	173,0104
10	Перетворювач напруга-частота з імпульсним виходом	$T=t_І+t_К+t_{ГКН}$	847,4576
11	АЦП на основі ПНЧ, в базисі Радемахера	$T=t_{ПНЧ}+2^kt_Л+t_Р$	200,9566
12	Інтегрально-імпульсний АЦП з імпульсним вихідним кодом в базисі Крейга-Галуа	$T=t_{ПНЧ}+t_{ЛГ}+t_{БФВС}$	821,4227
13	АЦП розгортуючого типу в базисі Крестенсона	$T=2^k(t_Г+t_Л+t_{ЦАП}+t_К+t_{ЛЕ}+t_{ЛК})$	22,42394
14	АЦП розгортуючого типу в базисі Крейга	$T=2^k(t_Г+t_Л+t_{ЦАП}+t_К+t_{ЛЕ}+t_{ЛДж})$	22,42394
15	АЦП розгортуючого типу в базисі Хаара	$T=2^k(t_Г+t_Л+t_{ЦАП}+t_К)$	26,07644
16	АЦП розгортуючого типу в унітарному базисі	$T=2^k(t_Г+t_Л+t_{ЦАП}+t_К+t_{ЛЕ})$	24,91231
17	Паралельний в базисі Галуа з буферним регістром	$T=k(t_{ТР}+ t_{ЛЕ})+ t_К+t_{ЛЕ}$	4830,918
18	Скануючий в базисі Галуа	$T=k(t_К+2t_{ЛЕ}+t_{БС})$	968,9922
19	Скануючий в базисі Галуа на імпульсних компараторах	$T=k(t_С+ t_{БС}+t_К+t_{ЛЕ})$	173,1302

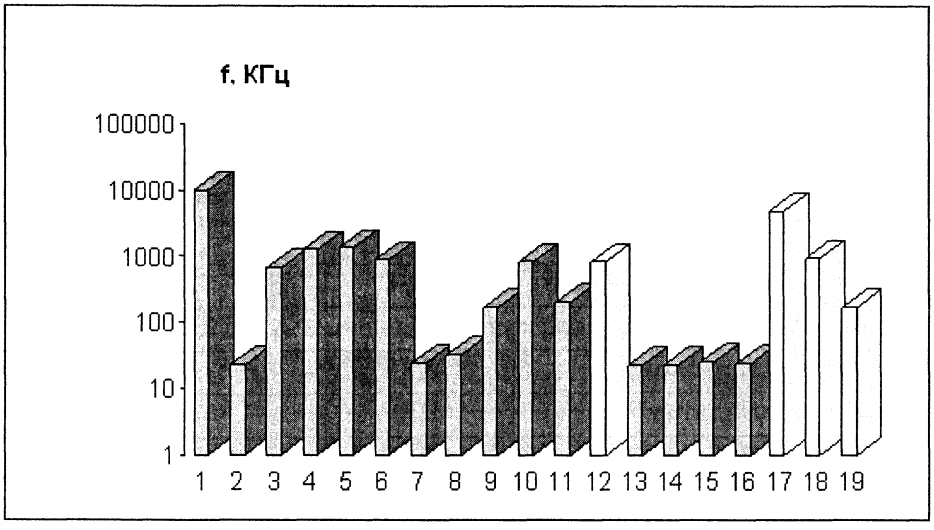


Рис.8.3. Гістограма швидкодії різних типів АЦП.

Структурна складність АЦП може бути розрахована на основі адитивного критерію, який визначається згідно виразу:

$$S_j = \sum_{i=1}^{l} \beta_i P_{ij}, \tag{8.3}$$

де β_i – ваговий коефіцієнт, який враховує апаратурну складність і-го компонента АЦП, який визначається методом експертної оцінки; P_{ij} = 0, 1, 2, … - кількість даних компонентів в структурі j-го АЦП.

В табл. 8.5 приведені дані експертних оцінок коефіцієнтів β_i для базових компонентів різних класів АЦП згідно структур, поданих в табл.8.1 та табл. 8.2.

Таблиця 8.5

Експертні вагові оцінки складності компонентів АЦП

Pj	Компонент АЦП	Позначення	Ваговий коефіцієнт	
1	2	3	4	
1	Компаратор	К	5	5
2	Прецизійний резистор	R	1	1
3	Шифратор	Ш	k	8
4	Лічильник в базисі Радемахера	ЛR	k(T+V+Z+kZ)	4,872
5	Лічильник в базисі Крестенсона	ЛС	k(T+V+Z+kZ)+V+kZ	4,98
6	Лічильник в базисі Галуа	ЛG	k(T+Z)+V+3Z	4,111
7	Лічильник Джонсона базису Крейга	ЛD	k(T+Z)+Z	4,009
8	Пристрій вибірки зберігання	ПВЗ	5	5
9	Буферний регістр	БР	k*(T+Z)	4,008

10	Пристрій управління	ПУ	20	20
11	ЦАП	ЦАП	3k	24
12	Генератор тактових імпульсів	Г	5	5
13	Вентильний логічний елемент	V	0,1	0,1
14	D-тригер	Т	0,5	0,5
15	Інтегратор	І	12	12
16	Перетворювач напруга-частота	ПНЧ	20	20
17	Комунікаційний зв'язок	Z	0,001	0,001
18	Аналоговий комутатор	АК	5m	5
19	Цифровий комутатор	ЦК	m	1
20	Аналоговий суматор	АНС	12	12
21	Цифровий фільтр	ЦФ	400	400
22	Генератор керований напругою	ГКН	12	12
23	Багатостабільний елемент	БС	ЦАП/2+$\log_2$ЛR	7,8

Оцінка структурної складності різних класів АЦП (табл. 8.1, табл. 8.2) згідно приведених в табл. 8.5 експертних оцінок складності компонентів АЦП та критеріїв згідно формули (8.3) подана в табл. 8.6 (в даній таблиці наведені кількісні оцінки для 8-ми розрядних АЦП, k=8).

Таблиця 8.6

Структурна складність різних класів АЦП

№	Тип АЦП	Оцінка
1	2	3
1	Паралельний	1550,048
2	АЦП Монте-Карло в базисі Радемахера	46,949
3	Багатотактний послідовно-паралельний	149,108
4	Конвеєрний	224,196
5	Послідовно-паралельний багатоступінчатий	224,179
6	АЦП порозрядного зрівноваження	14,039
7	Розгортуючий	58,937
8	Інтегруючий	61,847
9	Сігма-дельта (слідкуючий)	441,527
10	Перетворювач напруга-частота з імпульсним виходом	18,012
11	АЦП на основі ПНЧ, в базисі Радемахера	33,837
12	Інтегрально-імпульсний АЦП з імпульсним вихідним кодом в базисі Крейга-Галуа	24,115
13	АЦП розгортуючого типу в базисі Крестенсона	45,964

14	АЦП розгортуючого типу в базисі Крейга	43,739
15	АЦП розгортуючого типу в базисі Хаара	38,821
16	АЦП розгортуючого типу в унітарному базисі	38,923
17	Паралельний в базисі Галуа з буферним регістром	1718,507
18	Скануючий в базисі Галуа	1622,479
19	Скануючий в базисі Галуа на імпульсних компараторах	836,831

На основі табл. 8.6 побудовано гістограму структурної складності АЦП досліджуваних типів, яка зображена на рис. 8.4.

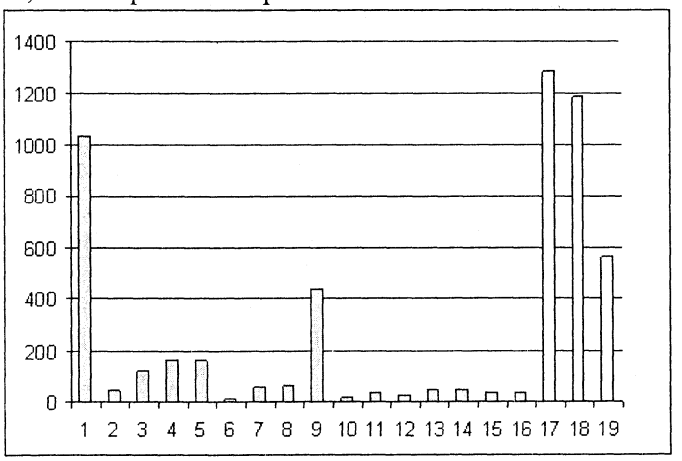


Рис. 8.4. Гістограма структурної складності різних типів АЦП згідно нумерації типів в табл. 8.6 (k=8)

З рис.8.4 видно, що найбільшою структурною складністю характеризуються АЦП паралельного типу (паралельний, паралельний та скануючий в базисі Галуа), які мають найбільшу кількість однотипних компонентів. Проте дані АЦП характеризуються найвищою швидкодією, а тому, щоб об'єктивно оцінити системні характеристики АЦП, як компонента СП, доцільно скористатися критерієм у вигляді відношення структурної складності до параметра швидкодії:

$$\zeta = \frac{S_i}{T_i / \tau_B}, \tag{8.4}$$

де i=1…19; τ_B – час перемикання базового мікроелектронного вентиля (7 нс).

На рис.8.5 подана гістограма оцінки системних характеристик АЦП, згідно виразу (8.4), які враховують швидкодію АЦП різної структурної та алгоритмічної складності, яка враховує 2^k циклів роботи АЦП розгортуючого типу, k циклів АЦП послідовного наближення в базисі Радемахера та скануючого типу в базисі Галуа і один цикл роботи АЦП паралельного типу.

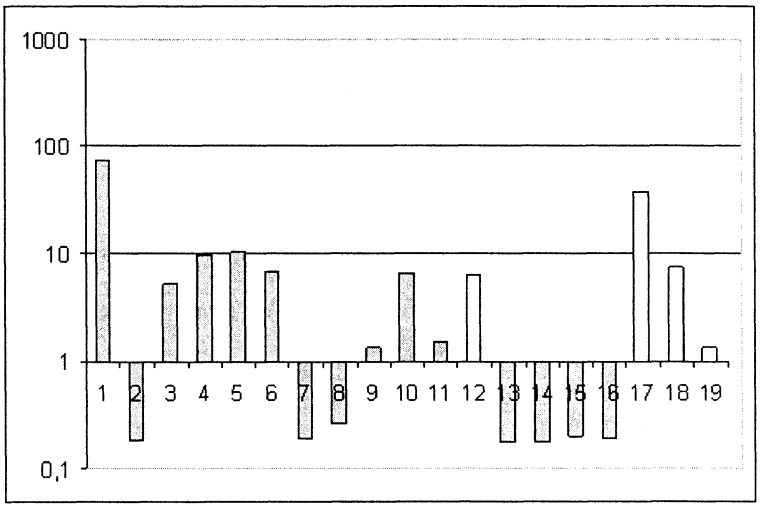


Рис.8.5. Гістограма оцінки системних характеристик АЦП (k=8).

Дана гістограма, яка подана в логарифмічному масштабі, показує, що по ентропійній ознаці, системні характеристики АЦП різних типів, які враховують їх основні параметри, структурну складність та швидкодію, суттєво відрізняються між собою. Найкращі системні характеристики відповідно мають АЦП типу:

1. АЦП паралельного типу в базисі Радемахера;
2. АЦП Галуа з буферним регістром;
3. Послідовно-паралельний багатоступінчатий;
4. Конвеєрний;
5. Скануючий в базисі Галуа;
6. АЦП порозрядного зрівноваження;
7. Перетворювач напруга-частота з імпульсним виходом;
8. Інтегрально-імпульсний АЦП з імпульсним вихідним кодом в базисі Крейга-Галуа;
9. Багатотактний послідовно-паралельний;
10. АЦП на основі ПНЧ в базисі Радемахера.

В сучасних РКС, які поставляються провідними зарубіжними фірмами Siemens, Analog Device, Crossbow, а також вітчизняних системах ALFIYA та ін. широко використовуються багатоканальні АЦП в ТЧБ, які відрізняються від базису Радемахера. При цьому на рівні формування СД в аналого-цифрових кодерах реалізуються важливі функції стиснення даних, їх захисту від помилок та несанкціонованого доступу, а також відомі моделі джерел інформації типу статистичних оцінок, математичного сподівання, дисперсії, автокореляції, спектру та ін.

На рис.8.6 приведений тримірний графік системних характеристик АЦП, побудований на основі характеристик: швидкодії, яка враховує час затримки сигналів на етапі перетворення; структурної складності та розрядності.

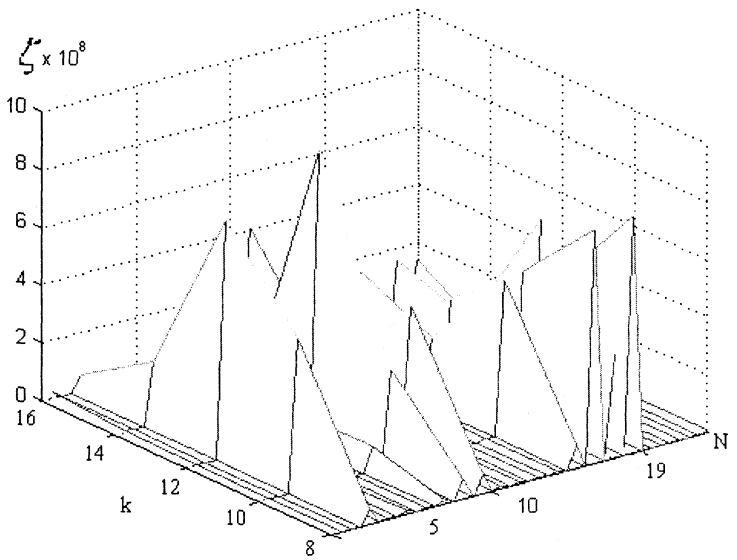


Рис.8.6. Системні характеристики різних типів АЦП. ζ – структурна складність; k – розрядність; N – номер АЦП.

Таким чином, дослідження системних характеристик АЦП показує, що в першу десятку найбільш досконалих архітектур входять 4 архітектури в базисі Галуа. Тому розробка нових та вдосконалення існуючих типів АЦП в базисі Галуа є перспективною і актуальною науковою задачею, яка дозволить успішно вирішити завдання покращення системних характеристик спецпроцесорів низових рівнів КС.

Дослідження, проведені в роботах наукової школи Я.М. Николайчука в Карпатському державному центрі інформаційних засобів і технологій НАН України, а також дослідницькими групами відомих зарубіжних фірм ABB, Crossbow, Analog Device та ін., показали, що найбільш оптимальні характеристики мають імпульсні сігма-дельта АЦП, інтегрально-імпульсні АЦП в базисі Галуа, з послідовними кодами – багатоканальні скануючі АЦП в базисі Галуа та АЦП послідовного наближення. Особливими характеристиками захищеності від помилок характеризуються АЦП в базисах Галуа та Крестенсона, а також АЦП на базі вертикальної інтегрально-імпульсної технології, що обґрунтовує перспективу їх вдосконалення та застосування в якості компонентів процесорів, які формують СД на низових рівнях КС.

Аналіз розробок аналого-цифрових кодерів (АЦК) для низових рівнів РКС, які випускаються у вигляді кристалів відомими фірмами Analog Device, Fairchild Semiconductor, ST Microelectronic, ON Semiconductor, Burr Brown, Lineal Technologies, показує, що найбільш широковживані архітектури багатоканальних АЦП (БАЦП) складаються з чотирьох базових модулів: аналогового комутатора, пристрою вибірки та зберігання, АЦП та інтерфейсного формувача вихідних даних.

Загальним недоліком відомих архітектур БАЦП, які часто використовують в якості АЦК, є відсутність захисту вихідних даних від помилок, внаслідок виключного застосування базису Радемахера для формування вихідних двійкових кодів, високий рівень надлишковості вихідних даних, а також низька незахищеність

передавання даних на низових рівнях РКС в умовах інтенсивних промислових завад.

Аналіз тенденцій розвитку інтелектуальних сенсорів показує, що в сучасних РКС широко використовуються автономні сенсори, які в своїй структурі містять одноканальні АЦК та інтерфейсні модулі для дистанційного безпровідного передавання цифрових даних в концентратори або контролери низових мереж (КНМ) РКС. Особливістю автономних сенсорів та аналого-цифрових кодерів, які випускаються фірмами ABB та Crossbow, є модуляція вихідних кодів широкосмуговими шумоподібними сигналами, що дозволяє реалізувати збір даних на низовому рівні СКС в паралельному режимі (рис.8.7, 8.8).

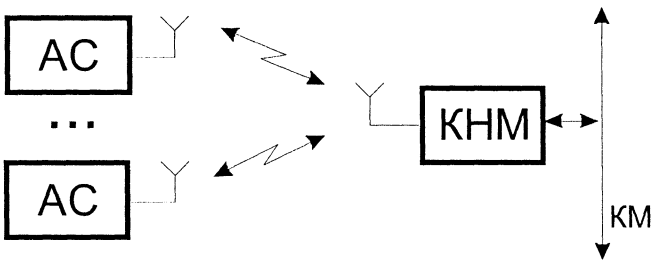


Рис.8.7. Архітектура низового рівня СКС на основі автономних сенсорів.

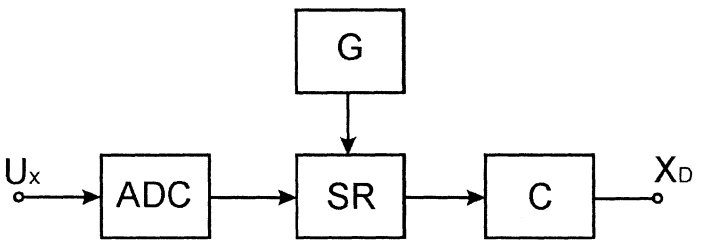


Рис.8.8. Структурна схема АЦК на основі інтегрально-імпульсної технології у базисі Галуа.

Базовими компонентами таких архітектур є АЦП, БАЦП, DSP, енергонезалежна пам'ять, модулі формування та оброблення широкосмугових кодових послідовностей.

Архітектура багатоканального автономного сенсора (АС), реалізованого на основі інтегрально-імпульсної технології в базисі Галуа та структура багатоканального АЦК (БАЦК) скануючого типу послідовного наближення з паралельним завадозахищеним зчитуванням у базисі Галуа показана на рис.8.9.

Компонентами даної структури є відповідно позначені: ADC_G –АЦП Галуа, SR – регістр зсуву, G/N – подільник частоти, G – генератор тактових імпульсів, SSS – формувач вихідних двовимірних шумоподібних сигналів.

Структура БАЦК скануючого типу у базисі Галуа, яка характеризується високим рівнем паралелізму збору даних, а також реалізацією захисту вихідних кодів від помилок, представлена на рис.8.10.

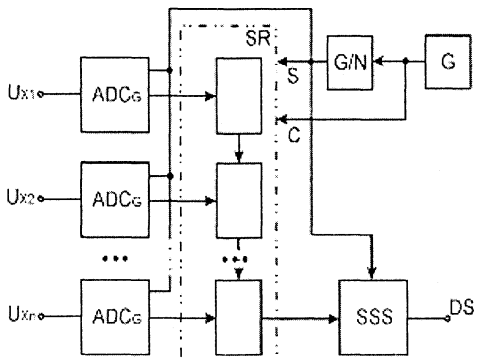


Рис.8.9. Структура багатоканального АЦК в базисі Галуа з вихідними шумоподібними сигналами.

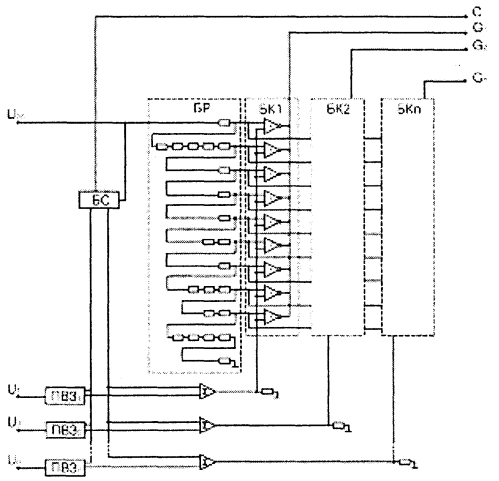


Рис. 8.10. Структура багатоканального АЦК Галуа на імпульсних компараторах з пристроєм вибірки зберігання.

В даній структурі БАЦК Галуа використовується блок прецизійних резисторів (БР), багатостабільний (БС) елемент, один генератор скануючих імпульсів (С) та n одноканальних АЦП Галуа, реалізованих на імпульсних компараторах. Захист вихідних кодів від помилок реалізується на основі рекурентного коду Галуа шляхом формування додаткових n імпульсів до N скануючих імпульсів N-розрядних вихідних кодів Галуа.

Широкі можливості вдосконалення характеристик БАЦК дозволяє реалізувати використання ТЧБ Крестенсона. Традиційно ТЧБ Крестенсона використовується для створення швидкодіючих та супершвидкодіючих процесорів на основі модульної арифметики системи залишкових класів. Можливості ефективного кодування багатомірних даних, стиснення та захисту інформації від помилок в СЗК визначили умови її доцільного застосування для вирішення задач інформаційно-вимірювальної техніки, аналого-цифрового перетворення та передавання даних.

Структура БАЦК, який реалізує кодування в системі залишкових класів базису Крестенсона показана на рис.8.11.

Компонентами даного БАЦК є АЦП з вихідним унітарним кодом, реалізований на елементах: ГІ, СТ2, лічильник базису Радемахера; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач, К – компаратор, &- логічний елемент "І". Кодер базису Крестенсона реалізований на модульних лічильниках mod P_i та інтерфейсному регістрі RG.

Недоліком описаної структури БАЦК базису Крестенсона є відсутність додаткових каналів для захисту інформації від помилок, а також спеціалізованого каналу для вводу та сумісної реєстрації з технологічною інформацією.

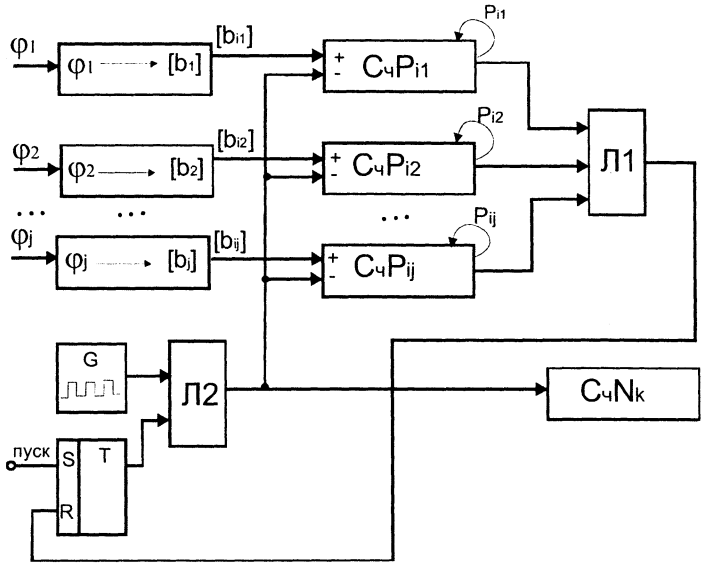


Рис.8.11. Багатоканальний АЦК базису Крестенсона.

Аналіз апаратної та структурної складності БАЦК виконується на основі відомого характеристичного функціоналу:

$$S_{АЦП}=F(m, V, k, M, H_1, H_2, S),$$

де m – число каналів;
V – швидкодія;
k розрядність;
M – буферна пам'ять;
H_1 – апаратна складність;
H_2 – алгоритмічна складність;
S – функціональні та інтерфейсні характеристики.

Структурна складність БАЦК розрахована на основі адитивного критерію, який визначається згідно виразу:

$$S_j = n \cdot \sum_{i=1}^{l} \beta_i P_{ij}, \tag{8.5}$$

де β_i – ваговий коефіцієнт, який враховує апаратурну складність і-го компонента АЦП, який визначається методом експертної оцінки;

n – число каналів; P_{ij} = 0, 1, 2, … - кількість даних компонентів в структурі j-го АЦП.

Відповідно для аналізованих архітектур БАЦК, які реалізуються на основі ТЧБ Рademахера, Крестенсона та Галуа, вираз (8.5) описується аналітично:

$$Q_{БR} = \log_2 n \cdot [5 \cdot 2^k + 2^k / n + k^2 + k(T + Z) + 4 \cdot 2^k \cdot 0{,}001];$$

$$Q_{сзк} = \log_2 n \cdot [5/n + k(T + V + Z + kZ)/n + 3k/n + 5 + 0{,}1 + k \cdot (T + V + Z + kZ) + + V + kZ + k(T + Z);$$

$$Q_G = \log_2 n \cdot [5 \cdot 2^k/2 + 2^k/n + 7{,}8/n + 5 + 12 + (2^k + 6k) \cdot 0{,}001;$$

$$Q_{IITG} = \log_2 n \cdot [20 + k(T + Z) + V + 3Z + 4].$$

Оцінка відносної ефективності системних характеристик досліджуваних типів БАЦК в залежності від розрядності, розраховується згідно виразу:

$$S_{БАЦК} = \frac{S_G}{S_R},$$

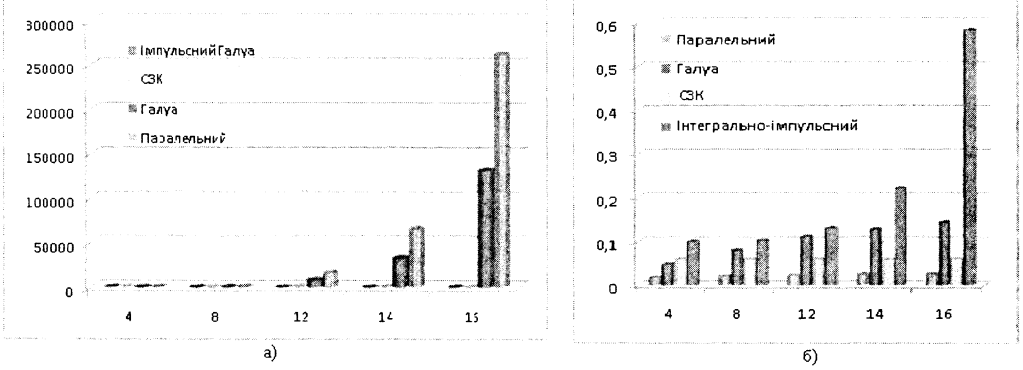
де S_G, S_R відповідно системні характеристики БАЦК у базисах Галуа та Радемахера.

Порівняння часу затримки перетворення сигналів в БАЦК Галуа та паралельному БАЦП в базисі Радемахера виконується на основі аналітичних виразів:

$$t_G = t_{ПВЗ} + (k+n)(t_К + t_{БС} + t_С);$$
$$t_R = t_{ПВЗ} + t_К + t_Ш + t_р + kt_р;$$
$$t_{СЗК} = 2^k(t_Г + t_Л + t_{ЦАП} + t_К + t_{ЛЕ} + t_{ЛК}),$$
$$t_{IG} = t_І + t_К + t_{ГКН} + k(T+Z) + V + 3Z + t_{БФВС},$$

де відповідно час затримки в модулях $t_{ПВЗ}$ – пам'ять вибірки і затримки (ПВЗ); $t_К$ – компаратора; $t_{БС}$ – стабільного елемента; $t_С$ – суматора; $t_Ш$ – пірамідального шифратора; $t_р$ – D-тригера буферного регістра; $t_Г$ - генератора; $t_Л$ - лічильника; $t_{ЦАП}$ - ЦАП; $t_{ЛЕ}$ – вентильного елемента; $t_{ЛК}$ – лічильника у базисі Крестенсона; k – розрядність АЦП; n – число додаткових розрядів захисного коду; $t_І + t_К + t_{ГКН}$.- час затримки ПНЧ; k(T+Z)+V+3Z – час затримки лічильника Галуа; $t_{БФВС}$ – час затримки блоку формування вихідних сигналів; $t_І$, $t_К$, $t_{ГКН}$ – час затримки відповідно інтегратора, компаратора, генератора керованого напругою.

На рис.8.12 показана структурна складність та час формування вихідних кодів БАЦП у базисах Галуа та Радемахера у залежності від їх розрядності k.



а) б)

Рис.8.12. Системні характеристики БАЦК у базисах Галуа та Радемахера.
а) – структурна складність; б) – час перетворення та формування вихідних кодів.

Основними недоліками переважної більшості існуючих перетворювачів форм інформації (ПФІ), які в даний час реалізовані у вигляді мікроелектронних кристалів, є наступні:

- використання базису Радемахера для кодування цифрових даних на виході ПФІ, які характеризуються абсолютною незахищеністю від помилок та їх незваженістю, а також значною надлишковістю;

- функціональна обмеженість відомих технічних засобів, які не передбачають сумісне кодування технолого-економічних даних у вигляді СД та фреймів.

Таким чином, задача створення АЦК з розширеними функціональними можливостями, які дозволяють виконувати сумісне формування технолого-економічних даних у вигляді СД є актуальною і потребує поглиблених теоретико-експериментальних досліджень.

Важливою характеристикою інформаційної технології формування вихідних СД є дотримання умови паралелізму (одночасності) виконання процесів вимірювання та аналого-цифрового перетворення аналогових даних багатоканальної системи формування технологічних даних. Невиконання умови одночасних вимірювань приводить до часових зсувів дискретних відліків масивів даних, які описують технологічні характеристики об'єктів, що призводять до суттєвого негативного впливу на адекватність моделей об'єктів управління, які формуються в реальному масштабі часу. В основу таких моделей покладена теорія кореляційного, спектрального, статистичного та ін. аналізів, правильність результатів яких є особливо чутливою до наявності промахів, викидів, стирань, вставок, кодових пошкоджень та часових зсувів вимірювальної інформації. Тому при обґрунтуванні вибору типу багатоканального АЦП в складі засобів формування СД характеристика одночасності та завадозахищеного кодування технологічних даних на виході багатоканального АЦП є принципово необхідною. Крім того, враховуючи реальні обмеження на доступну швидкість передавання даних на низових рівнях СКС та можливість одночасного функціонування багатьох формувачів СД, важливою характеристикою вихідних кодів АЦП є також умова мінімізації надлишковості цифрових даних. Як видно з рис.8.12, такій компромісній системі вимог до АЦП, призначених для роботи на низових рівнях СКС, найбільше відповідають АЦК в базисі Крестенсона та Галуа.

8.2. Оцінка впливу старіння інформації на кореляційні моделі багатоканальних ДІ при аналого-цифровому перетворенні.

Сучасні інформаційні моделі об'єктів управління будуються на базі дискретних даних, отриманих в результаті аналого-цифрового перетворення. При цьому вважається, що дискретні відліки ІП в кожному каналі багатоканального ДІ зняті і перетворені у цифровий код в одні й ті ж моменти часу. На практиці це не завжди виконується. Часто застосовуються схеми, які здійснюють аналого-цифрове перетворення в одних каналах ДІ з деяким запізненням відносно інших каналів. При цьому час запізнення залежить від типу застосованого АЦП. Крім того, при управлінні в реальному часі необхідно також враховувати, що деякий час затрачується на саме перетворення.

Таким чином, при побудові інформаційних моделей ДІ отримаємо оцінки, які характеризуються неадекватністю до реального стану ДІ внаслідок старіння інформації. Проаналізуємо ці ефекти старіння інформації на прикладі знаходження коефіцієнтів кореляції

$$r_{pq} = \frac{R_{pq}(0)}{\sqrt{D_x \cdot D_y}},$$

де x і y – ІП в каналах p і q багатоканального ДІ.

Для кількісної оцінки неадекватності розрахованої моделі ДІ відносно реальної використаємо вираз дисперсії:

$$\gamma_c = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\left(r_{xy_k} - r^*_{xy_k}\right)^2, \qquad (8.6)$$

де r_k, r^*_k – відповідно отримані та істинні значення коефіцієнтів взаємокореляції на інтервалі спостереження $k = \overline{1, M}$.

Запишемо вираз (8.6) у вигляді:

$$\gamma_c = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\left(r_{xy_k}(j) - r_{xy_k}(0)\right)^2, \qquad (8.7)$$

де $r_{xy_k}(j)$, $r_{xy_k}(0)$ – значення ковзних коефіцієнтів взаємокореляції між сигналами x і y, розрахованих при зсувах j і 0, де j має зміст часу старіння інформації .

Формула (8.7) виражає значення структурної взаємокореляційної оцінки при нульовому зсуві:

$$\gamma_c = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M}\left(r_{xy_k}(j) - r_{xy_k}(0)\right)^2 = C_{r_{xx}(j),\, r_{xy}(0)}.$$

Таким чином, здійснивши аналіз характеристики $\gamma_c(j)$, можна оцінити допустимі запізнення j при аналого-цифровому перетворенні та відповідну неадекватність моделі ДІ, обумовлену старінням інформації.

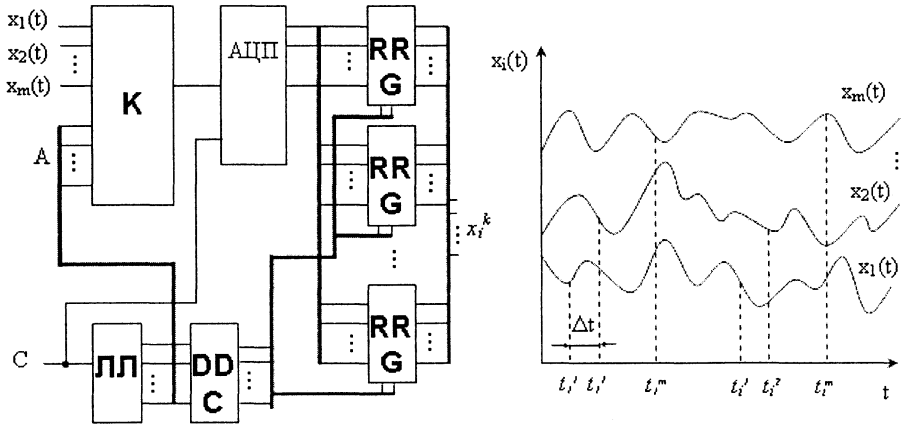
По аналогії можна оцінити ефекти старіння інформації, пов'язані зі старінням інформації для інших взаємокореляційних моделей. При цьому, як оцінку можна ефективно використати вираз модульної функції взаємокореляції G_{xy}.

Проаналізуємо різні способи аналого-цифрового перетворення і покажемо, що при використанні різних типів АЦП час запізнення не однаковий.

Розглянемо схему аналого-цифрового перетворення, в якій дискретизація аналогових сигналів відбувається послідовно в кожному каналі (рис.8.13).

На комутатор *K* подаються аналогові сигнали з усіх m каналів і адресний код *A* для вибору каналу. Одночасно адресний код визначає буферний регістр, в який запишеться результат перетворення аналогового сигналу. Дешифратор *DC*

керує дозволом запису даних у відповідний регістр і видачею даних з регістру на вихідну шину.



а) б)

Рис.8.13. а) – структурна схема багатоканального АЦП з комутатором каналів; б) – часова діаграма ($x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_m(t)$ – вхідні аналогові сигнали; m – число каналів; K – комутатор; RG – буферний регістр; $Л$ – лічильник; DC – дешифратор; x_i^k – вихідні цифрові коди).

При використанні такої схеми відбувається старіння інформації, оскільки аналогові сигнали дискретизуються послідовно через деякі проміжки часу Δt, кратні періоду тактових імпульсів T_c.

Позначимо момент часу дискретизації i-го відліку x_i^1 в першому каналі t_i^1, тоді в другому каналі отримаємо дискретне значення x_i^2 в момент часу $t_i^2 = t_i^1 + \Delta t$, відповідно, момент часу дискретизації в j-му каналі буде $t_i^j = t_i^1 + (j-1)\Delta t$ (рис. 4.1, б).

Отже, якщо за факт дискретизації прийняти момент завершення перетворення в m-му каналі t_i^m, то відбувається старіння даних, отриманих в попередніх каналах на величину $t_c = (m-k)\Delta t$, де k – порядковий номер каналу, m – загальна кількість каналів. Час t_c характеризує відносну затримку дискретизації процесів в різних каналах, але не враховує запізнення формування цифрового коду на виході, яке визначається швидкодією АЦП. Тоді загальне старіння $t_з = t_c + t_п$, де $t_п$ – час аналого-цифрового перетворення, яке може бути рівне від двох до декількох періодів тактових імпульсів C і залежить від типу

АЦП. Найбільшу швидкодію забезпечують АЦП паралельної дії з двотактним перетворенням.

Схему багатоканального аналого-цифрового перетворення з комутатором каналів рекомендується використовувати для ДІ з низькою динамікою, в яких заданий період дискретизації набагато більший часу самої дискретизації:

$$t_c << t_{i+1}^j - t_i^j, \tag{8.8}$$

і відповідно будуть справедливі нерівності:

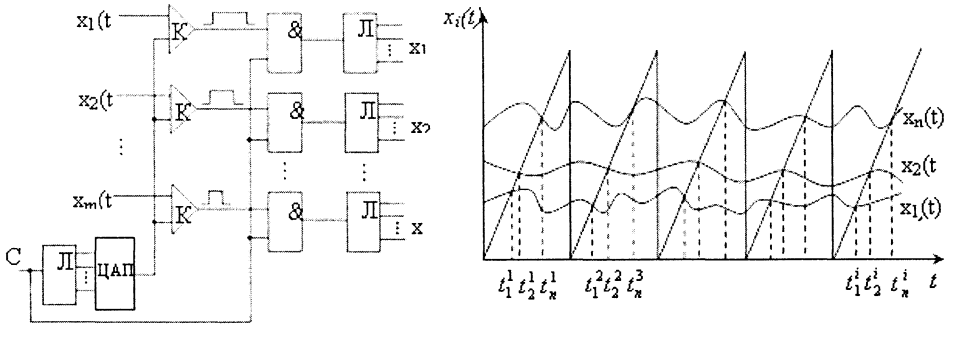
$$r_i^2 - r_i^{*2} \le \Delta \quad \text{та} \quad \gamma_c \le \varepsilon, \tag{8.9}$$

де Δ, ε – допустимі відхилення коефіцієнтів кореляції і коефіцієнта старіння в квадратичному просторі.

В об'єктах управління з достатньо високою динамікою для виконання умов (8.8) і (8.9) необхідно здійснювати дискретизацію з більшою частотою ніж це може забезпечити подана вище схема АЦП. Підвищити частоту дискретизації і, як наслідок, зменшити похибку можливо при зменшенні проміжку часу між моментами дискретизації в каналах ДІ.

Для зменшення відносного часу старіння даних t_c при аналого-цифровому перетворенні використовується схема з паралельною розгорткою (рис.8.14).

Переваги наведеної на рис.8.14 схеми, у порівнянні з попередньою, полягають в тому, що перетворення починаються одночасно в усіх каналах, але закінчуються спочатку в каналі з найменшим значенням амплітуди сигналу, а потім послідовно в інших каналах, в порядку зростання амплітуди аналогових сигналів (рис.8.14, б). Час старіння даних t_c зменшується на величину $\tau = t_p^i - t_q^i$, яка залежить від градієнта пилоподібної напруги, що подається на інверсні входи компараторів (рис.8.14), і різниці значень амплітуди сигналів в каналах джерела інформації. Оцінка впливу старіння інформації на точність побудови кореляційних моделей, при реалізації наведеного АЦП здійснюється аналогічно до попереднього випадку за виразом (8.6).



а) б)

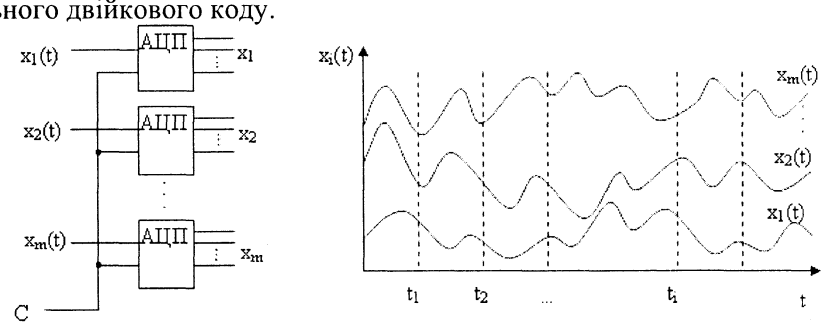
Рис.8.14. Структурна схема багатоканального АЦП з паралельною розгорткою – а); часова діаграма роботи АЦП – б).

Повністю уникнути відносного старіння інформації t_c можна при здійсненні аналого-цифрового перетворення паралельно в усіх каналах ДІ, для чого необхідно використовувати в кожному каналі окремий АЦП (рис.8.15, а).

В зображеній на рис.8.15 схемі вхідні аналогові сигнали перетворюються в цифровий p-розрядний код одночасно в моменти надходження тактових імпульсів C на дозволяючі входи кожного АЦП. При цьому можуть використовуватись перетворювачі двох типів: порозрядного наближення та паралельного перетворення.

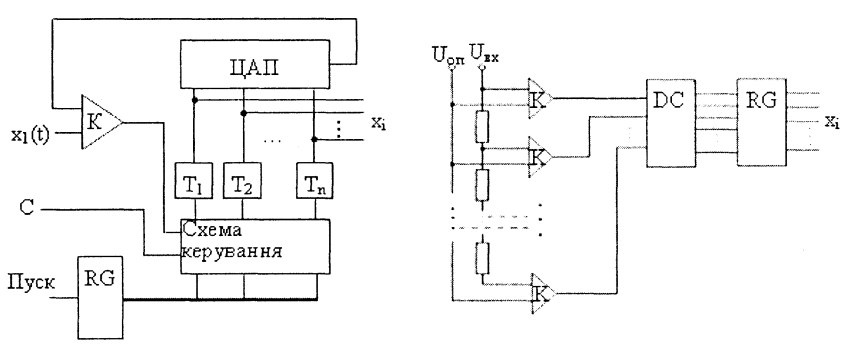
Використання перетворювачів порозрядного наближення (рис.8.16,а) дозволяє спростити схему (суттєво зменшується кількість компараторів), але на виході АЦП цифровий код формується за p тактів.

Якщо застосовувати паралельні АЦП (рис.8.16,б), то схема є складною через використання великої кількості компараторів (для отримання p-розрядного двійкового коду АЦП повинен містити $N = 2^p$ компараторів), але вихідний код генерується за два періоди тактових імпульсів. АЦП паралельної дії та порозрядного наближення формують на виході цифрові значення сигналу у вигляді паралельного двійкового коду.



а) б)

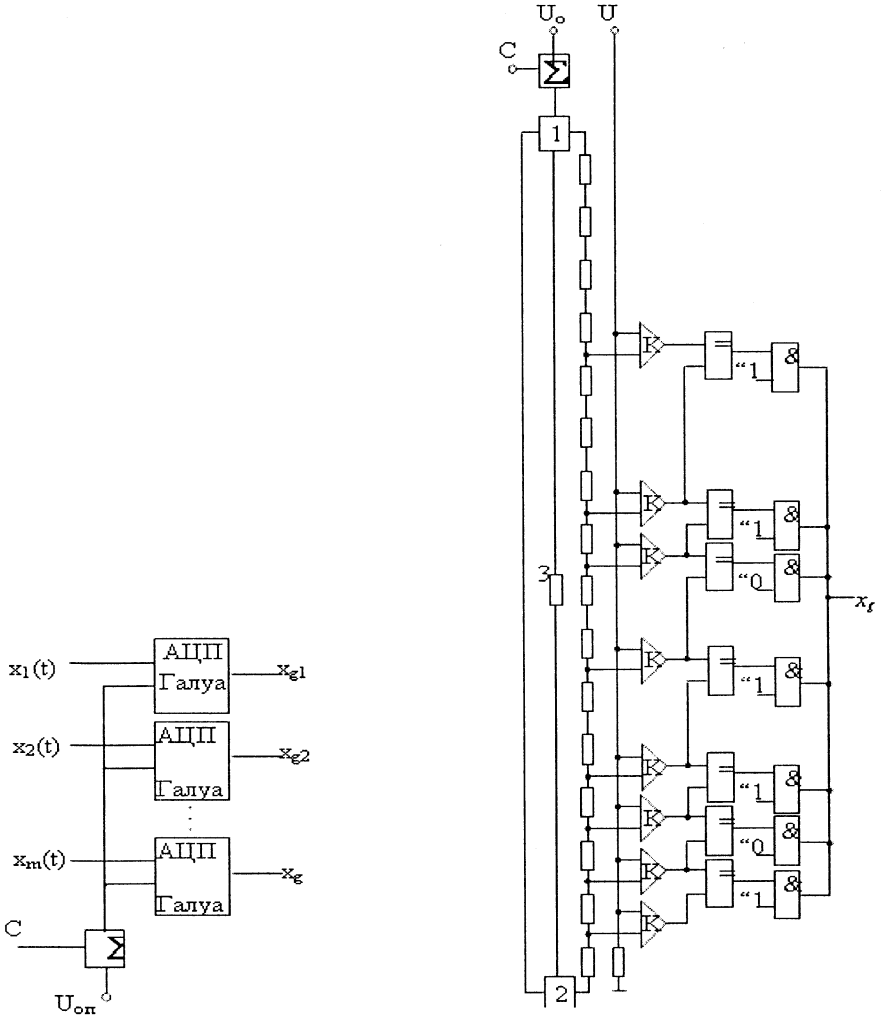
Рис.8.15. а) – схема, б) – часова діаграма паралельного аналого-цифрового перетворення.



а) б)

Рис.8.16. Структурна схема а) – АЦП порозрядного наближення; б) – паралельного АЦП.

Таке представлення p-розрядних цифрових даних для m-канальних джерел потребує $p \times m$ ліній в шині даних, що при великих значеннях m і n потребує суттєвого збільшення ширини шини. В результаті аналого-цифрового перетворення можуть бути отримані дані в інших дискретних базисах, які дозволяють усунути цей недолік при використанні відповідних АЦП. Прикладом можуть служити скануючі Галуа-перетворювачі та побудований на їх базі АЦП, зображений на рис.8.17.



а) б)

Рис.8.17. Схема модифікованого АЦП Галуа: а) – багатоканального; б) – одноканального: 1, 2 – багатостабільні елементи; 3 – струмообмежуючий резистор; $\sum$ – суматор; К – компаратор; x_g – вихідний код Галуа.

В них на виході формується послідовний код Галуа, який однозначно відповідає аналоговому сигналу на вході. Використання АЦП Галуа має певні переваги над класичними перетворювачами з паралельним двійковим кодом на виході, які зумовлюються перевагами кодів поля Галуа і можливістю спростити схему аналого-цифрового перетворювача.

Галуа-перетворювачі мають регулярну структуру, за рахунок чого є простими в реалізації, мають високу надійність і забезпечують дистанційну передачу даних в реальному масштабі часу. Генерація на виході послідовного коду Галуа дає можливість паралельного зчитування інформації з усіх каналів, а також забезпечує завадозахищеність та можливість виправлення помилок при передачі даних на великі відстані.

Проте недоліком АЦП Галуа є те, що на виході формується послідовний код, для чого потрібно n тактових імпульсів (n – розрядність вихідного коду). Таким чином, час перетворення, відносно попередньої схеми, збільшиться на час $\tau = (p-1)T$, де T – період тактових імпульсів.

Модифікована архітектура АЦП розрядністю p (рис.8.17), має більш просту схему, в якій використовується $N/2$, $N = 2^p$, компараторів, тобто у два рази менше, ніж у відповідних класичних перетворювачах, за рахунок відсутності ланок, які відповідають значенням коду поля Галуа, що повторюються відносно попередніх.

На рис.8.18. наведено діаграми аналого-цифрового перетворення розглянутих типів багатоканальних АЦП скануючого типу у базисі Галуа.

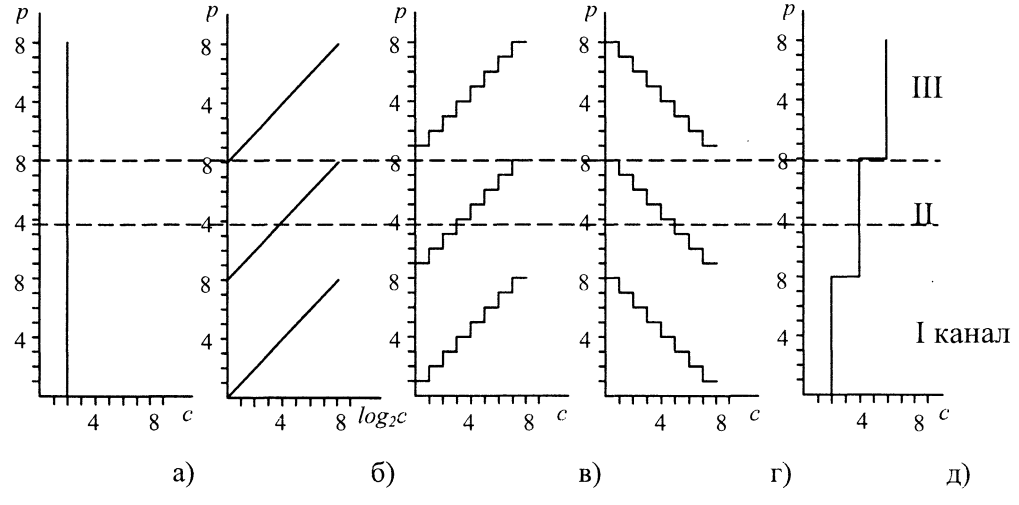


Рис.8.18. Діаграми аналого-цифрового перетворення даних різними типами АЦП: а) – паралельного; б) – з паралельною розгорткою; в) – АЦП Галуа; г) – порозрядного наближення; д) – послідовного АЦП з комутатором каналів. *C* – кількість тактів АЦП; *p* – розряди цифрових відліків.

В табл.8.7 приведено приклад перетворення інформації в пристрої при $p=4$, $N=16$, $U_{вх}=9$ і $U_{вх}=13$. Номери каналів, в яких відсутні ланки елементів, позначені "*".

Таблиця 8.7

Проміжні та вихідні коди, що формуються елементами перетворювача Галуа при вхідних аналогових сигналах $U_{вх}=9$ і $U_{вх}=13$.

№ каналу	Коди на виході компараторів		Коди на входах елементів «І»			Код Галуа на виході перетво-рювача
			вхід 1		вхід 2	
	$U_{вх}$=13	$U_{вх}$=9	$U_{вх}$=13	$U_{вх}$=9		
15*	1	0	1	0	0	
14*	—	—	—	—	—	
13*	—	—	—	—	—	1110
12	1	1	0	1	1	
11*	—	—	—	—	—	
10*	—	—	—	—	—	
9	—	—	—	—	—	1101
8	1	1	0	0	0	
7*	1	1	0	0	1	
6	—	—	—	—	—	
5*	1	1	0	0	0	
4	—	—	—	—	—	
3	1	1	0	0	1	
2	1	1	0	0	0	
1	1	1	0	0	1	
0*	—	—	—	—	—	

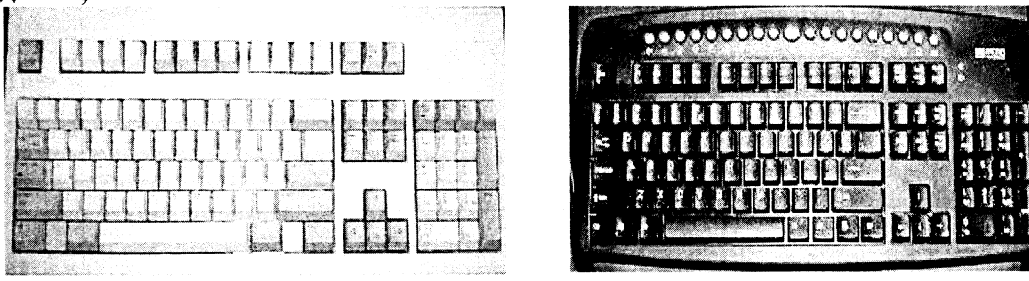
Забезпечення достовірності та своєчасності одержання інформації при використанні кореляційних моделей ДІ в автоматизованих системах реального часу вимагає грунтовного аналізу динаміки станів ДІ і, у відповідності до отриманих результатів та заданої точності, вибір такого типу АЦП, що задовольняє умови, накладені на ефекти старіння інформації.

8.3. Аналіз апаратно-програмних засобів вводу алфавітно-цифрових даних.

Алфавітно-цифрова клавіатура, яка використовується для вводу текстових, програмних та техніко-економічних даних, є важливим компонентом мікропроцесорних засобів різних рівнів СКС. Світовий досвід експлуатації

персональних мережевих та мобільних комп'ютерів визначив практику застосування на високих рівнях РКС багатьох модифікацій багатоклавішних засобів вводу алфавітно-цифрових даних.

Стандартна клавіатура персонального комп'ютера (Genius KB-06XE) (рис.8.19а) та "мультимедійна" клавіатура (рис.8.19б) містять несучу панель – N клавіш, з яких N_1 – клавіші функціонально повні (однорегістрові), N_2 – клавіші регістрові ($N= N_1+N_2$), розміщені регулярно на прямокутній панелі. Недоліком таких пристроїв є велика надлишковість числа клавіш (101 і більше), яка приводить до значних габаритів пристрою введення даних;



а) б)

Рис.8.19. а) стандартна клавіатура ПК, б) "Мультимедійна" клавіатура.

Компанія DARFON розробила клавіатуру з підсвіткою, призначену для використання в ноутбуках. Підсвітка клавіатури в залежності від виконання та умов її використання може бути виконана різними кольорами (рис.8.20).

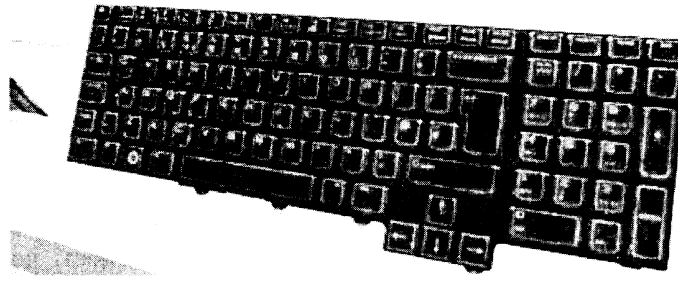


Рис.8.20. Клавіатура з підсвіткою.

Пристрій вводу даних калькуляторів, який використовується в калькуляторах CITIZEN SDC-888HB (рис.8.21) має прямокутну панель з регулярно розміщеними клавішами, де N1 – повнофункціональні клавіші (0,1,2,…,9,+,-,…) та регістрові (M-, M+, %, √,…). Перевагою такого пристрою є малі габарити.

Недоліком пристрою є обмежені функціональні можливості, які обумовлені тим, що даний пристрій не дозволяє вводити алфавітні дані;

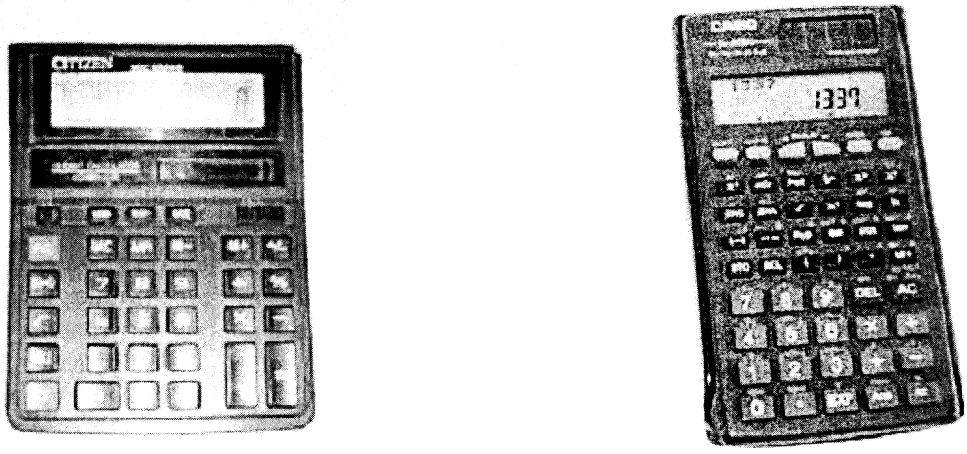
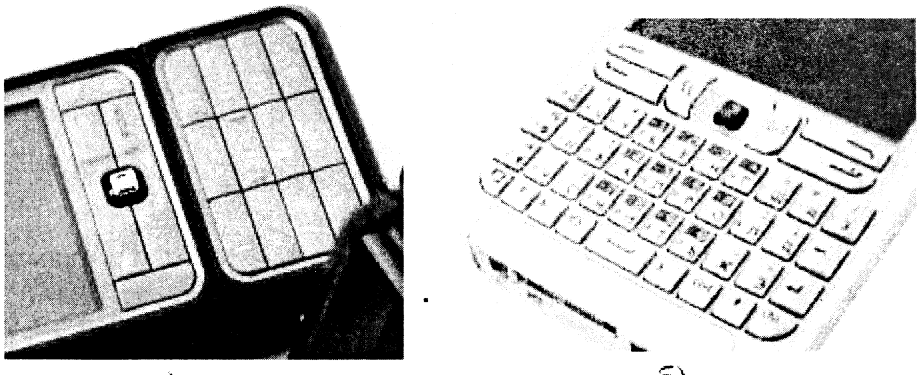


Рис.8.21. Приклад клавіатури калькулятора.

Пристрій для введення алфавітно-цифрових даних (мобільний телефон) (рис.8.22 а, б) має обмежене число клавіш, розміщених на малогабаритній панелі, і дозволяє шляхом багаторазового натискання однієї клавіші (1 – 10) вводити алфавітно-цифрові дані. Недоліком пристрою є низька швидкодія введення, обумовлена необхідністю багаторазового натискання регістрових клавіш.



а) б)

Рис.8.22. а) цифрова клавіатура, б) QWERTY – клавіатура.

В той же час на низових рівнях СКС, в умовах промислової експлуатації, до засобів вводу алфавітно-цифрових даних ставляться досить жорсткі вимоги надійності, малих габаритів, мобільності та забезпечення зв'язку при дії

інтенсивних промислових завад. Крім того, на вказаному рівні СКС, де з комп'ютерними засобами працюють непрофесійні оператори, ставляться особливі вимоги спрощення технології поєднання мобільних засобів з джерелами технологічних даних та ефективної формалізації ідентифікаційних, текстових та службових даних. Тому успішне вирішення такого комплексу задач може суттєво впливати на якість та надійність функціонування низових рівнів СКС, які становлять базову основу загальної високої ефективності промислових систем реального часу. При цьому важливою науковою задачею є розробка критеріїв оцінки системних характеристик програмно-апаратних засобів вводу алфавітно-цифрових даних, які в літературних джерелах практично не відображені.

Прикладом тенденцій вдосконалення розробки клавіатур для вводу алфавітно-цифрових даних, які передбачають проблемну орієнтацію відносно джерел інформації та засобів її вводу в КС, є розробки провідних зарубіжних фірм. Компанія Logitech розробила ряд безпровідних клавіатур типу diNovo Mini (рис.8.23), які рекомендуються виробником як оптимальне вирішення для домашніх медіацентрів в зв'язці телевізор+ПК.

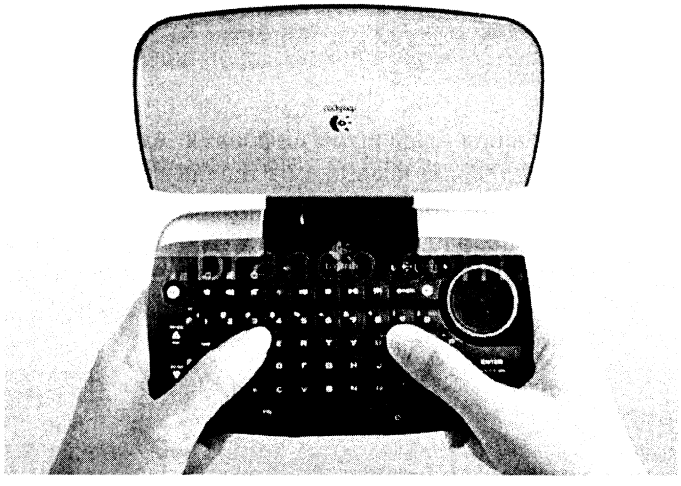


Рис.8.23. Безпровідна клавіатура diNovo Mini.

Особливістю diNovo Mini є більш нова версія сенсорного елементу управління – ClickPad, який може використовуватися як пульт управління мультимедіа додатками. DiNovo Mini оснащений 63-кнопковим замінником QWERTY клавіатури, 10 кнопками керуванняя мультимедіа і окремою кнопкою активації Windows Media Center.

Прикладом малогабаритної широкофункціональної клавіатури є розробка студії Art. Lebedev типу Optimus Aux на основі 15 клавіш з OLED-підсвіткою. Клавіатура оснащена двома USB-портами (рис.8.24).

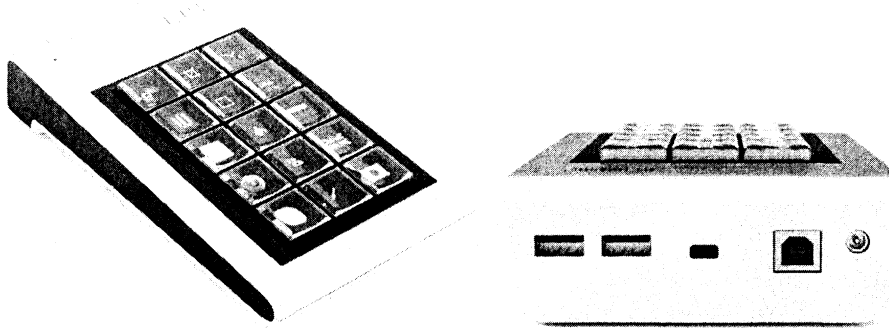


Рис. 8.24. "Допоміжна" мультимедійна клавіатура Optimus Aux.

Розкладна Bluetooth-клавіатура MSI BK100 (рис.8.25) дозволяє з легкістю друкувати текст на компактних прибудовах, таких як кишенькові комп'ютери та смартфони.

Рис.8.25. Розкладна Bluetooth-клавіатура MSI BK100.

Компанія Asus розробила keyboard PC. Це безпровідна клавіатура з сенсорним екраном, яка являє собою надтонкий ноутбук нестандартної форми (рис.8.26).

Новинка обладнана 5" тачскріном з розширенням 800*480, а також динаміками і мікрофоном. Пристрій працює під керуванням Windows XP. Також він може бути підключений до зовнішнього дисплею через HDMI.

Рис.8.26. Безпровідна клавіатура Asus keyboard PC.

Ще одна новинка – клавіатура навпаки (рис.8.27.). Для того, щоб надрукувати текст на новомодній клавіатурі від компанії Grippity, її необхідно взяти в руки і задіяти по чотири пальці на кожній руці.

Компанія Grippity перевернула уявлення про клавіатуру з ніг на голову. По-перше, вона подібна на плоский джойстик для ігрової приставки, по-друге, клавіші

цього "джойстика" знаходяться на зворотній стороні, а зовсім не зверху, як ми звикли.

Цікаво, наскільки швидко можна друкувати документи на такій незвичній клавіатурі, яку потрібно тримати в руках і натискати клавіші знизу вгору. Компанія-виробник стверджує, що такий спосіб роботи з документами набагато швидший.

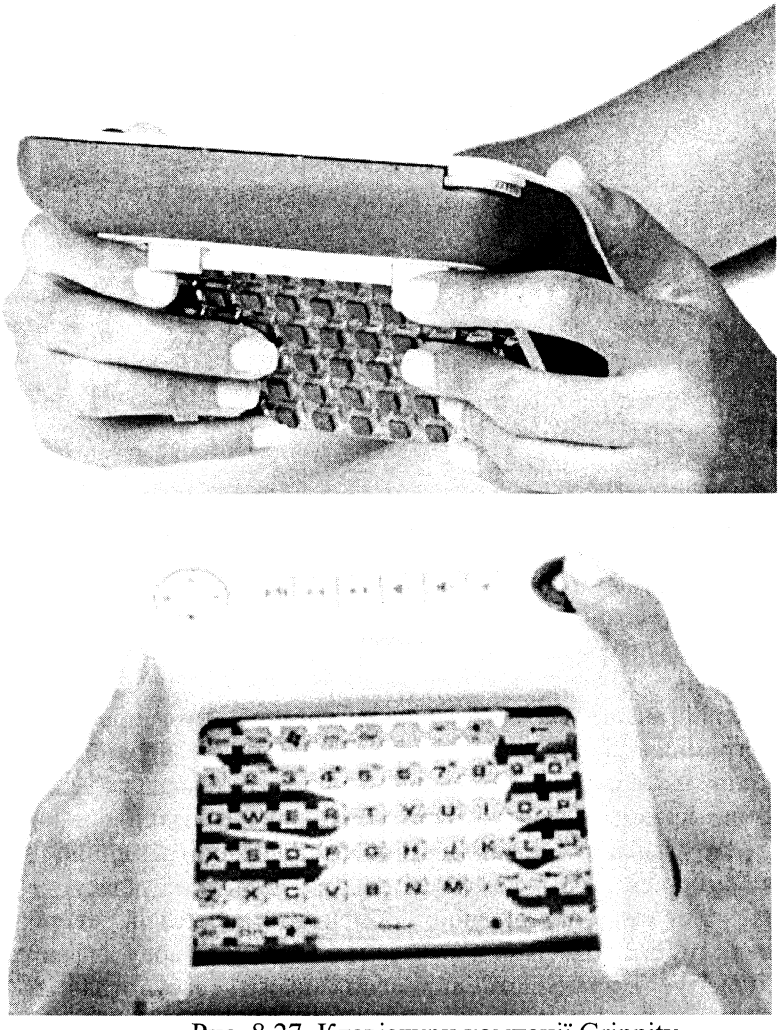


Рис. 8.27. Клавіатури компанії Grippity.

Мишка для цього девайса не потрібна, - її роль виконують ричажки, також вмонтовані знизу, а спеціальний датчик орієнтації фіксує перевертання клавіатури, після чого 60 клавіш QWERTY перетворюються в, так звані, "гарячі" клавіші.

Також новий продукт компанії PEGA — незвична в оформленні клавіатура. Вона складається з 40 клавіш, які дозволяють набирати символи, що використовуються для утворення смайликів (рис.8.28.). Клавіатура розроблена для

фанатів миттєвих повідомлень (ICQ, Google Talk, Skype і т.д.), де емотікони є невід'ємною частиною взаємодії.

Рис.8.28. Клавіатура PEGA.

Ще на початку розвитку мобільного зв'язку самі собою з'явились канони, яким почали слідувати всі виробники мобільних телефонів. Один з них – клавіатура. Однак дизайнери до цих пір не залишають спроб вдосконалити традиційних варіант.

Проведений аналіз світового досвіду розробки та проблемної орієнтації апаратно-програмних засобів вводу даних демонструє широкий спектр існуючих рішень, а також виражені тенденції до зменшення габаритів та числа функціональних клавіш клавіатур. При чому, при реалізації повногабаритних та малогабаритних клавіатур, практично, не застосований принцип синтезованого формування символів, які вводяться в КС широкого класу. Крім того, в літературних джерелах надзвичайно обмежено висвітлені теоретичні засади побудови та способів оптимізації характеристик засобів вводу алфавітно-цифрових даних, що показує актуальність вирішення цього класу задач та проведення відповідних теоретичних та експериментальних задач.

8.4. Критерії ефективності та дослідження системних характеристик клавіатур для вводу алфавітно-цифрових даних.

При створенні мобільних програмно-апаратних засобів формування та дистанційного передавання СД важливою задачею є аналіз та дослідження ефективності процесів вводу алфавітно-цифрових даних оператором за допомогою абонентських пунктів, оснащених клавіатурою та дисплеєм. Досвід розробки

засобів вводу алфавітно-цифрових даних показує, що на практиці найширшого поширення набули наступні класи пристроїв з вбудованими мікропроцесорами: мікрокалькулятори, мобільні телефони, мобільні комп'ютери (Noutbook) та спеціалізовані абонентські пункти. Прикладом клавіатури для спеціалізованих мобільних абонентських пунктів для вводу СД є синтезована клавіатура.

Важливими характеристичними параметрами ефективності формування на основі клавіатур є:

- інформаційна ємність клавіатури - I;
- загальне число клавіш – N;
- число символьних клавіш – N_S;
- число функціонально-регістрових клавіш N_f;
- відносні габарити по вертикалі та горизонталі – l, L;
- число генерованих символів – N_0;
- число біт на один символ – b;
- число символів на одній клавіші - S;
- число натискань клавіші при формуванні одного символа – n.

Перелічені характеристики типових клавіатур названих чотирьох класів приведені в табл. 8.8.

Таблиця 8.8

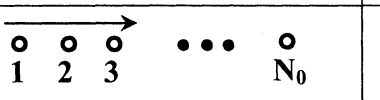
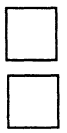
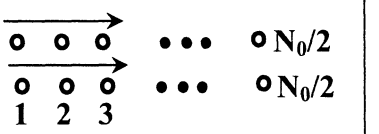
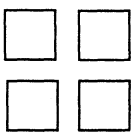
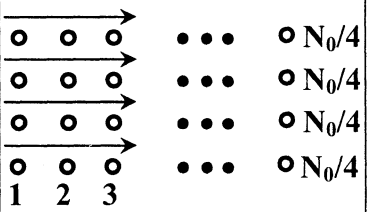
Тип клавіатури	Загальне число клавіш N	Число символьних клавіш N_S	Число функціонально-регістр. клавіш N_f	Число символів на одній клавіші S	Число натискань клавіші при формуванні одного символа n	Габарити по вертикалі та горизонталі l*L
Калькулятор	26	11	15	1	2	4*6
Моб.телефон	20	10	10	8	4	6*3
Комп'ютер	86	44	42	4	2	6*16
Синтезована клав.	16	12	4	2	2,5	4*4

Для обґрунтування критерію ефективності клавіатури розглянемо можливі варіанти її реалізації в залежності від різного числа клавіш N та числа генерованих символів n при використанні різних ТЧБ в процесі їх формування.

1. Потенційні характеристики клавіатур при використанні базису Хаара.

1.1. Нехай, маємо 1 клавішу (N=1), а число генерованих символів (n=1024) (табл. 8.9).

Таблиця 8.9

Характеристики клавіатури	Граф генерування символів в базисі Хаара	n
N=1		$\frac{N_0}{2n}$
N=2 		$\frac{N_0}{4n}$
N=4 		$\frac{N_0}{8n}$
…	…	…

З табл.8.9 видно, що при зростанні числа клавіш, які натискаються неодночасно, а символи генеруються клавіатурою згідно рівномірного розподілу, число натискань клавіш записується аналітично:

$$n = \frac{N_0}{2N}. \tag{8.10}$$

1.2. У випадку, коли крім однократного натискання N клавіш, можна використовувати натискування одночасно двох клавіш:

- при N=4,

$$n = \frac{N_0}{4(N+1)}. \tag{8.11}$$

1.3. У випадку, коли крім однократного натискання N клавіш, можна використовувати всі комбінації одночасного натискання N-і клавіш (i=0,1,2,...N-1)

$$n = \frac{N_0}{4(N+3)}. \tag{8.12}$$

Графіки необхідного числа натискань клавіш, розрахованих на основі виразів (8.10-8.12), приведені на рис.8.29 (1,2).

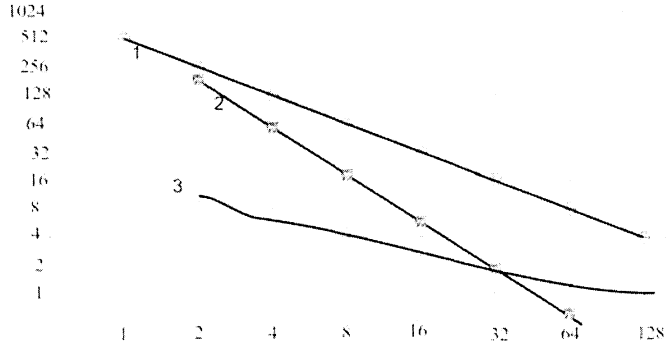


Рис.8.29. Залежність числа натискань клавіш від їх кількості на клавіатурі та числа генерованих символів у базисі Хаара.

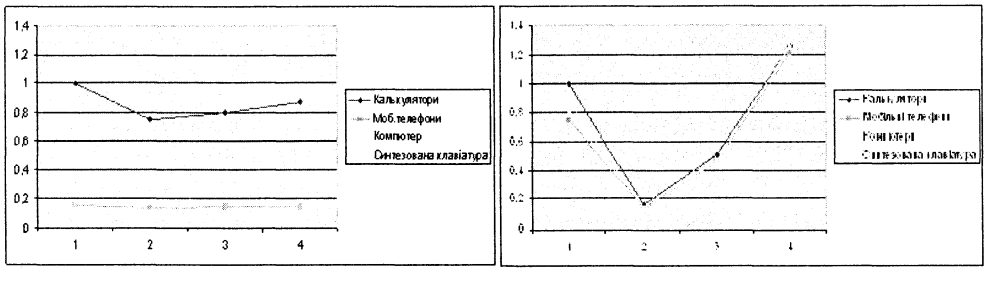
При генерації символів на основі кодів базису Радемахера мінімальне число клавіш N_0=2. При цьому для генерації одного символу необхідно виконати n=8 натискань, що відповідає числу генерованих символів N=256. При N=1024 необхідно формувати 4 регістрові ознаки, що відповідає додатковому двократному натисканню клавіш (n=10). На рис.8.29 дана характеристика представлена графіком 3.

В якості критерію ефективності клавіатури використаний мультиплікативно-адитивний вираз:

$$k = \frac{N_S \cdot 8 + N_f \cdot \alpha}{l \cdot L \cdot S \cdot n}, \tag{8.13}$$

де α - коефіцієнт інформативності функціональних клавіш $\frac{1}{N_f} \le \alpha \le 1$.

На основі аналітичного виразу (8.13) при різних значеннях α розрахований коефіцієнт ефективності реалізації чотирьох класів клавіатури, які використовуються в калькуляторах, мобільних телефонах, комп'ютерах та запропонованих спеціалізованих засобах вводу СД на основі синтезованої клавіатури рис.8.30.



а) б)

Рис.8.30. Оцінка коефіцієнта ефективності реалізації різних класів клавіатур.

Розрахунок коефіцієнта навантаження на одну клавішу клавіатури виконаємо згідно виразу:

$$K_i = \frac{N_0}{N_j}, \tag{8.14}$$

де $N_j = N_S + N_f$.

Графік коефіцієнта K_i приведено на рис. 8.31.

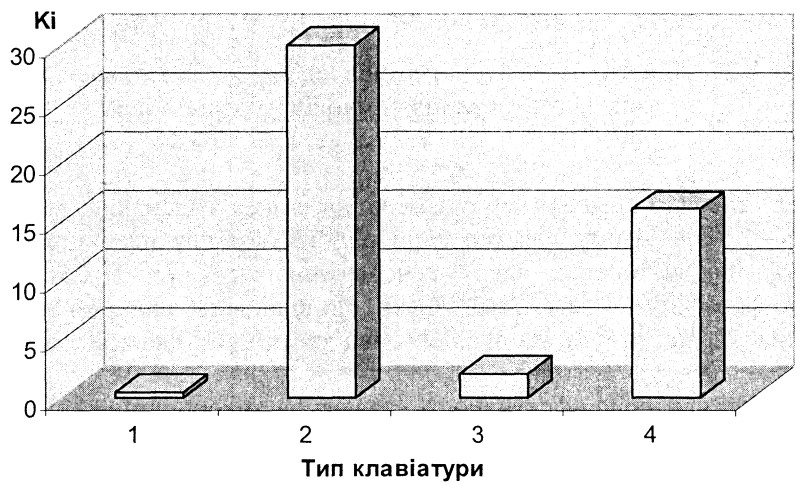


Рис.8.31. Коефіцієнт навантаження на одну клавішу різних класів клавіатур: 1 – калькулятори, 2 – мобільні телефони, 3 – комп'ютери, 4 – синтезована клавіатура.

З рис.8.31 видно, що найбільше інформаційне навантаження на одну клавішу реалізовано в мобільних телефонах, досить висока дана характеристика для запропонованої синтезованої клавіатури, низька - для калькуляторів та стандартних клавіатур комп'ютерів.

Загальну ефективність клавіатур різних класів оцінимо на основі мультиплікативного критерію згідно виразу:

$$P_k = \frac{1}{S} \cdot N_0 \cdot K_i,$$

в якому ефективність клавіатури для вводу алфавітно-цифрових даних ТЕД та СД пропорційна числу генерованих символів, значенню коефіцієнта ефективності, розрахованому згідно коефіцієнта ефективності (8.14) і обернено пропорційна числу необхідних натискань клавіші для формування коду одного символу (табл.8.10).

Таблиця 8.10

Тип клавіатури	S	N_0	K_i	P
Калькулятор	1	10	0,42	4,2
Мобільний телефон	6	256	30	64
Комп'ютер	2	1024	2,05	11,9
Синтезована клавіатура	2	256	16	128

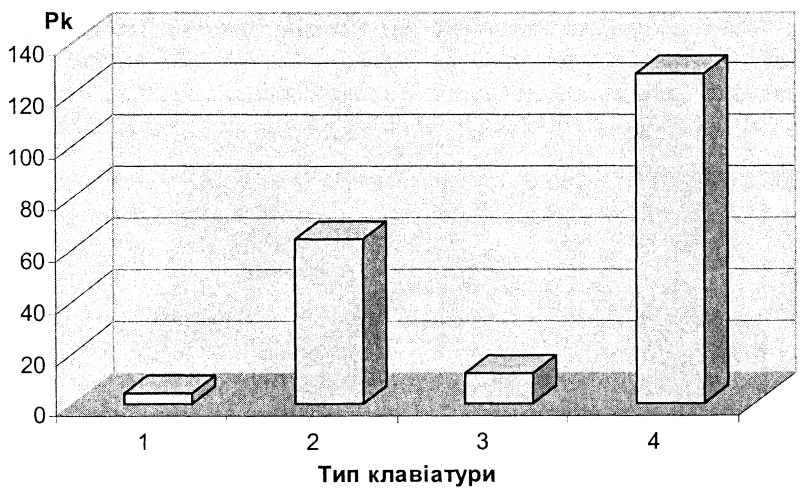


Рис.8.32. Коефіцієнт ефективності різних типів клавіатур: 1 – калькулятори, 2 – мобільні телефони, 3 – комп'ютери, 4 – синтезована клавіатура.

Проведений аналіз критеріїв ефективності та характеристик різних класів клавіатур показує, що запропонована синтезована клавіатура для формування СД на низових рівнях СКС є найбільш ефективною при числі генерованих символів N_0=256, загальному числі клавіш N_j=12+4 та числу натискань клавіш при формуванні одного символа $S \le 2$, тобто $P_{k\max} = 128$.

8.5. Метод синтезованого формування алфавітно-цифрових даних.

З метою зменшення надлишковості кодування ТЕД доцільно провести статистично-ймовірнісний аналіз частоти вживання атрибутів та ідентифікаторів атрибутів аналітичних виразів ТЕД. В табл.8.11 приведений приклад результатів систематизації атрибутів аналітичних виразів ТЕД, їх ідентифікаторів та ймовірності їх використання в інформаційних джерелах галузі економіки, які отримані на основі статистично-ймовірнісного аналізу вибірки n=100.

Таблиця 8.11

№ п/п	Назва показника	Аналітичний вираз	Атрибути
1	Валовий оборот підприємства	$BO = \sum_{i=1}^{n} Q_{B_i}$	n - кількість цехів на підприємстві; Q_{B_i} - обсяг валової продукції і-го цеху
2	…	…	…

Результати аналізу приведені на (рис.8.33), де представлені ймовірності 32 найбільш широковживаних атрибутів та сумарна ймовірність інших менш часто вживаних атрибутів.

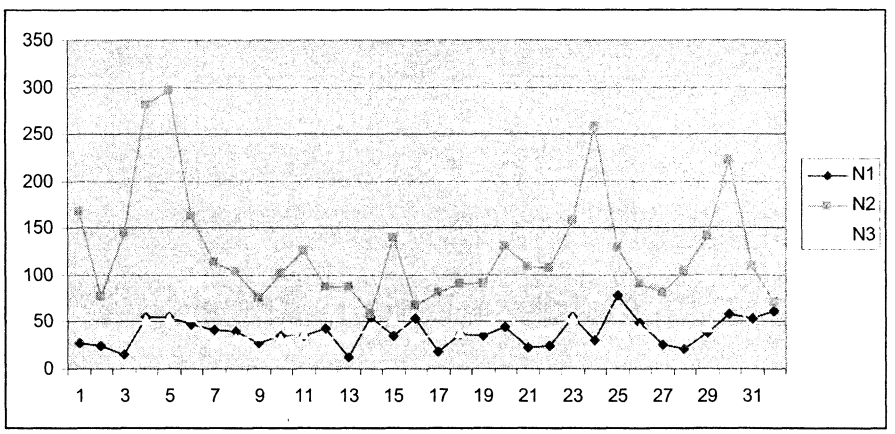


Рис.8.33. Об'єми компонентів даних ТЕД.

Визначені в якості базових 32 атрибутів ТЕД не є доцільним для кодування при реалізації мобільних засобів програмно-апаратних засобів їх формування на низових рівнях СКС, оскільки потребують їх представлення 5-ти бітними кодами. Тому для реалізації можливості кодування таких даних 4-розрядними кодами (0,5 байта) з представленої сукупності атрибутів можна вибрати 16 найбільш ймовірних атрибутів, які доцільно описати символами типу ↑, ↓, ↔, Δ … з кодовою розрядністю 1 байт. При цьому, враховуючи, що середня довжина коду алфавітно-цифрового опису атрибута складає 8-12 символів, при реалізації запропонованого методу надлишковість кодування ТЕД зменшиться на 1-2 порядки (в 10-100 разів).

У такий спосіб кодування базові економічні показники, найбільш вживані в розрахунках. можуть бути представлені окремим каталогом ідентифікаторів спільного користування для багатьох економічних, фінансових та ін. організацій. В окремих випадках такий каталог – декодер може авангардно одноразово передаватися перед масивами СД, які формуються на низових рівнях РКС. В

загальному випадку кожен економічний показник та його аналітичний вираз можуть бути представлені в уніфікованій формі:

$$TT...T = \left(\frac{XX...X \cdot XX...X}{YY...Y \cdot YY...Y} \right)^{ZZ...Z}, \qquad (8.15),$$

де T – симоди ідентифікатора, які описують економічний термін, X,Y,Z – відповідні ідентифікатори техніко-економічних показників (ТЕП).

Досліджено характеристики формули (8.15) для різних класів економічних розрахунків, які показують, що число символів в ідентифікаторі TT…T, XX…X, YY…Y, ZZ…Z при використанні латинського та українського алфавітів та стандартних символів клавіатури ПЕОМ коливаються від 3 до 5. Тобто практично доступний для різних галузей економіки каталог ідентифікаторів може бути описаний на базі чотирьох символів. Викладені принципи кодування ТЕД дозволяють суттєво знизити об'єми інформації про ТЕП, які циркулюють в РКС.

В СКС формування СД виконується у вигляді фреймів, які класифікуються за призначенням використання:

- фрейм оператора низового рівня;
- фрейм системи передавання даних;
- фрейм бази даних;
- фрейм управління об'єктами.

В табл.8.12 приведені структури названих фреймів.

Таблиця 8.12

Фрейми СКС

№ п/п	Тип фрейма	Структура фрейма
1	F оператора	start | T | N | S | {X} | {M} | {L} | stop
2	F системи передавання даних	Ф | Ci | Cj | N | S | M | L | ТЕД | Ф
3	F бази даних	Ф | Ci | Cj | N | S | M | L | ТЕД | Ф
4	F управління	Ф | Ci | Cj | Y | Ф Ф | Ci | Cj | Y | G | Ф Ф | Ci | Cj | V | Y | Ф Ф | Cj | Ci | W | Y | Ф

В табл.8.12 використані наступні атрибути: атрибути обміну потоками даних між вузлами КС: start, stop – границі інформаційного файлу фрейма-оператора, Ф – границі пакету даних системи СПД, Т – реальний час, N – номер об'єкта, S – тип виконуваної операції, X – масив технологічних даних, M – сукупність інформаційних моделей об'єкта, L - сукупність логіко-статистичних інформаційних моделей, Сі, Сj – коди станцій КС, яка передає і приймає дані, ТЕД – техніко-економічні дані, які формуються оператором, I – ентропійні моделі та характеристики об'єкта, Y – команди управління, G – готовність виконання команди управління, V – дозвіл виконання команди управління, W – підтвердження виконання команди управління на об'єкті. Приведені структури фреймів реалізуються на різних рівнях згідно стандартних інтерфейсів, протоколів обміну даними, структури файлів БД, структури файлів використовуваних БД, а також стандартизованих протоколів спеціалізованих комп'ютерних систем.

В проблемно-орієнтованих КС на рівні фреймів формуються СД, які охоплюють класи статистичних, кореляційних, спектральних, кластерних, сукупність моделей руху даних та інші моделі. При цьому інформаційна технологія формування ТЕД сумісно з технологічними моделями об'єктів є однією з найважливіших задач підвищення ефективності організації та зниження собівартості руху даних в КС. Запропонована інформаційна технологія та пристрій формування СД на основі синтезованої клавіатури, викладені теоретичні основи кодування джерел інформації, а також запропоновані апаратні засоби формування СД, створення мобільних засобів формування СД є необхідною умовою використання сучасних процесорних платформ.

8.6. Клавіатура синтезованого формування алфавітно-цифрових даних мобільного адаптера низових рівнів СКС.

В сучасних інфокомунікаційних системах широкомасштабно та масово використовуються ПК та спеціалізовані мобільні пристрої вводу алфавітно-цифрових та техніко-економічних даних. Недоліком таких пристроїв є велика надлишковість числа клавіш, яка приводить до значних габаритів пристрою введення даних; або низька швидкодія введення, обумовлена необхідністю багаторазового натискання регістрових клавіш; складна реалізація програмного пристрою, який змінює функції клавіш в регістровому режимі, що потребує високого професійного досвіду операторів при вводі алфавітно-цифрових даних.

Найбільш популярним пристроєм з відомих є клавіатура для вводу даних, яка реалізується на основі програмованої клавіатури з 10 плінкових сенсорних клавіш і призначена для електронних друкарських машин.

В основу синтезованої клавіатури поставлена задача вдосконалення пристрою для введення алфавітно-цифрових даних шляхом реалізації вводу цифрових та символьних знаків одноразовим натисканням цифрових клавіш та двократним послідовним натисканням відповідних цифрових клавіш в регістрі вводу літерних знаків.

Результат – малогабаритна, малоклавішна, швидкодіюча синтезована клавіатура з розширеними функціональними можливостями алфавітно-цифрових,

графічних зображень та простою можливістю апаратно–програмної сумісності з існуючими засобами персональних комп'ютерів, контролерами та засобами дистанційного вводу інформації.

Поставлена задача вирішується тим, що синтезована клавіатура реалізується з допомогою 16-ти клавіш, які при введенні окремих символів даних натискаються не більше 2-х разів, а сигнали клавіш символів сегментних елементів g_1, g_2 обробляються логічною схемою АБО $(g_1 \vee g_2)$, які разом з іншими сигналами сегментів a, b, c, d, e, f, k є вихідними сигналами клавіш пристрою (рис.8.34).

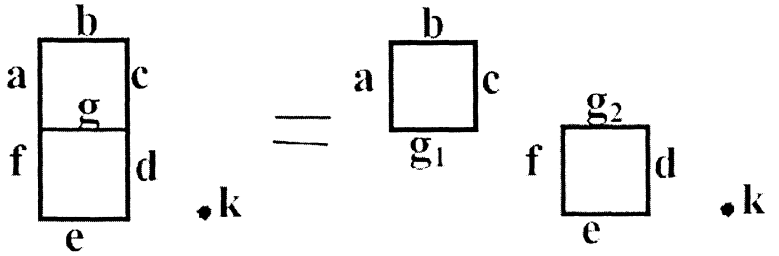


Рис.8.34. Логічна схема обробки сегментних елементів.

Синтезована клавіатура містить 16 регулярно розміщених регістрових клавіш, кожна з яких при введенні даних може натискатись не більше 1 або 2 разів, при чому, при двократному натисканні клавіш клавіатури відбувається логічна обробка верхньої та нижньої груп сегментів згідно рівняння:

$$S_б = a, b, c, d, e, f, g_1 \vee g_2, k = 1;$$

$$S_ц = a, b, c, d, e, f, g, k = 0,$$

де $k = 1$ – символізує ввід алфавітних даних;

$k = 0$ – символізує ввід цифрових даних.

Синтезована клавіатура оснащена рельєфними символами сегментів для набору алфавітно-цифрових даних «сліпим» методом.

Таким чином, пристрій вводу алфавітно-цифрових даних може бути реалізований як на стандартному дисплеї, так і на сегментному дисплеї, який характеризується меншими габаритами та меншою вартістю.

На рис.8.35 зображено приклад розміщення клавіш пристрою вводу алфавітно-цифрових даних, де 1 – панель, 2 – клавіші, 3 – символи функціонального призначення клавіші. При чому розміщення, форма та величина 16-ти клавіш можуть бути довільними і адаптованими до конкретних умов роботи оператора, який вводить техніко-економічні дані. Довільними також можуть бути набори алфавітів: українсько-англійський, українсько-російський, російсько-англійський та інші.

Перевагою даної синтезованої клавіатури є висока степінь подібності комбінацій з двох графічних символів клавіатури до зображення реальних букв алфавіту.

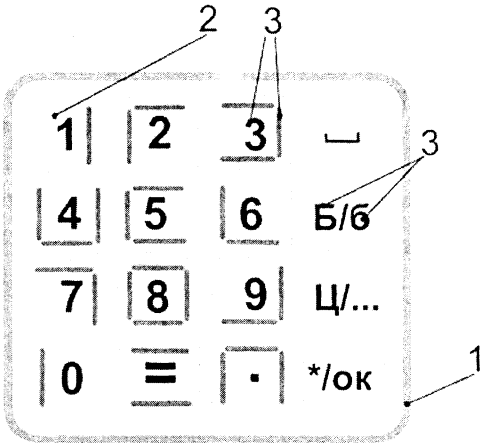


Рис.8.35. Приклад розміщення клавіш пристрою.

На рис.8.36 зображено структурну схему пристрою логічної обробки сегментних символів клавіш, яка містить верхній та нижній фрагменти символів сегментів клавіатури: a,b,c,d,e,f,g_1,g_2,k, які є виходами 4-бітового коду клавіші, при чому сигнали сегментних елементів g_1,g_2 поступають на входи логічного елемента АБО, вихід якого є одним з 8-ми сегментних виходів коду клавіші.

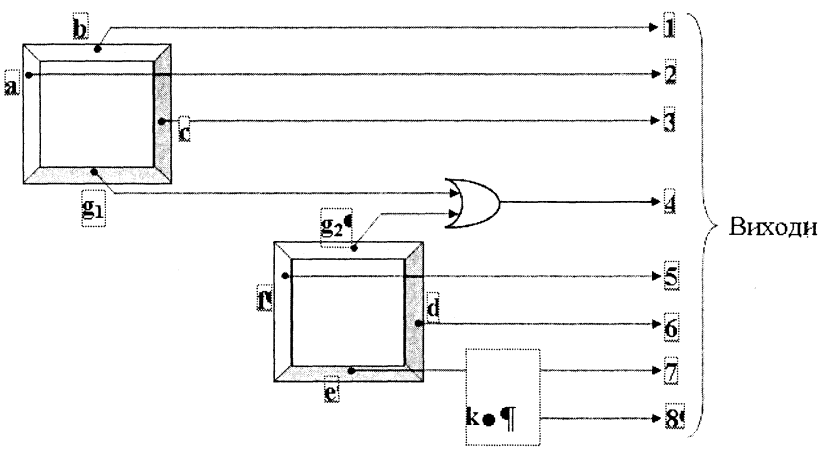


Рис.8.36. Структурна схема пристрою логічної обробки сегментних символів.

При цьому процес формування кодів інформації з пристрою вводу алфавітно-цифрових даних відбувається у вигляді 4-бітових кодів, оскільки число клавіш дорівнює 16.

Пристрій може бути реалізований на основі стандартних клавіш, які використовуються в комп'ютерній техніці з будь-якими контактами, які обробляються спеціальною програмою – драйвером, яка відображає на моніторі повний алфавітно-цифровий або графічний текст.

При роботі пристрою у віддаленому режимі через канали зв'язку інформація може безпосередньо транслюватись через відповідний засіб передавання за допомогою 4-бітових кодів, що забезпечує більш компактне кодування даних по відношенню до стандартних 8-бітових кодів стандартних клавіатур.

Дана клавіатура може бути ефективно застосована в якості функціональної панелі «комп'ютерної мишки», що дозволяє виключити динаміку рухів оператора з ПК між клавіатурою та «мишкою».

На рис. 8.37 – 8.41 показано приклади представлення стандартних алфавітно-цифрових даних на основі розробленого пристрою вводу алфавітно-цифрових даних.

На рис.8.37 показана реалізація вводу великих букв українського алфавіту (при однократному натисканні регістрової клавіші Б/б) та малих букв українського алфавіту (при двократному натисканні регістрової клавіші Б/б).

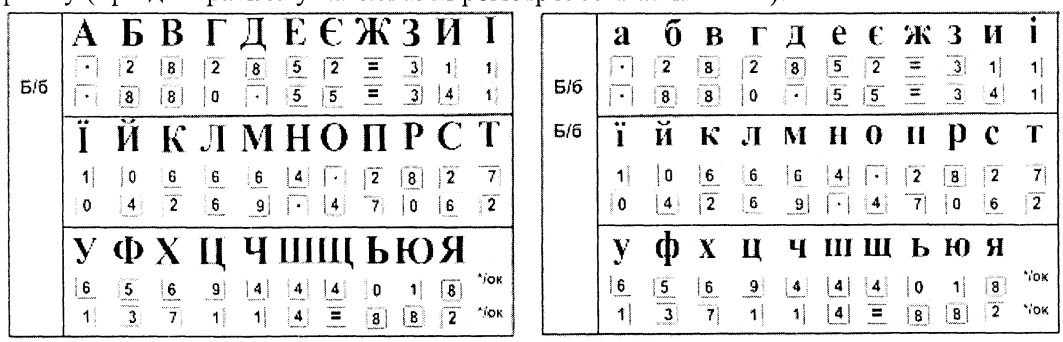


Рис.8.37. Реалізація вводу великих та малих букв українського алфавіту.

На рис.8.38 показана реалізація вводу великих букв англійського алфавіту (при одночасному однократному натисканні регістрових клавіш ␣ Б/б) та малих букв англійського алфавіту (при одночасному двократному натисканні регістрових клавіш ␣ Б/б).

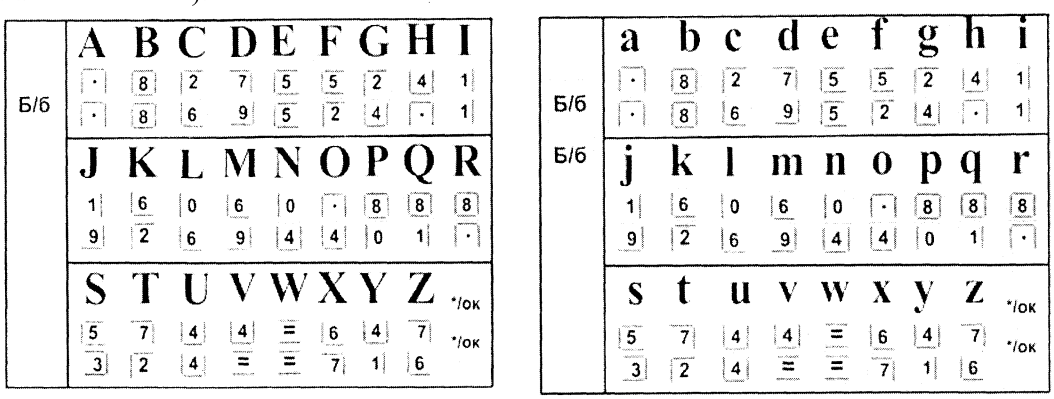


Рис.8.38. Реалізація вводу великих та малих букв англійського алфавіту.

На рис.8.39 показана реалізація вводу цифр (при однократному натисканні регістрової клавіші Ц/...)

На рис.8.40 показана реалізація вводу розділових знаків та символів (при двократному натисканні регістрової клавіші Ц/...)

На рис.8.41 показано приклад та процедура вводу алфавітно-цифрових даних наступного змісту: «Клавіатура – 16».

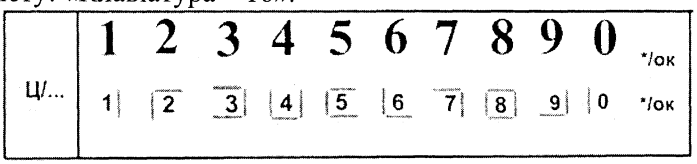


Рис.8.39. Реалізація вводу цифр.

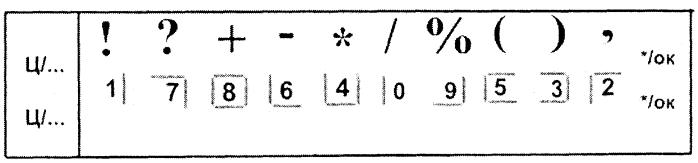


Рис.8.40. Реалізація вводу розділових знаків.

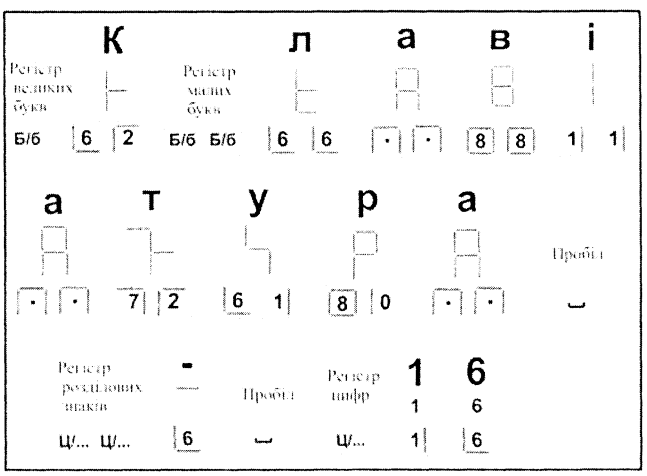


Рис.8.41. Приклад вводу алфавітно-цифрових даних.

Дана клавіатура має широкі функціональні можливості при використанні функціональних клавіш.

Даний пристрій створено на базі фрагменту стандартної панелі клавіатури калькулятора CITIZEN SDC-888HB та програмного драйвера виробництва кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету.

Характеристики: обмежене число клавіш 16; висока швидкодія при не більше 2-кратному натисканні клавіші; розширені функціональні можливості вводу

стандартних алфавітно-цифрових символів, спеціальних та графічних символів; можливість «сліпого» вводу даних однією лівою рукою.

Для передосвоєння масового виробництва даної клавіатури проведені ергономічні дослідження динаміки (та складності) її використання на базі академічних груп студентів комп'ютерних та інших спеціальностей.

8.7. Структура та функції мобільного адаптера СД низових рівнів СКС.

Мобільний адаптер формування СД забезпечує ввід алфавітно-цифрових даних з клавіатури та зчитування технологічних даних, що надходять з низової мережі автономних сенсорів. Структурну схему архітектури промислової мережі представлено на рис. 8.42.

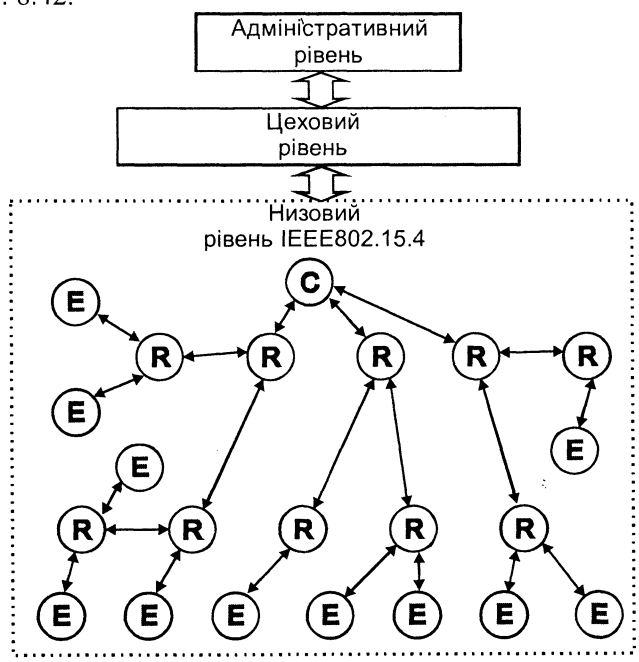


Рис. 8.42. Структура промислової трирівневої мережі підприємства:
R – ретранслятор; C – координатор; E – кінцевий пристрій.

У представленій архітектурі низовий рівень, тобто рівень формування технологічних даних, реалізований згідно стандарту IEEE802.15.4.

Даний стандарт регламентує реалізацію безпровідного фізичного і канального рівня низової мережі.

В якості мережевого рівня використовуються технології ZigBee та JenNET. Технологія ZigBee орієнтована на мережі сенсорів на основі безпровідних компонентів і має в цій області ряд безперечних переваг над іншими технологіями:

- відкритий стандарт, заснований на IEEE 802.15.4;
- проста конфігурація мережі;
- можливість ретрансляції повідомлень окремими вузлами мережі;
- число вузлів мережі може перевищувати 65000;
- захищеність мережі відповідно до алгоритму AES;

- підтримка різних топологій: "дерево", "зірка", багатонодова мережа;
- можливість взаємодії між продуктами ZigBee різних виробників;
- електромагнітна сумісність з іншими безпровідними технологіями (WiFi, Bluetooth, GSM, CDMA);
- низька вартість готового рішення;
- мінімум додаткових компонентів.

Відповідно до вимог функціональності мобільного адаптера структуризованих даних структурна схема матиме наступний вигляд (рис. 8.43).

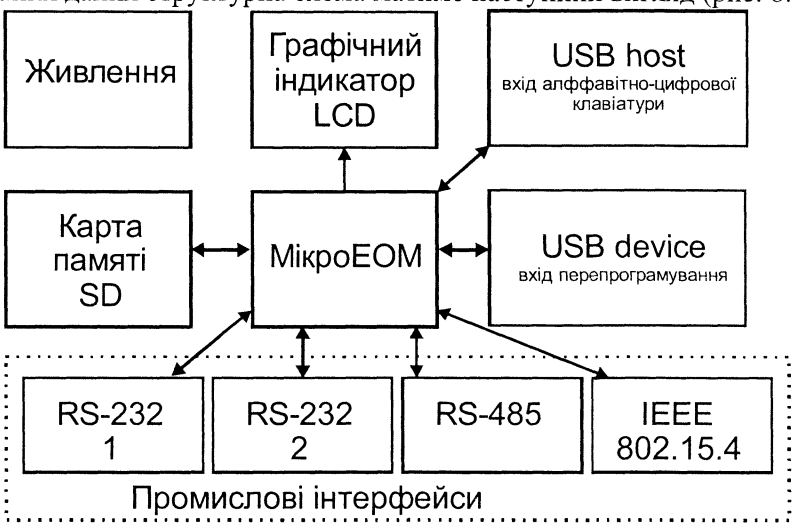


Рис.8.43. Структура мобільного адаптера СД.

Реалізацію представленої структурної схеми на фізичному рівні виконано на відлагоджувальній платі для мікроконтролерів AT91SAM7S64/128/256/512 ARM7TDMI-S, що дає можливість працювати з мікроконтролерами ARM фірми ATMEL. Плата дозволяє розробникові завантажувати через порт RS-232 призначену для користувача програму, підключати зовнішній JTAG-емулятор.

Плата є покращеною версією плати SAM7S-P64 фірми Olimex – доданий роз'єм USB-A і RS485 інтерфейс.

Параметри відлагоджувальної плати:

- встановлений мікроконтроллер AT91SAM7S64/128/256/512
- встановлений 12 МГц кварцевий резонатор;
- JTAG-коннектор 2x10 пін, ARM-JTAG (Wiggler) сумісний;
- тримач карт MMC/SD;
- два порти RS-232;
- один RS485 порт;
- кнопка «СКИДАННЯ» і світлодіод стану наявності живлення;
- 2 роз'єми USB інтерфейсу A і B типів, що дозволяє реалізувати як підключення плати до комп'ютера по USB інтерфейсу, так і USB Flash DISK interface;
- дві призначені для користувача кнопки і 2 світлодіоди;
- 18,452МГц резонатор;

- напруга живлення +5В від USB або 6В через роз'єм для зовнішнього джерела живлення;
- термістор, підключений до АЦП;
- встановлений стабілізатор на 3.3В з вихідним струмом до 800 мА;
- коннектори, безпосередньо підключені до виводів мікроконтролера;.

В якості інтерфейсного блоку стандарту IEEE 802.15.4 взято модуль JN513x — це сімейство недорогих мікроконтролерів з низьким енергоспоживанням, призначених для безпровідного зв'язку по стандартах IEEE802.15.4 і ZigBee.

Кожен чіп з даного сімейства включає прийомопередавач стандарту IEEE802.15.4, що працює на частоті 2.4 Ггц, 32-бітовий RISC-процессор, 192 кБ постійної пам'яті (ROM), від 8 до 96 кБ оперативної пам'яті (RAM), а також набір аналогових і цифрових периферійних пристроїв.

Підсистема пам'яті (ROM/RAM) дозволяє зберігати системне програмне забезпечення, включаючи стек протоколів, таблиці маршрутизації, а також код і дані призначеного для користувача застосування. Кожен пристрій містить MAC-адрес, блок шифрування за стандартом AES, процедури для засекречування коду програми за допомогою ключа шифрування, а також має режими зниженого енергоспоживання і сну. Всі ці можливості зроблені для забезпечення роботи безпровідного мікроконтролера від батареї протягом тривалого терміну. Реалізацію пристрою показано на рис.8.44.

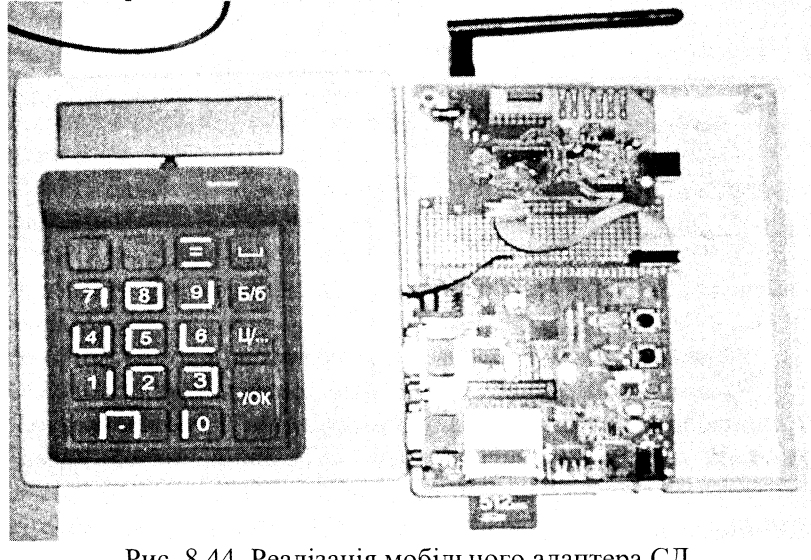


Рис. 8.44. Реалізація мобільного адаптера СД

8.8. Реалізація принципів синтезованого вводу алфавітно-цифрових даних на низових рівнях СКС.

Об'єкти нафтогазового комплексу України належать до класу стратегічних об'єктів, автоматизоване управління якими виконується засобами спеціалізованих комп'ютерних систем. Важливим підкласом таких систем є спеціалізовані системи контролю зберігання та обліку руху нафтопродуктів "АСУ резервуарних парків

НПЗ". Особливістю технологічних об'єктів, якими є товарно-сировинні резервуари (ТСР) для зберігання нафти та нафтопродуктів, є наступні характеристики:

- квазістаціонарність, що потребує відповідної ідентифікації стану ТСР та формування його коду оператором апаратури мобільного адаптера;
- іскро-вибухонебезпечність ТСР, що потребує особливої екологічної безпеки при реалізації відповідних програмно-апаратних засобів його контролю;
- обмежений фізичний доступ оператора в промислову охоронну зону ТСР;
- значні габарити об'єкта (висота до 20м, діаметр – 60м та ємність понад 20 тис.т нафтопродуктів).

На рис.8.45 показана структура взаємодії оператора з об'єктами ТСР нафтопереробних заводів та диспетчером-оператором серверного центру "АСУ резервуарних парків НПЗ". Кожен ТСР оснащений не менше шістьма автономними сенсорами, які контролюють наступні параметри:

- S_1, S_2, S_3 – температура на різних рівнях по висоті ТСР;
- S_4, H_n, h_n – відповідно висота нафтопродукту, рівень підтоварної води, питома вага нафтопродукту.

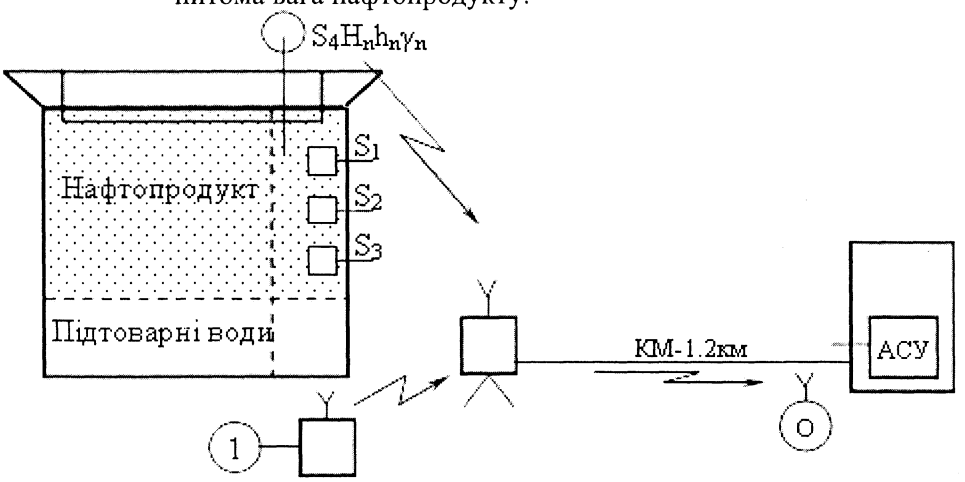


Рис.8.45. Структура взаємодії оператора з об'єктами ТСР.

Розподілена комп'ютеризована система "АСУ резервуарних парків НПЗ" обслуговується оператором-диспетчером (ОД), який знаходиться в центральній серверній та багатьма операторами-обхідниками (ОО), які виконують технологічне обслуговування ТСР, їх профілактику, контроль стану технологічного обладнання, сенсорів та ін.

Регламентна технологічна процедура взаємодії ОО та ОД відбувається шляхом використання мобільних адаптерів з безпровідними зв'язками, оскільки всі технічні засоби розміщені в іскро-вибухонебезпечних контейнерах класу ВЗГ, що виключає можливість безпосереднього доступу ОО без спеціально оформленого дозволу до названих контейнерів. При цьому оператор ідентифікує свої дані в алфавітно-цифровому вигляді та вказує номер ТСР, тип регламентних робіт та ін. Дана інформація документується центральним сервером через автономні безпровідні канали зв'язку.

Розроблений на основі досліджень мобільний адаптер з малогабаритною синтезованою клавіатурою суттєво спрощує вирішення проблеми його спеціалізованого виконання для об'єктів нафтогазової промисловості, а також спрощує процеси вводу алфавітно-цифрових даних при обмеженому каталозі символів, захищеного від несанкціонованого доступу шляхом використання процесів хешування та структуризації даних процесором адаптера.

Розроблений адаптер пройшов випробування на одному з НПЗ України групою спеціалістів фірми "Енеркон" (м.Київ).

Контрольні запитання і завдання.

1. Опишіть компоненти характеристичного функціоналу, який описує параметри АЦП.
2. Поясніть аналітичні вирази програмної та алгоритмічної складності пристрою аналого-цифрового перетворення.
3. Якими особливостями характеризується АЦП в базисі Галуа?
4. Поясніть структуру архітектури низового рівня СКС.
5. Поясніть функції компонентів низового рівня СКС на основі автономних сенсорів.
6. Якими перевагами характеризується багатоканальний АЦК у базисі Галуа?
7. Опишіть структуру та функції компонентів багатоканального АЦК базису Крестенсона.
8. Якими параметрами старіння інформації характеризуються багатоканальні АЦП?
9. Якими тенденціями вдосконалення характеризуються клавіатури вводу алфавітно-цифрових даних?
10. Назвіть типи фреймів СКС.
11. Якими інформаційними компонентами характеризується фрейм оператора?
12. Назвіть компоненти фрейму системи передавання даних.
13. Охарактеризуйте компоненти фрейму бази даних.
14. Класифікуйте фрейми управління та їх компоненти.
15. Поясніть принцип логічної обробки сегментних елементів синтезованої клавіатури.
16. Охарактеризуйте структуру мікро-ЕОМ та інтерфейсів мобільного адаптера формування структуризованих даних.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 8 РОЗДІЛУ.

1. А.С. 1080183 СССР, МКИ G 08 C 19/28 Устройство для передачи информации / Я.Н. Николайчук, Г.Я. Ширмовский (СССР). – Опубл. 15.03.84, Бюл. №10.
2. А.С. 1438542 СССР, МКИ G 08 C 9/04. Преобразователь перемещения в цифровой код / Л.Б.Петришин, Я.Н.Николайчук (СССР). – Опубл. 15.07.89, Бюл. №26.
3. А.С. 13726221 СССР, МКИ H03 M1/38. Аналого-цифровой преобразователь / Я.Н. Николайчук (СССР). – Опубл. 07.02.88, Бюл. №5.
4. А.С. 1462477 СССР, МКИ H03 M1/38. Аналого-цифровой преобразователь / Я.Н. Николайчук (СССР). - Опубл. 28.02.89, Бюл. №8.
5. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных класах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий – М.: Сов. радио, 1978. – 256 с.
6. Алишов Н.И. Развитые методы взаимодействия ресурсов в распределенных системах / Алишов Н.И. – К.: Сталь, 2009. – 449 с.
7. Апнезет К., Дзун Д., Кьесбю С., Шайбль Г., Циммерман В. Техника беспроводной связи. Беспроводные датчики ближней локации // АББ Ревю. – 2002. – №4. – С. 42-47.
8. Бат М. Спектральный анализ в геофизике / пер. с англ. – М.: Недра, 1980. – 535 с.
9. Боюн В.П. Динамическая теория информации. Основы и приложения – К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2001. – 326 с.
10. Бунин С.Г. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью / С.Г. Бунин, А.П. Войтер – К.: Техніка. – 1989. – 223 с.
11. Бухштаб А.А. Теория чисел / Бухштаб А.А. - М.: Просвещение, 1966. – 384 с.
12. Заставний О.М. Аналіз системних характеристик спецпроцесорів формування вихідних даних аналого-цифрових кодерів / О.М. Заставний // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2005. - Ч.1, Т2, №4. - С. 223-226.
13. Заставний О.М. Методи побудови спецпроцесорів та аналого-цифрових кодерів в базисі Галуа: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.05 "Елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування" / О.М. Заставний. – Тернопіль, 2007 – 24 с.
14. Кондалев А.И. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / Кондалев А.И. и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 280 с.
15. Кондалев А.И. Преобразователи формы информации для малых ЭВМ / Кондалев А.И. и др. – К.: Наук. думка, 1982. – 312 с.
16. Краус М. Сбор данных в управляющих вычислительных системах / Краус М., Кучбах Э., Вошни О.; пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 294 с.
17. Кузьмин И.В. Основы теории информации и кодирования / И.В.Кузьмин, В.А.Кедрус. – К.: Вища школа, 1986. – 238 с.
18. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях / Макс Ж.; пер. с франц. – Т1. – М.: Мир, 1983. – 311 с.

19. Малиновский Б.Н. Основы проектирования управляющих машин промышленного назначения / Малиновский Б.Н. – М.: Машиностроение, 1969. – 344 с.
20. Мартин Дж. Введение в сетевые технологии. Практическое руководство по организации сетей. – СПб.: Лори, 2002. – 659 с.
21. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. – М.: Мир, 1980. – 662 с.
22. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 196с.
23. Николайчук Я., Король Р. Вертикальна інформаційна технологія в базисі Галуа – новий напрямок у розвитку комп'ютерних машин // Львів: CCU'2000, 2000. – С. 31-35.
24. Николайчук Я. Теоретичні основи формування ентропійних моделей на базі кореляційних функцій / Я. Николайчук, А. Сегін, І. Сабадаш // Інформаційні технології і системи. - 2002.- Т.5.- №1-2.- С. 13-21.
25. Николайчук Я.М. Архітектура та системні характеристики розподілених комп'ютерних мереж, оснащених асинхронними автономними сенсорами / Я.М. Николайчук, О.М. Заставний, Н.Д. Круцкевич // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – Івано-Франківськ. – 2006. – №2(10). – С. 65-74.
26. Николайчук Я.М. Коди поля Галуа та їх застосування в перетворювачах форми інформації / Я.М. Николайчук, Я.Б. Кусик // 7-й симпозиум: Проблемы создания преобразователей формы информации: тезисы докладов. - Киев: ИКАН Украины, 1992.
27. Николайчук Я.М. Проблеми розвитку методів стиснення масивів даних на основі рандомізації та теоретико-числового базису Галуа / Я.М. Николайчук, І.А. Пилипенко, Н.Я. Возна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2006. - №2(12). - С. 40-47.
28. Николайчук Я.М. Теоретичні основи побудови спецпроцесорів у базисі Крестенсона / Я.М. Николайчук, О.І. Волинський, С.В. Кулина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т.1, №3. – С. 85-90.
29. Николайчук Я.М. Теоретичні основи та інформаційні технології побудови логіко-статистичної інформаційної моделі (ЛСІМ-4) на основі контролю спектральних характеристик об'єктів управління / Я.М. Николайчук, І.В. Андрушко, І.Р. Пітух // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.- 2006.- №2(12).- С. 110-118.
30. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я.М. - Тернопіль: ТНЕУ, 2008. – 536 с.
31. Николайчук Я.Н. Анализ преобразования базисных функций Радемахера в АЦП полярного типа, используемого в комплексе СКУБ / Я.Н. Николайчук, Л.А. Гнатив // Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – 1974. - №1. – С. 28-33.
32. Николайчук Я.Н. Аналого-цифровой преобразователь: А.С. № 1372621 Опубл. 07.02.88, Бюл. № 5..
33. Николайчук Я.Н. Аналого-цифровой преобразователь: А.С. № 1462477

Опуб. 28.02.89, Бюл. №8.
34. Николайчук Я.Н. Взаимосвязь технико-экономических показателей и принципов построения элементов НВС / Я.Н. Николайчук, Т.М. Орищин, М.М. Николайчук – К., 1989. – 80 с. – Деп. в УкрНИИНТИ, №1328.
35. Николайчук Я.Н. Кодирование файлов многоуровневой диалоговой системы низовых сетей АСУ / Я.Н. Николайчук // Интерактивные системы: V Всесоюзная школа-семинар: материалы. – Кутаиси, 1983. – С. 87-90.
36. Николайчук Я.Н. Метод уплотнения информации, вводимой в ЭВМ / Я.Н. Николайчук, В.П. Божнев // Управляющие системы и машины. – 1977. - №1. – С. 68-74.
37. Николайчук Я.Н. Представление измерительной информации в нормализованной системе исчисления остаточних классов / Я.Н. Николайчук, З.Н. Крикун, В.П. Божнев // Известия ВУЗов "Нефть и газ", 1976. - №6. – С. 63-70.
38. Николайчук Я.Н. Применение методов теории чисел для сжатия измерительной информации в системах телеконтроля процессов бурения / Я.Н. Николайчук, В.П. Божнев, С.Я. Зевелев // Материалы Всесоюзной конференции молодых ученых нефтяных ВУЗов. - М.:МИНХиГП, 1975. – С. 134-138.
39. Николайчук Я.Н. Принципы построения и параметры АЦП на основе кодов поля Галуа / Я.Н. Николайчук, Л.Б. Петришин // Проблемы создания преобразователей формы информации: IV Всесоюзн. симпозиум. – Киев. - ИК АН УССР. – 1988. - С. 16-17.
40. Николайчук Я.Н. Эффективное кодирование суточного рапорта бурового мастера для формализованного ввода в ЭВМ / Я.Н. Николайчук, Г.Я. Ширмовский // Экспресс-информация: Серия "Экономика и управление в нефтяной промышленности". – 1986. - Вып. 7. – С. 29-33.
41. Николайчук Я.Н., Клим Б.В. Формализация процедуры ввода в ЭВМ суточного рапорта бурового мастера / Я.Н. Николайчук, Б.В. Клим // Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. – 1981. - №6. – С. 20-23.
42. Николайчук Я.Н., Петришин Л.Б. Принципы построения и параметры АЦП на основе кодов поля Галуа // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума.-Киев, ИК АН УССР, 1988, С.16-17.
43. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы / Орнатский П.П. – К.: Вища школа, 1987. – 271 с.
44. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Орнатский П.П. – К.: Вища школа, 1983. – 455 с.
45. Палагин А.В. Опыт разработки микропроцессорных распределенных систем реального времени / А.В. Палагин, Я.Н. Николайчук – К.: Знание, 1988. – 19 с.
46. Палагин А.В. Системная интеграция средств компьютерной техники: Моногр. / А.В. Палагин, Ю.С. Яковлєв – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 680 с.

47. Петришин Л.Б. Николайчук Я.Н., Ищеряков С.М., Цифровая обработка сигналов на основе преобразования кодов поля Галуа / Методы и микроэлектронные средства цифровой обработки и преобразования сигналов.– Рига: ИЭВТ АН Латвии. – 1989.– С.130 – 132.
48. Петришин Л.Б. Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації в базисі Галуа: Навч. посібник. – Київ.: ІЗіМН МОУ, 1997. – 237 с.
49. Прокопенко І.Ф. Комп'ютеризація економічного аналізу: навч. посіб. / Прокопенко І.Ф., Ганін В.І., Москаленко В.В. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 340 с.
50. Распределенные системы управления за рубежом // ТС-3: Автоматизированные системы управления, вып. I. – М.: Информ-прибор. – 1988. – 10 с.
51. Романов В.А. Элементная база – основа интеллектуализации средств вычислительной техники / В.А. Романов // Компьютерные средства, сети и системы: Сб. научных трудов. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2002. – №1. – С. 20-26.
52. Сегін А. І. Оцінка впливу старіння інформації на кореляційні моделі багатоканальних об'єктів управління // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. № 36. Т.6 – Івано-Франківськ.: ІФДТУНГ, 1999. – С. 80-88.
53. Торгашев В.А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ / Торгашев В.А. - М.: Советское радио, 1970. – 118 с.
54. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами / Под ред. Т. Харрисона. – Т.1. – М.: Мир, 1975. – 230 с.
55. Федорков Б. Г., Телец В. А.Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. — М,: Энергоатомиздат, 1990. — 320 с: ил.
56. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления / Фритч В.; пер. с нем. – М.: Мир, 1984. – 464 с.
57. Червяков Н.И. Нейрокомпьютеры в остаточных классах: учеб. пос. для вузов / Червяков Н.И., Сахнюк П.А., Шапошников А.В., Макоха А.Н.; под ред. А.И. Галушкина. - М.: Радиотехника, 2003. – Кн. 11. - 272 с. – (Научная серия «Нейрокомпьютеры и их применение).
58. Яцків Н.Г. Дослідження системних характеристик методів формування даних в різних теоретико-числових базисах / Н.Г. Яцків // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Зб. наук. праць. – Хмельницький: ТУП. – 2002. – Т.2, №9. Брюхович Е.И. Экономическая стратегия разработки вычислительных систем: место и роль счислений / Е.И. Брюхович // Управляющие системы и машины. - 1990. – №2. – С. 3-18.
59. Nykolaychuk Y. The theory of designing specialized computer systems on the basis of analogy objects of power system / Y.Nykolaychuk, A.Segin, N.Krutckevych, N.Vozna // Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці: VII міжнар. наук.-техн. конф. CADSM'2003: матеріали. – Львів-Славсько, 2003.- С 241-243.

60. Vozna N. Problems of jurisprudence and information technology of designing of computer networks on the basis of the laws of an economic feasibility / N.Vozna, L.Shandrovska-Nykolaychuk // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії: міжнар. конф. TCSET'2004: матеріали - Львів-Славсько, 2004. – С.416.
61. www.abb.com – офіційний сайт компанії ABB.
62. www.analog.com – офіційний сайт фірми Analog Device.
63. www.burrbrown.com – офіційний сайт компанії Burr Brown.
64. www.fairchildsemi.com – офіційний сайт компанії Fairchild Semiconductor.
65. www.gran-jansen.com - офіційний сайт компанії Gran Jansen.
66. www.linear.com – офіційний сайт компанії Lineal Technologies.
67. www.onsemi.com – офіційний сайт компанії ON Semiconductor.
68. www.rfmd.com – офіційний сайт компанії RFMicroDevices,Inc.
69. www.st.com – офіційний сайт компанії ST Microelectronic.
70. www.xbow.com – офіційний сайт компанії Crossbow.
71. www.zilog.com - офіційний сайт компанії Zilog.

РОЗДІЛ 9

МАТРИЧНІ МОДЕЛІ РУХУ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

9.1. Атрибути матричної моделі.

Матриці інциденцій є теоретичною та методологічною основою для побудови матричних моделей руху даних. При цьому ММРД об'єднують характеристики матриці інциденцій та графових дерев і більш конкретизовані, оскільки доповнюються символами атрибутів, які відображають поняття джерела інформації, проміжного пункту цифрової обробки даних та приймача інформації.

Матрична модель руху даних (рис.9.1) визначається умовами та графом взаємодії об'єктів $O_1,...,O_4$ та документами $D_1,...,D_4$.

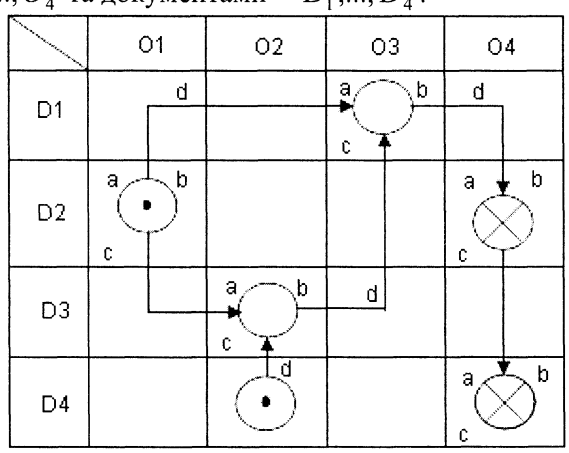


Рис.9.1. Матрична модель руху даних.

При цьому для кожного SO з координатами $D_i \cdot O_j$ повинні виконуватися умови несуперечливості:

- джерело інформації має не менше одного виходу і жодного входу ;
- пункт обробки даних має не менше одного входу і одного виходу ;
- залежний пункт затвердження даних має не менше одного входу і тільки один вихід ;
- незалежний пункт затвердження даних має не менше одного входу і жодного виходу (табл.9.1).

Для формальної побудови сімейства моделей руху даних на основі відомої двомірної ММ кожний елемент двомірної ММ описується четвіркою параметрів: a – початок виконання операції; b – тривалість виконання операції; c – тип операції; d –час передавання даних у каналі зв'язку між об'єктами.

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 у вигляді :

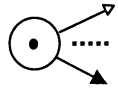
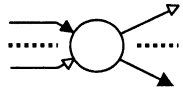
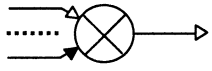
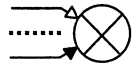
$$K_d = \frac{R}{W}, \qquad (9.1)$$

де R – число зчитувань або запитів,

W –число записів або оновлень даних.

Таблиця 9.1

Символіка атрибутів ММРД

Символи атрибутів ММРД	Зміст атрибутів ММРД
	інформаційний потік
	матеріальний потік
	джерело
	пункт обробки ІМП (інформаційно–матеріальний потік)
	залежний пункт затвердження
	залежний пункт затвердження
	незалежний пункт затвердження і архівізації даних

Дана оцінка дозволила розвинути Дж. Мартіном основи теорії проектування корпоративних комп'ютерних мереж і методологію побудови різноманітних проекцій 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 та відмов.

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 (9.1) можна визначити коефіцієнт ефективності руху даних, який враховує ресурси руху даних в конкретному вузлі матричної моделі

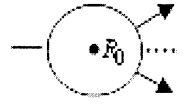
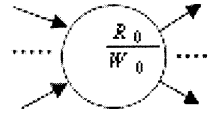
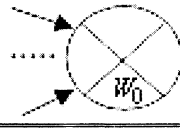
$$K_{ed} = \frac{R_i \cdot W_0}{R_0 \cdot W_i}, \qquad (9.2)$$

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

У зв'язку з введенням описаної оцінки в характеристики двомірної матричної моделі необхідно ввести наступні позначення (табл. 9.2).

Таблиця 9.2

Позначення характеристик двомірної ММ

Тип вузла матричної моделі	Символ	Умова несуперечливості
Джерело даних		$R_0 > \sum_{i=1}^{n} R_i$
Пункт обробки даних		$R_0 > \sum_{i=1}^{n} R_i \quad W_0 > \sum_{j=1}^{m} R_j$
Залежний приймач даних		$W_0 > \sum_{j=1}^{m} R_j$
Незалежний приймач даних		$W_0 > \sum_{j=1}^{m} R_j$

Запропоноване розширення атрибутів ММРД дозволяє розробити інженерну методику та інформаційну технологію проектування РКС на основі реальних топологій промислових підприємств.

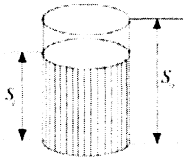
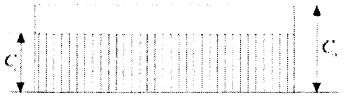
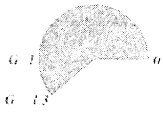
9.2. Тримірні матричні моделі.

В роботі [7] представлена інформаційна технологія побудови та теоретичне обгрунтування параметрів тримірної матричної моделі руху даних (ТММРД), яка базується на наступних принципах формалізації (табл.9.3).

Символіка тримірних матричних моделей руху даних, яка враховує коефіцієнт використання ресурсів елементів ММ, показана в табл.9.3.

Введена оцінка коефіцієнта ефективності руху даних (9.2) та символіка матричних моделей, яка представлена в табл.9.3, дозволяє розрахувати характеристики швидкості створення повідомлень у вузлах матричної моделі і шляхом їх представлення в тримірному просторі перейти до побудови тримірних матричних моделей.

Таблиця 9.3

Символ	Пояснення
	S_0 – максимальне число записів S_i – реальне число записів
	C_0 – швидкість створення та передавання даних C_i – проектна швидкість створення та передавання даних
	G=1 – завантаженість 100%
	G=0.8 завантаженість 80%
	G=1.3 0.3 перевантаження по ресурсах читань (утворення черги)

На рисунку 9.2 показаний приклад тримірної проекції двомірної матричної моделі.

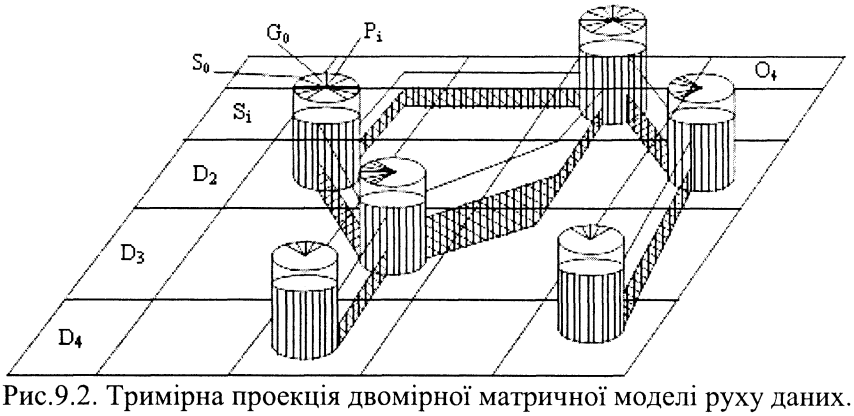
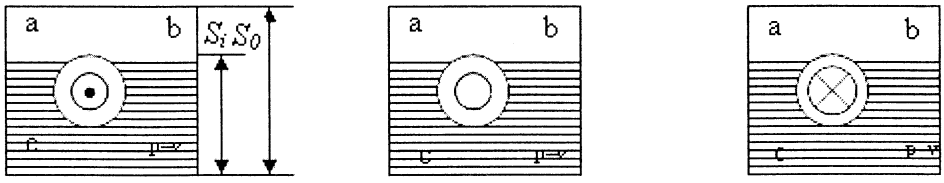


Рис.9.2. Тримірна проекція двомірної матричної моделі руху даних.

ТММРД є ефективним способом представлення руху даних в КС, враховує ресурси та ступінь використання ресурсів КМ. Однак ТММРД не в повній мірі відображає архітектуру та параметри руху даних в КМ, оскільки представлена досить громіздко в тримірному просторі і не дозволяє чітко представити часові атрибути матричної моделі.

9.3. Модифіковані двомірні матричні моделі.

Досвід розробки та використання ТММРД дозволяє представити її формальні параметри в двомірному варіанті ММ шляхом додаткового інформаційного насичення елементу ММ. На рис.9.3 показаний приклад інформаційного насичення елементу ДММ параметрами ТММРД.



а) б) с)

Рис.9.3. Інформаційне насичення елементу ДММ параметрами ТММРД.

На основі введених символів формуємо модифіковану двомірну ММ, яка враховує формальні параметри ТММРД (рис.9.4).

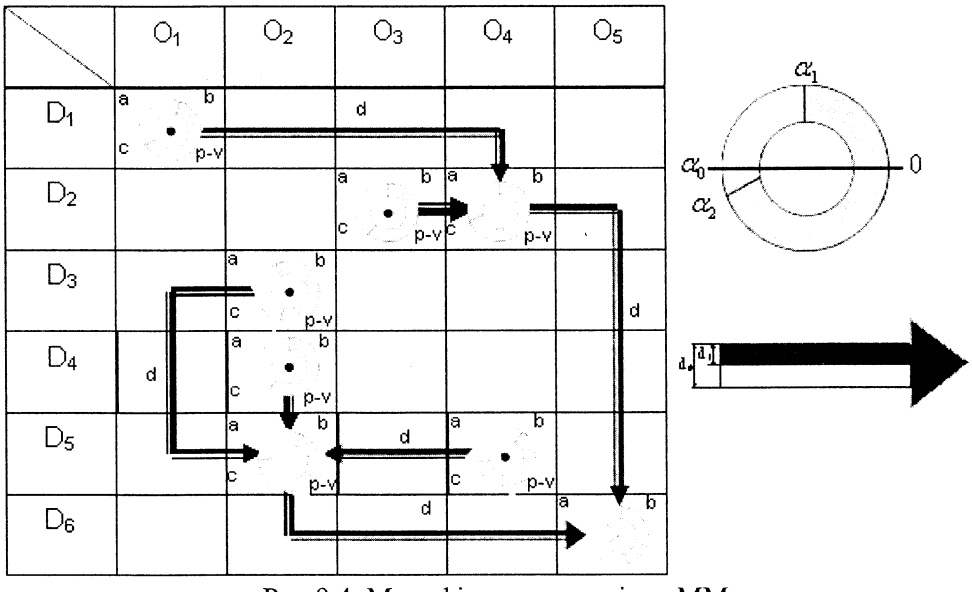


Рис.9.4. Модифікована двомірна ММ.

Запропонована система атрибутів та інформаційна технологія побудови модифікованих матричних моделей, приклад яких показаний на рис.9.4, де $\alpha_0 = 180^o$ – стовідсоткове використання ресурсів; $0 \le \alpha_1 \le 180^o$ – ступінь

використання ресурсів зчитування даних; $180^o \le \alpha_2 \le 360^o$ – ступінь використання ресурсів записів; d_0, d_i – відповідно ресурси та ступінь використання швидкості передавання даних в каналі зв'язку.

Проведений аналіз інформаційних технологій побудови інформаційних моделей руху даних показує, що технологію проектування та аналіз КМ промислового підприємства в кожному конкретному випадку можна однозначно формалізувати на основі символіки ДММРД.

В той же час дана модель не відображає ресурсів КМ при виконанні операцій в кожному елементі ММ. Тому розроблена технологія побудови ТММРД, яка враховує наявність ресурсів в кожному елементі ММ, а також ступінь їх використання шляхом введення спеціальної символіки і трьохмірного зображення руху даних, компенсує недоліки ДММРД. Досвід проектування КМ та побудови ТММРД продемонстрував деяку громіздкість даного представлення руху даних у вигляді ТММРД. Розроблена технологія представлення ресурсів та їх ступені використання у вузлах ММ, шляхом модифікації ДММ привела до спрощення моделі представлення формалізованого руху даних без втрати інформативності.

Очевидно, що в окремих випадках можуть використовуватись всі типи описаних інформаційних моделей руху даних, на основі яких однозначно у формалізованій формі можуть бути побудовані інші проекції моделей руху даних, які входять в їх базове сімейство.

9.4. Аналіз топології промислового об'єкта управління.

На рис. 9.5 представлений приклад топологічної схеми збору та цифрової обробки даних в низовій комп'ютерній мережі обліку витрат енергоносіїв.

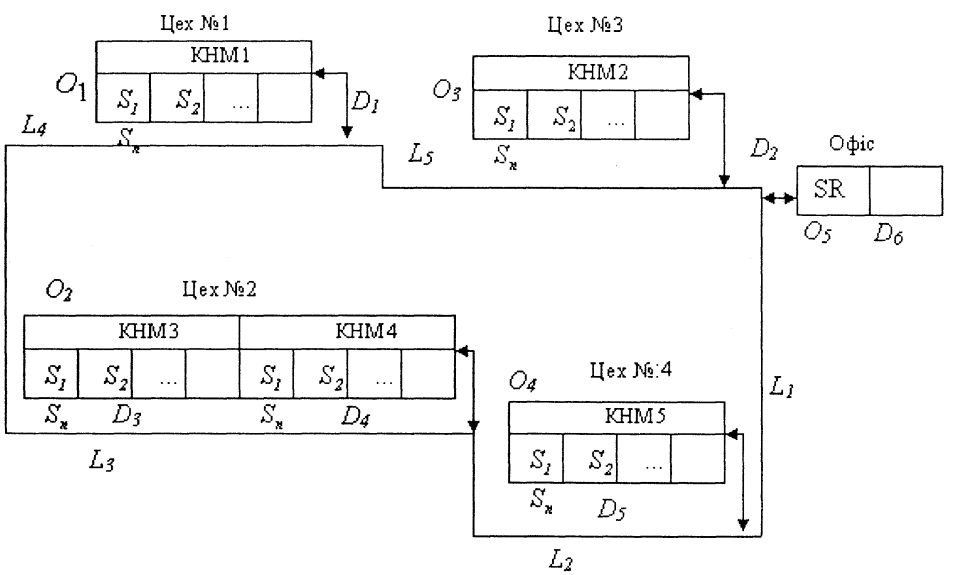


Рис.9.5. Топологія комп'ютерної мережі на підприємстві:
SR–сервер, КНМ–контролер низової мережі, S_1 – сенсори , L_1 – довжини комунікаційних ліній мережі між окремими цехами.

З рис.9.5 видно, що модель руху даних повинна мати розмірність 5×6. Тобто цехи і офіс визначають об'єкти ММ $O_1, O_2 \dots O_5$. У цехах підприємства та офісі виникають відповідні класи даних, які формуються цеховими КНМ $D_1, D_2 \dots D_6$. Таким чином, представлена топологія КС може бути описана двомірною матричною моделлю (рис.9.6).

Слід зауважити, що на графі ММ точну прив'язку до об'єктів та даних мають джерела інформації та пункти затвердження і архівізації даних, а пункти обробки даних мають точну прив'язку до об'єктів.

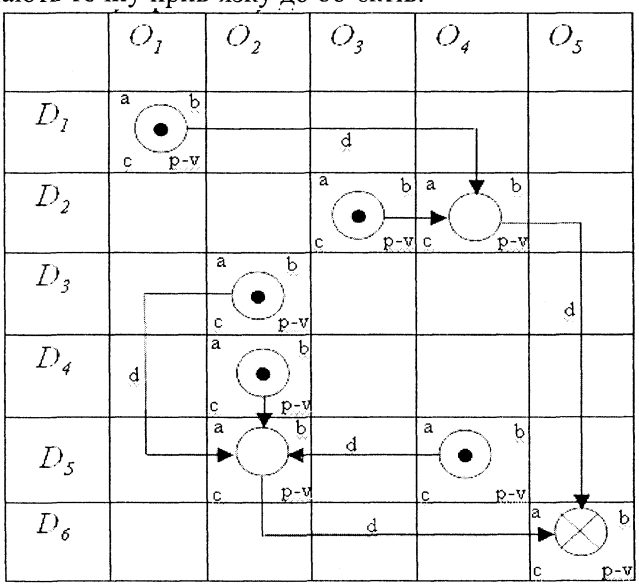


Рис.9.6. Двомірна ММ руху даних на підприємстві.

На основі формальних параметрів двомірної ММ будується наступна сукупність моделей руху даних:

- модель граф-розгалужене дерево;
- параметрична часова модель;
- структурно–часова модель;
- мережевий графік;
- суміщений часовий граф;
- блок–схема алгоритму обробки та контролю руху даних;
- граф-алгоритмічна модель.

Крім того, формалізуються епюри собівартості циклів руху даних (ЕРД): сигнальна прибутково-затратна ЕРД, диференціальна (ΔЕРД), інтегральна ($\int \Delta ЕРД$), сумарна інтегральна ($\sum \int$ЕРД), глобальна GЕРД (G).

В той же час, незважаючи на досить детальне відображення руху даних в КМ у вигляді проекцій двомірних ММ на основі сімейства перечислених моделей, двомірна ММ не відображає наявні обчислювальні ресурси та степінь їх використання, що охоплюється тримірними ММ.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 9 РОЗДІЛУ.

1. Мартин Дж. Вычислительные сети и распределенная обработка данных.– М.:Финансы и статистика, 1985.–256с.
2. Могилев А.В., Листрова Л.В. Информация и информационные процессы. Социальная информатика - М.: BHV, 2006. – 240 с.
3. 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.
4. Пітух І., Николайчук Я., Возна Н. Принципи побудови комп'ютерних мереж з глибоким розпаралелюванням інформаційних потоків на основі матричних моделей руху даних // Вісник НУ „Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2004.- № 508. - С. 263–268.
5. Пітух І.Р. Системні характеристики формальних об'єктів моделей руху даних в комп'ютерних мережах // Тези доповідей III Міжнар. конф. „PHOTONICS–ODS 2005". – Вінниця. – 2005. – С. 60–61.
6. Советов Б.Я. Моделирование систем. Практикум: Учебное пособие .- М.- Высш. шк., 2005.- 295 с.
7. 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 // Proc. of International Conf. "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunicatioons and Computer Science". (TCSET'2004). Lviv-Slavske (Ukraine).-2004.- P.417 – 419.
8. Ralph D., Graham P. MMS: Technologies, Usage and Business Models.: Пер. с англ.. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 986 с.

РОЗДІЛ 10

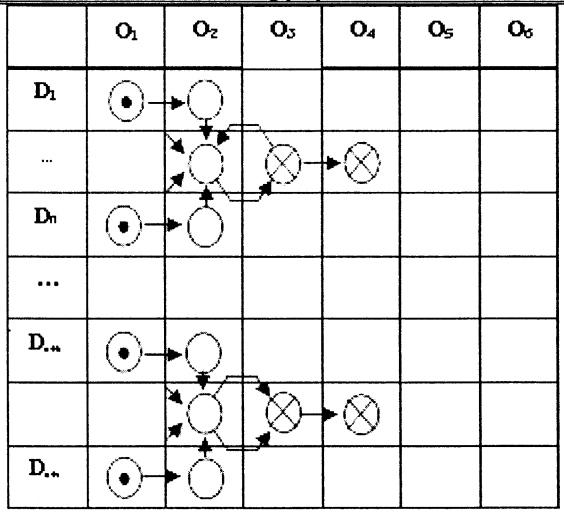
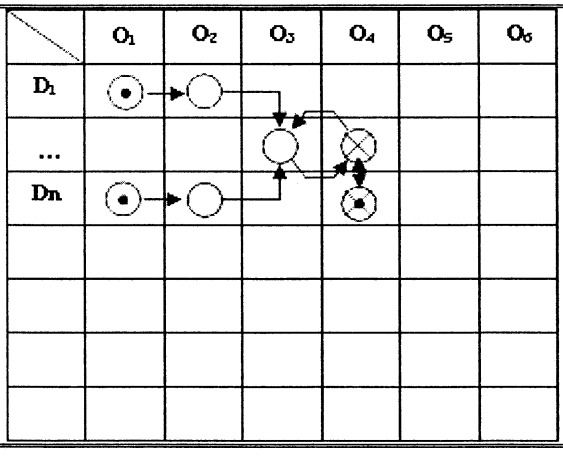
ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ АРХІТЕКТУР СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

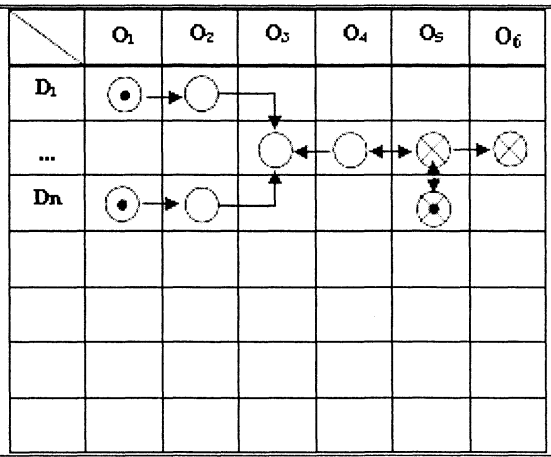
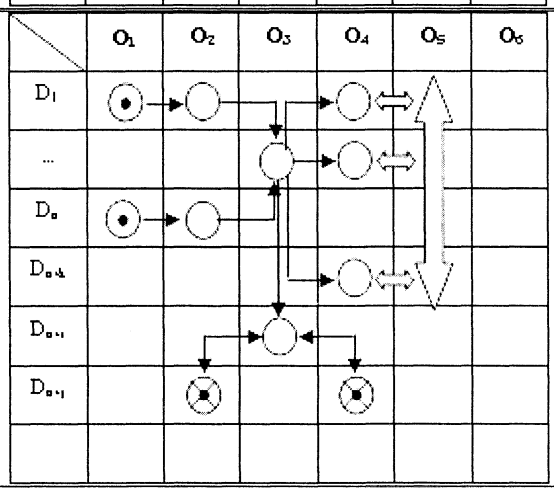
10.1. Формалізація моделей СКС концентрованого опрацювання інформаційних потоків.

Формалізацію архітектур інформаційних мережевих систем на першому етапі доцільно виконати на основі технології побудови та символіки двомірних матричних моделей.

У табл.10.1 подані формалізовані моделі архітектур систем концентрованого опрацювання даних.

Таблиця 10.1

Архітектура КС	Модель руху даних
1.1 Монопольна	
1.2 Розділеного часу	

1.3 Мультипрограмна	
1.4 Мультипроцесорна	

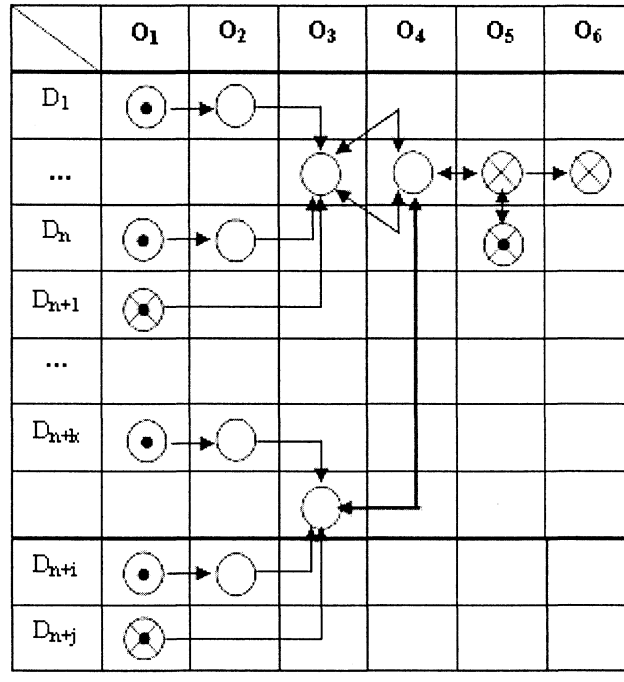
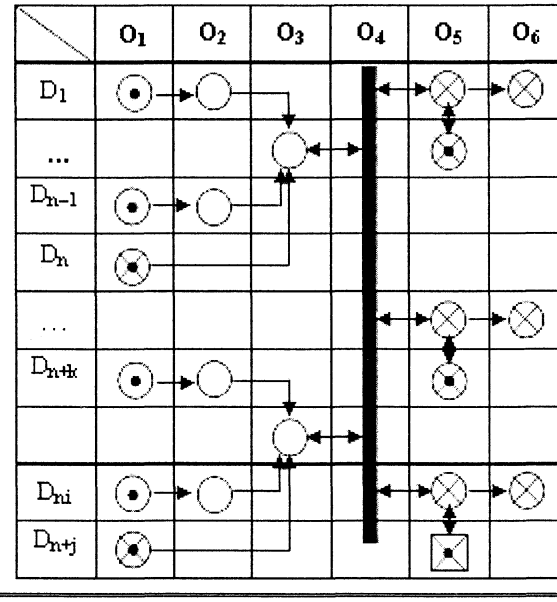
З табл. 10.1 видно, що СКС концентрованого опрацювання інформаційних потоків для монопольної та архітектури розділеного часу містять ієрархічно-орієнтовані структури руху даних, які формуються джерелами інформації з координатами Di.O1. Дані, що формуються вказаними джерелами інформації поступають на пункти опрацювання інформації з координатами Di.O2. Отримані файли даних в названих пунктах поступають на проміжні пункти (Di.O3), вихідні дані з яких у вигляді сформованих файлів поступають у вигляді документів з координатами Di.O4, де відбувається реєстрація, архівація, затвердження та використання даних.

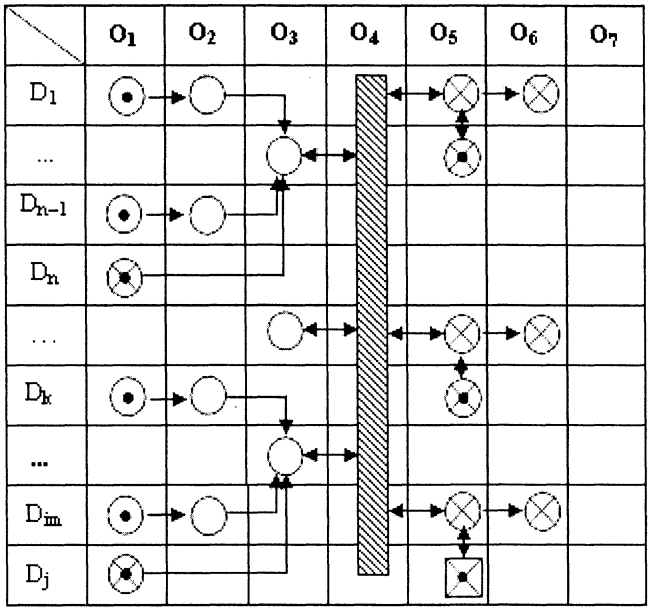
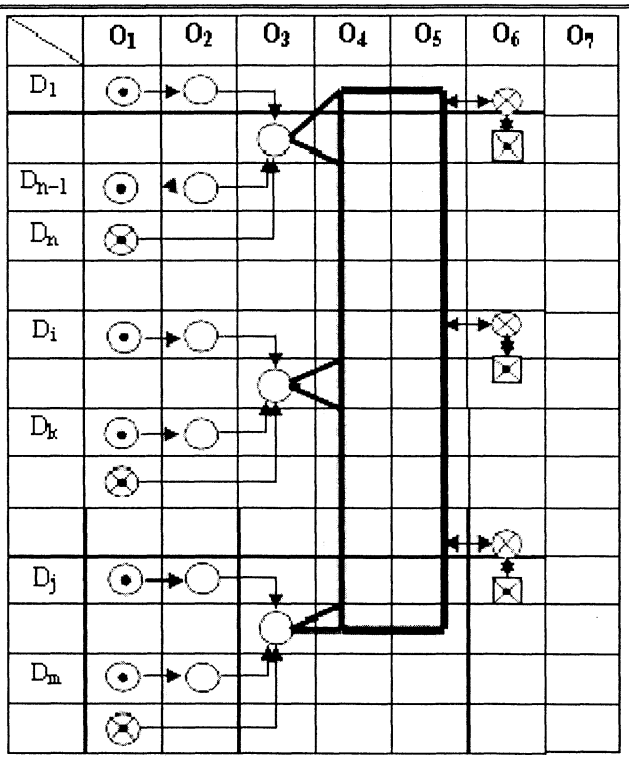
Мультипрограмні та мультипроцесорні архітектури відрізняються наявністю кількох рівнів опрацювання даних в пунктах з координатами Di.O2, Di.O3, Di.O4, які можуть виконуватися відповідно в координатах Di.O4 одним потужним процесором або багатьма процесорами різної потужності, які з'єднані між собою паралельною інформаційною шиною Di.O5, завантаження яких координується операторами обчислювального центру D_{n+1}.O2 та D_{n+1}.O4, які формують "фонові задачі" з найменшим рівнем пріоритету, а також супервізором з координатами D_{n+1}.O3.

10.2. Формалізація моделей СКС з одноріневим мережевим опрацюванням інформаційних потоків.

Формалізація моделей СКС з одноріневим мережевим опрацюванням інформаційних потоків показана у табл. 10.2.

Таблиця 10.2

Архітектура СКС	Модель руху даних
2.1.1 Магістральна	
2.1.2 Кільцева	

2.1.3 Зіркова	
2.1.4 Систолічна	

Особливістю моделі магістральної архітектури СКС є наявність інформаційної магістралі об'єкт O_4, яка об'єднує процесори магістральних станцій

O_3, в склад яких входить система концентрованого опрацювання даних, з системним сервером O_4. Модель кільцевої СКС включає кільцеву магістраль O_4, до якої підключені процесори станцій і системний сервер O_3, а також багато пунктів реєстрації та колективного використання даних.

Модель зіркової архітектури СКС містить мережеві станції O_3, а також системний сервер D_j.O4, які радіальними інформаційними каналами зв'язку підключений до кожної мережевої станції O_3 та багатьох пунктів реєстрації та використання даних.

Модель систолічної архітектури СКС містить систему інформаційних зв'язків типу "кожен з кожним", в яку включені мережеві станції O_3 та пункти затвердження та архівації даних, де розміщений адміністратор розподіленої бази даних.

10.3. Формалізація моделей СКС з багаторівневими архітектурами.

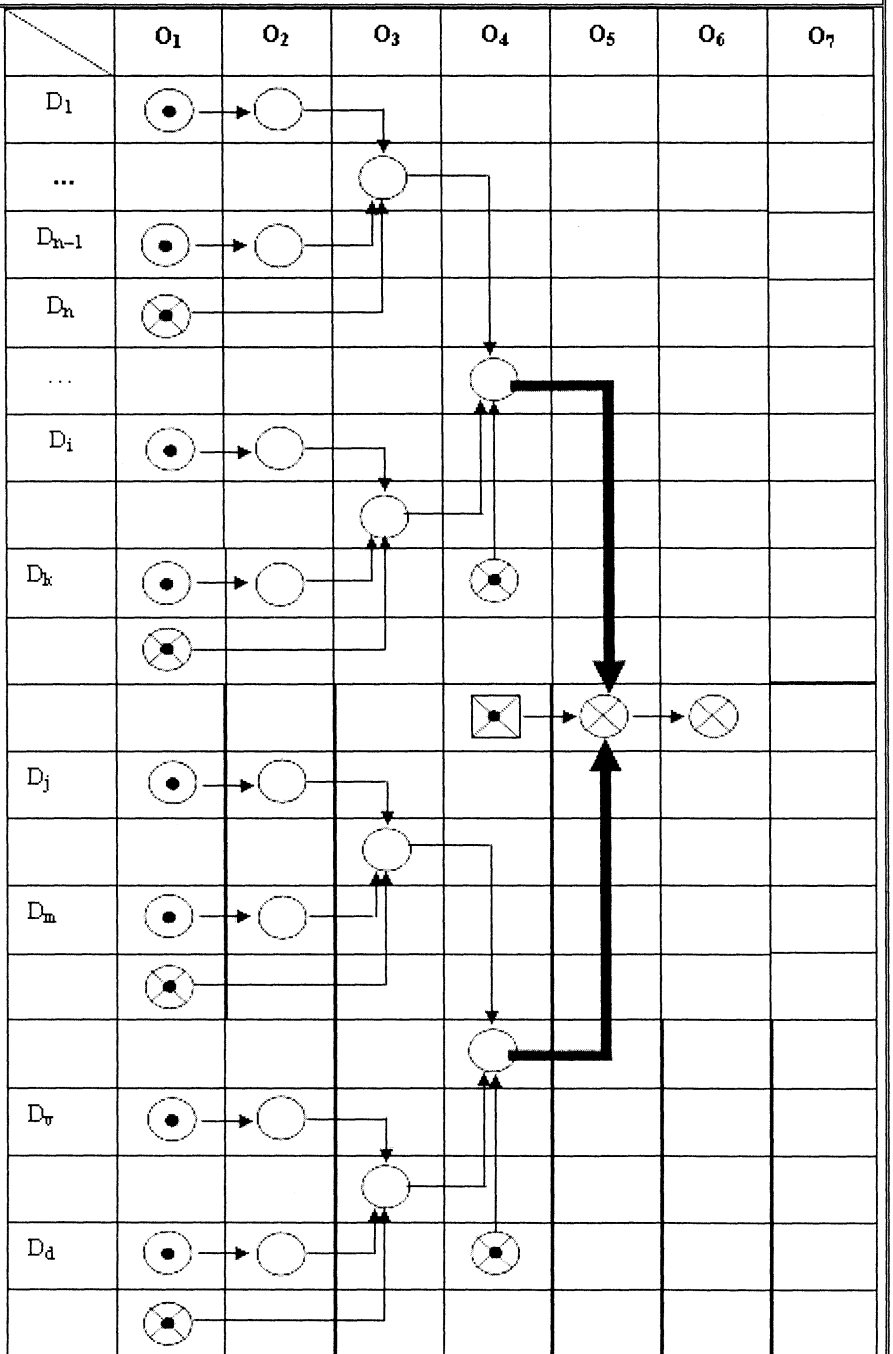
У табл. 10.3 подана формалізована модель багаторівневої ієрархічної архітектури розподілених СКС.

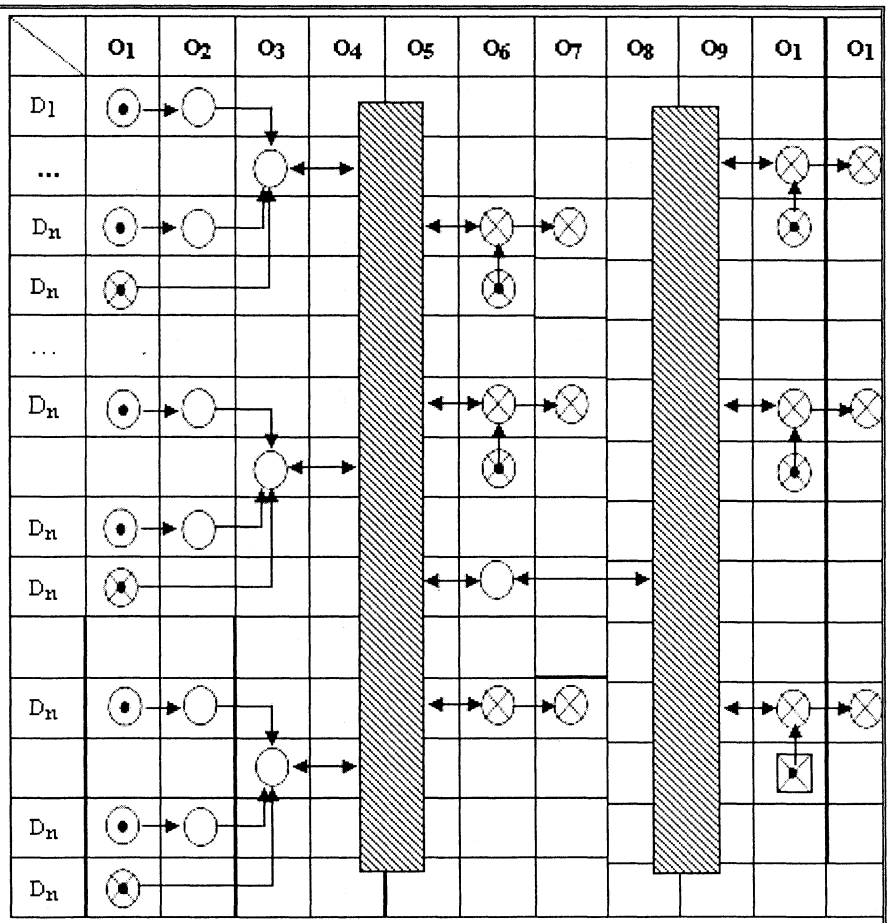
Особливістю багаторівневої ієрархічної архітектури є наявність мережевих станцій на різних рівнях і системного сервера з адміністратором бази даних на верхньому рівні O_5, O_6.

Модель багаторівневої магістральної архітектури СКС базується на основі об'єднання з допомогою процесора - шлюза O_6 різних магістральних рівнів O_4, O_8, до яких підключаються мережеві станції O_3 зі своєю архітектурою концентрованого опрацювання інформації, а також на різних рівнях існують пункти реєстрації, архівації та використання даних, при чому на верхньому рівні розміщений системний адміністратор бази даних O_{10}, O_{11}.

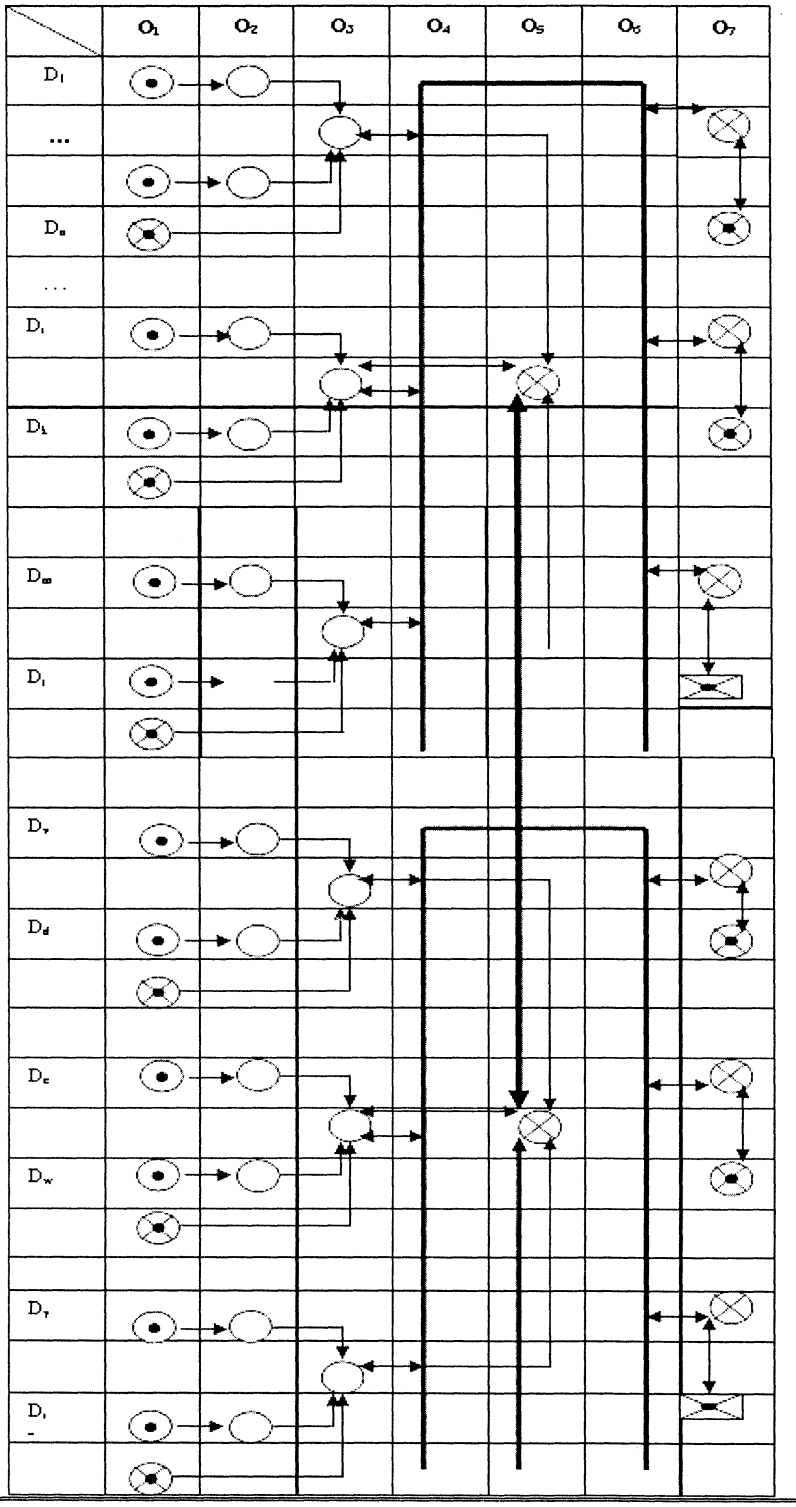
Модель зірково-магістральної архітектури СКС на кожному рівні одночасно має мережеву магістраль O_4, O_5, O_6 і системні сервери O_5, які радіальними інформаційними зв'язками об'єднані зі станціями свого рівня, а також з'єднані між собою високошвидкісною міжрівневою магістраллю O_5. На кожному рівні до мережевої магістралі може бути під'єднано багато архіваторів та пунктів використання даних, а також адміністратори баз даних.

Таблиця 10.3

Архітектура СКС	Модель руху даних
2.2.1. Ієрархічна	

2.2.2. Магістральна	

2.2.3. Зірково-магістральна



З приведених таблиць формалізованих моделей архітектур КС видно, що їх представлення в двомірних координатах вузлів матричної моделі – $D_i : O_j$ дозволяє спростити формалізацію опису функції кожного вузла. На основі ММ визначають характеристики ліній зв'язку та інформаційних потоків між окремими вузлами. Такий підхід дозволяє спростити та конкретизувати побудову складних ММ, в тому числі, тривимірних для реальних підприємств та адміністративних установ. При цьому ефективно може бути використана технологія побудови інших моделей руху даних, які характеризують часові характеристики формування, передавання, обробки та архівації даних, а також конкретизувати типи функцій у вузлах ММ згідно стандартної символіки.

Розроблена технологія побудови економічних епюр та стратегій проектування і впровадження комп'ютерних систем на основі приведених формалізованих моделей дозволяє оптимізувати процеси проектування та відбір оптимальних проектів.

Запропонована формалізація архітектур інформаційних систем на основі матричних моделей руху даних дозволяє системно представити та формалізувати процеси формування, передавання, цифрової обробки, затвердження та архівації даних в розподілених комп'ютерних системах. Дана формалізація дозволяє ефективно використати апарат побудови сімейства інших моделей руху даних на основі характеристик двомірної матричної моделі, а також використати технологію побудови трьохмірних матричних моделей складних об'єктів управління.

Аналіз формалізованих моделей архітектур існуючих КС дозволяє виділити класи мереж, які забезпечують високий паралелізм формування та цифрової обробки даних, особливо перспективних при побудові систем реального часу.

При цьому очевидні переваги по надійності, можливості глибокого розпаралелення обробки даних та мінімізації собівартості руху даних забезпечують багаторівневі провідні та безпровідні зірково–магістральні архітектури.

Контрольні запитання і завдання.

1. Які особливості формалізованої моделі монопольної архітектури СКС?
2. Які функцій супервізора в формалізованій моделі мультипроцесорної архітектури СКС?
3. Які компоненти входять в склад мережевої станції формалізованої моделі магістральної архітектури СКС?
4. Назвіть особливості формалізованої моделі кільцевої архітектури СКС.
5. Поясніть структуру каналів зв'язку формалізованої моделі зіркової архітектури СКС.
6. Поясніть поняття інформаційної системи зв'язків "кожен з кожним" формалізованої моделі систолічної архітектури СКС?
7. Які компоненти містить формалізована модель руху даних ієрархічної СКС?
8. Які функції виконує сервер – шлюз у формалізованій моделі багаторівневої магістральної СКС?
9. Які інформаційні канали включає формалізована модель зірково-магістральної архітектури СКС?

РОЗДІЛ 11

ПОХІДНІ МОДЕЛІ РУХУ ДАНИХ СКС

11.1. Розробка похідних моделей на основі матричних моделей руху даних.

В основі побудови матричної моделі покладений двовимірний граф, приклад якого поданий на рис.11.1.

Матрична модель утворює мережу направлених зв'язків між джерелами інформації (ДІ), місцями обробки і приймачами даних, відображає маршрути документопотоків, що передаються по каналах зв'язку згідно топології інформаційної системи реальних промислових об'єктів, системи передачі даних або локальної комп'ютерної мережі.

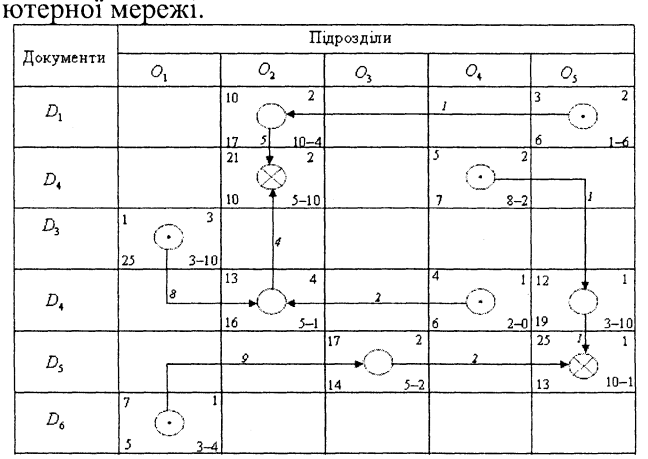


Рис.11.1. Матрична модель руху даних РКС.

Формалізацію матричної моделі проводять наступним чином:

$$D_iO_j \cdot X \cdot a,b,c,p-v \quad i \in \overline{1,n} \ , j \in \overline{1,m}, \quad D_iO_j : DjOi,$$

$D_3O_1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 3-10;$

$D_6O_2 \cdot 1 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 3-4;$

$D_1O_2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 10-4;$

$D_2O_2 \cdot 3 \cdot 21 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 5-10;$

$D_4O_2 \cdot 2 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 5-1;$

$D_5O_3 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 2 \cdot 14 \cdot 5-2;$

$D_2O_4 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 7 \cdot 8-2;$

$D_4O_4 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 2-0;$

$D_1O_5 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 1-6;$

$D_4O_5 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 19 \cdot 3-10;$

$D_5O_5 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 1 \cdot 13 \cdot 10-1;$

$D_3O_1 : D_4O_2$

$D_6O_1 : D_5O_3$

$D_1O_2 : D_2O_2$

$D_4O_2 : D_2O_2$

$D_5O_3 : D_5O_5$,

$D_2O_4 : D_4O_5$

$D_4O_4 : D_4O_2$

$D_1O_5 : D_1O_2$

$D_4O_5 : D_5O_5$

де X=1, 2, 3 відповідно ідентифікатор джерела, пункту обробки та приймача інформації.

ММ є базою для побудови всієї сукупності інформаційних моделей ОУ та МРД КС складних ДІ.

11.1.1. Граф - розгалужене дерево.

Побудова моделі типу граф – розгалужене дерево реалізує наявну мережеву структуру ММ у відповідний набір ієрархічних моделей з приймачем в якості кореня. При цьому досягається можливість просторового подання необхідних структур даної моделі, представлення всіх джерел та відображення шляхів руху даних, установлених на рівні конкретного приймача.

Формалізація моделі граф – розгалужене дерево:

$$\left.\begin{array}{l} D_3O_1 : D_4O_2 : D_2O_2 \\ D_4O_4 : D_4O_2 : D_2O_2 \\ D_1O_5 : D_1O_2 : D_2O_2 \end{array}\right\} \in D_2O_2 \cdot 3;$$

$$\left.\begin{array}{l} D_6O_1 : D_5O_3 : D_5O_5 \\ D_2O_4 : D_4O_5 : D_5O_5 \end{array}\right\} \in D_5O_5 \cdot 3.$$

Приклад такої моделі, побудованої на базі ММ (рис.11.1), поданий на рис.11.2.

Рис.11.2. Модель "граф–розгалужене дерево".

З рис.11.2. видно, що методологічно модель типу "граф– розгалужене дерево " будується розширенням графа вліво і вниз.

11.1.2. Часові інформаційні моделі.

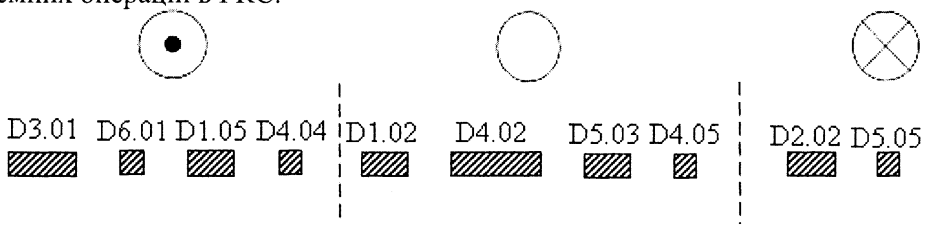
Виділяють наступні часові інформаційні моделі:

- параметрична часова модель;
- структурно–часова модель;
- мережевий графік руху даних;
- суміщений часовий граф виконання системних функцій.

11.1.2.1. Параметрична часова модель.

Параметрична часова модель (рис.11.3) структурно показує необхідний час виконання системних операцій, згрупованих по ознаках джерел, пунктів обробки та приймачів інформації. Розглянута модель дозволяє оцінити і розрахувати необхідні

часові, апаратурні або людино–машинні ресурси для реалізації конкретних системних операцій в РКС.



Масштаб: ▨ – 1 доба.

Рис.11.3. Параметрична часова модель.

Формалізація параметричної часової моделі має наступний вигляд:
Таблиця ідентифікаторів активного вузла ММРД:

$$D_3O_1 \cdot 1 \cdot b_{31};\quad D_6O_1 \cdot 1 \cdot b_{61};\quad D_1O_2 \cdot 2 \cdot b_{21};\quad D_2O_2 \cdot 3 \cdot b_{22};\quad D_4O_2 \cdot 2 \cdot b_{42};$$

$$D_5O_3 \cdot 2 \cdot b_{53};\quad D_2O_4 \cdot 1 \cdot b_{24};\quad D_4O_4 \cdot 1 \cdot b_{44};\quad D_1O_5 \cdot 1 \cdot b_{15};\quad D_4O_5 \cdot 2 \cdot b_{45};\quad D_5O_5 \cdot 3 \cdot b_{55}.$$

Впорядкована таблиця активних атрибутів ММРД з ознакою тривалості виконання операції b_{ij} :

$$D_3O_1 \cdot 1 \cdot b_{31};\quad D_6O_1 \cdot 1 \cdot b_{61};\quad D_2O_4 \cdot 1 \cdot b_{24};\quad D_4O_4 \cdot 1 \cdot b_{44};\quad D_1O_5 \cdot 1 \cdot b_{15}$$

$$D_1O_2 \cdot 2 \cdot b_{12};\quad D_4O_2 \cdot 2 \cdot b_{42};\quad D_5O_3 \cdot 2 \cdot b_{53};\quad D_4O_5 \cdot 2 \cdot b_{45};$$

$$D_2O_2 \cdot 3 \cdot b_{22};\quad D_5O_5 \cdot 3 \cdot b_{55}.$$

11.1.2.2. Структурно–часова модель.

Структурно–часова модель (рис.11.4) також визначає групування системних операцій по джерелах, пунктах обробки та приймачах, з прив'язкою по горизонталі до початку виконання системних процедур і зберіганням структури руху даних, а по вертикалі – з прив'язкою до конкретних джерел і приймачів даних. Дана модель відображає часову послідовність (причинність) системних процедур і дозволяє на стадії проектування або модернізації розкрити часові неузгодження руху даних і узгодити ресурси мережі з структурою руху даних.

Формалізація параметрів структурно–часової моделі має вигляд:

$$D_1O_5 \cdot 1 : D_2O_2 \cdot 2 \wedge (D_3O_1 \cdot 1 \wedge D_4O_4 \cdot 1 : D_4O_2 \cdot 2) : D_2O_2 \cdot 3;$$
$$(D_2O_4 \cdot 1 : D_4O_5 \cdot 2 \wedge D_6O_1 \cdot 1 : D_5O_3 \cdot 2) : D_5O_5 \cdot 3;$$

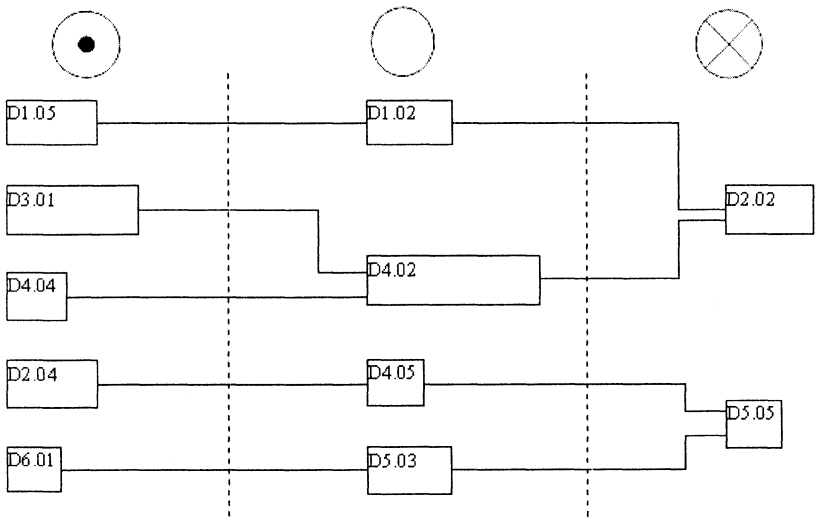


Рис.11.4. Структурно–часова модель

11.1.2.3. Модель "мережевий графік".

Модель типу "мережевий графік" (рис.11.5.) будується по типовій методиці побудови мережевих графіків і мереж. В даній моделі з часових параметрів враховується тільки час початку виконання системної операції (a).

Формалізація моделі мережевий графік передбачає формування:

Матриця ідентифікаторів активних вузлів початку виконання операції (a_{ij}):

$$\begin{array}{ll} D_3O_1 \cdot 1 \cdot a_{31}; & D_5O_3 \cdot 2 \cdot a_{53} \\ D_6O_1 \cdot 1 \cdot a_{61}; & D_2O_4 \cdot 1 \cdot a_{24} \\ D_1O_2 \cdot 2 \cdot a_{21}; & D_4O_4 \cdot 1 \cdot a_{44} \cdot \\ D_2O_2 \cdot 3 \cdot a_{22}; & D_1O_5 \cdot 1 \cdot a_{15} \\ D_4O_2 \cdot 2 \cdot a_{42}; & D_4O_5 \cdot 2 \cdot a_{45} \\ & D_5O_5 \cdot 3 \cdot a_{55} \end{array}$$

Впорядкована таблиця активних атрибутів з ознакою a_{ij} :

$$\begin{array}{ll} D_3O_1 \cdot 1 \cdot a_{31}; & D_1O_2 \cdot 2 \cdot a_{12} \\ D_6O_1 \cdot 1 \cdot a_{61}; & D_4O_2 \cdot 2 \cdot a_{42} \\ D_2O_4 \cdot 1 \cdot a_{24} & D_5O_3 \cdot 2 \cdot a_{53} \\ D_4O_4 \cdot 1 \cdot a_{44}; & D_4O_5 \cdot 2 \cdot a_{45} \\ D_1O_5 \cdot 1 \cdot a_{15}; & D_2O_2 \cdot 3 \cdot a_{22} \\ & D_5O_5 \cdot 3 \cdot a_{55} \end{array}$$

Таблиця направлених зв'язків від джерел до приймачів:

$$D_3O_1 \cdot 1 \cdot a_{31} : D_4O_2 \cdot 2 \cdot a_{42} : D_2O_2 \cdot 3 \cdot a_{22}$$
$$D_6O_1 \cdot 1 \cdot a_{61} : D_5O_3 \cdot 2 \cdot a_{53} : D_5O_5 \cdot 3 \cdot a_{55}$$
$$D_4O_4 \cdot 1 \cdot a_{44} : D_4O_2 \cdot 2 \cdot a_{42} : D_2O_2 \cdot 3 \cdot a_{22}$$
$$D_1O_5 \cdot 1 \cdot a_{15} : D_1O_2 \cdot 2 \cdot a_{12} : D_2O_2 \cdot 3 \cdot a_{22}$$
$$D_2O_4 \cdot 1 \cdot a_{24} : D_4O_5 \cdot 2 \cdot a_{45} : D_5O_5 \cdot 3 \cdot a_{55}$$

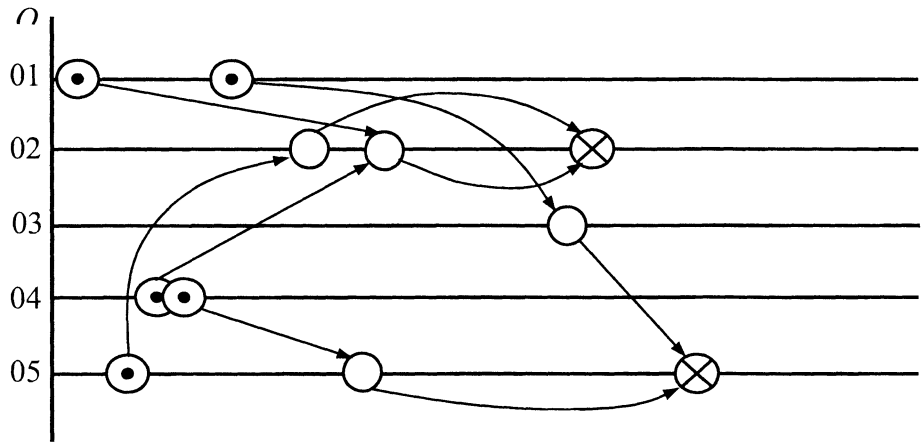


Рис.11.5. Мережевий графік.

11.1.2.4. Модель "суміщений часовий граф".

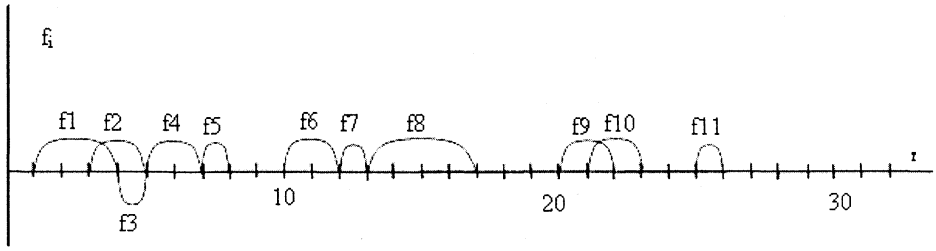
Модель типу "суміщений часовий граф" (рис.11.6) показує асоціацію системних функцій з заданими часовими параметрами без структури руху даних. Розглянута модель дозволяє розрахувати поточні навантаження на обчислювальні ресурси людино–машинних засобів обробки даних в кожному елементі ММ або розподілення пікових навантажень всією мережею обчислювальної системи в цілому. Призначена вона для центрального сервера КС, який контролює регламентність виконання функцій підрозділами КС і координує їх роботу в часі.

Формалізація моделі "суміщений часовий граф":

$$f_i - D_iO_j \cdot a_{ij} \cdot a_{ij} + b_{ij};$$

$$f_i = D_3O_1 \cdot 1 \cdot 1 + 3;$$
$$f_2 = D_1O_5 \cdot 3 \cdot 3 = 2;$$
$$f_3 = D_4O_4 \cdot 4 \cdot 4 + 1;$$
$$f_4 = D_2O_4 \cdot 5 \cdot 5 + 2;$$
$$f_5 = D_6O_1 \cdot 7 \cdot 7 + 1;$$

$$f_6 = D_1O_2 \cdot 10 \cdot 10 + 2;$$
$$f_7 = D_4O_5 \cdot 12 \cdot 12 + 1;$$
$$f_8 = D_4O_2 \cdot 13 \cdot 13 + 4;$$
$$f_9 = D_5O_3 \cdot 17 \cdot 17 + 2;$$
$$f_{10} = D_2O_2 \cdot 21 \cdot 21 + 2;$$
$$f_{11} = D_5O_5 \cdot 25 \cdot 25 + 1.$$



f1 – D3.O1 f4 – D2.O4 f7 – D4.O5 f10 – D2.O2
f2 – D1.O5 f5 – D6.O1 f8 – D4.O2 f11 – D5.O5
f3 – D4.O4 f6 – D1.O2 f9 – D5.O3

Рис.11.6. Модель "суміщений часовий граф".

11.1.3. Модель "блок–схема алгоритму опрацювання даних".

Модель "блок–схема алгоритму опрацювання даних" (рис.11.8) є діагностичною моделлю КС, яка будується на основі суміщеної часової моделі у відповідності з використанням типових позначень блок–схем алгоритмів і програм. Дана модель використовується центральним сервером РКС для діагностування виконання процесів руху даних в системі згідно регламентного алгоритму її функціонування на основі моделі „суміщений часовий граф".

Суть побудови даної моделі методично виконується формалізацією процедур побудови оптимального несуперечного змістовного графа розгалуженого алгоритму у наступному порядку:

- формалізація умови задачі;
- побудова суміщеного часового графа;
- побудова логічного розгалуженого графа;
- покриття логічного графа блок–схемою;
- нумерація операторів блок–схеми.

Формалізація моделі „блок–схема алгоритму":

$$f_i = \begin{cases} f_1, T_1 \le T \le T_4; \\ f_2, T_3 \le T \le T_5; \\ f_3, T_4 \le T \le T_5; \\ f_4, T_5 \le T \le T_7; \\ f_5, T_7 \le T \le T_8; \\ f_6, T_{10} \le T \le T_{12}; \\ f_7, T_{12} \le T \le T_{13}; \\ f_8, T_{13} \le T \le T_{17}; \\ f_9, T_{20} \le T \le T_{22}; \\ f_{10}, T_{21} \le T \le T_{23}; \\ f_{11}, T_{25} \le T \le T_{26}. \end{cases}$$

Формалізація умови задачі полягає у відповідності до нумерації системних функцій $f_i(r)$, які в реальній процедурі описуються системою аналітичних виразів, які виконуються при заданих часових організаціях.

Наприклад, для умови задачі $f_i(r)$ – багатоканальне аналого–цифрове перетворення технологічних параметрів; $f_2(t_2)$ – ковзне усереднення формуючих відліків процесів; $f_3(t_3)$ – обчислення матриці коефіцієнтів кореляції; $f_4(t_4)$ – індикація параметрів.

Формалізація умови задачі побудови моделі „блок-схеми алгоритму":

$$Y(t)=\begin{cases} f_1(t) & d <= t < b; \\ f_2(t) & c <= t <= d; \\ f_3(t) & e < t. \end{cases},$$

де a,b,c,d,e – часові обмеження.

Нехай a=1, b=2, c=4, d=6, e=5. Тоді суміщений часовий граф (СЧГ) має вигляд, приведений на рис.11.7, 11.8, де стрілки вказують, що відповідні системні процедури виконуються до настання часу $t = b$ або пізніше часу $t = e$.

Змінюючи значення часових обмежень a,b,c,d,e і здійснюючи розпаралелювання операцій виконання системних процедур $f_i(t)$, одержимо відповідно різні реалізації суміщеного графа (рис. 11.8).

Для визначення формалізованої методики побудови розгалуженого логічного графа (РЛГ) сформулюємо ряд тверджень:

1. Системними атрибутами логічного графа є 5 вершин: початок, ввід–вивід, оператор системної функції, умова і кінець;

2. Основним атрибутом розгалуженого логічного графа є умова, при чому:

2.1) якщо умова виконується, ЛГ розширюється вправо, в протилежному випадку – вниз;

2.2) якщо умова не виконується, то вимагається її уточнення, граф розширюється зліва вниз;

3. Вид суміщеного часового графа одночасно визначає структуру логічного графа, при чому:

3.1) якщо системні функції на СЧГ не перетинаються і не накладаються, то ЛГ розширюється вправо і вниз, а для виводу використовується одна загальна вершина;

3.2) в протилежному випадку ЛГ розширюється тільки вниз, а для виводу використовується автономна вершина після кожного оператора системної функції.

Приклади побудови розгалужених ЛГ та блок-схем алгоритмів для суміщених часових моделей показані на рис.11.7(а) − 11.7(г).

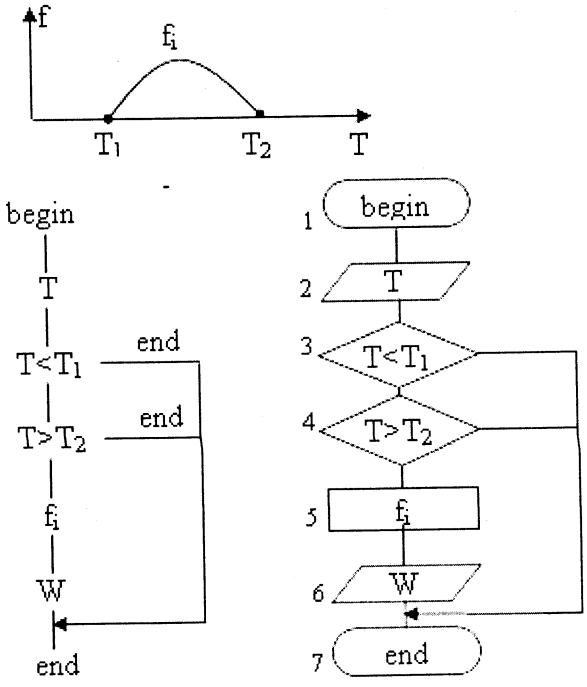


Рис. 11.7(а). Граф та блок-схема алгоритму.

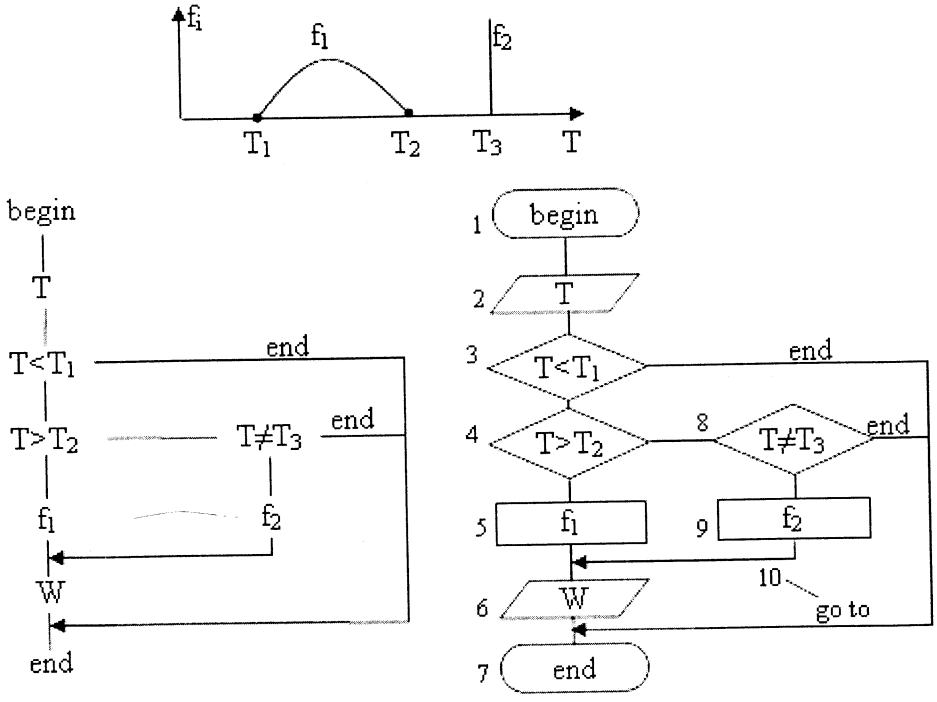


Рис. 11.7(б). Граф та блок-схема алгоритму.

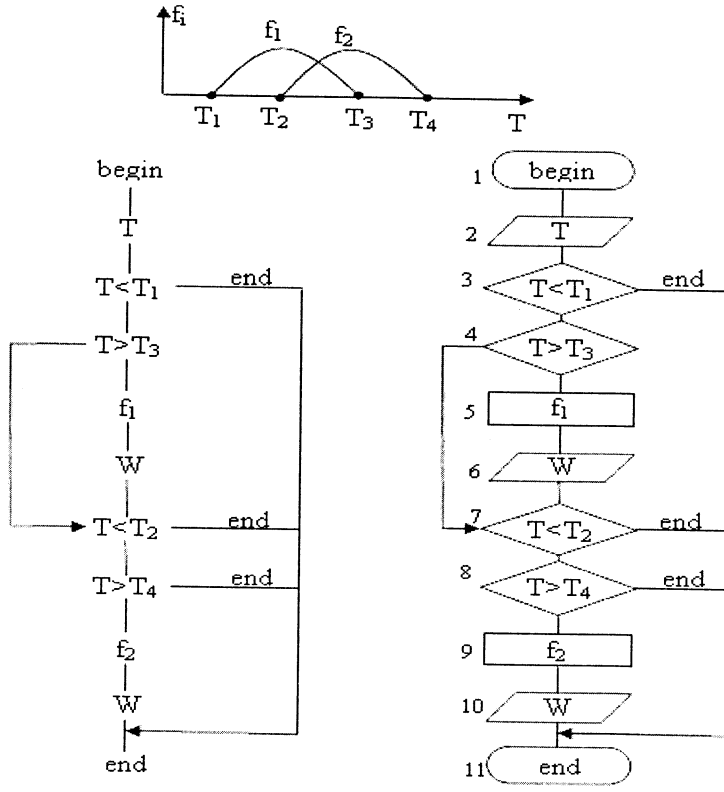


Рис. 11.7(в). Граф та блок-схема алгоритму.

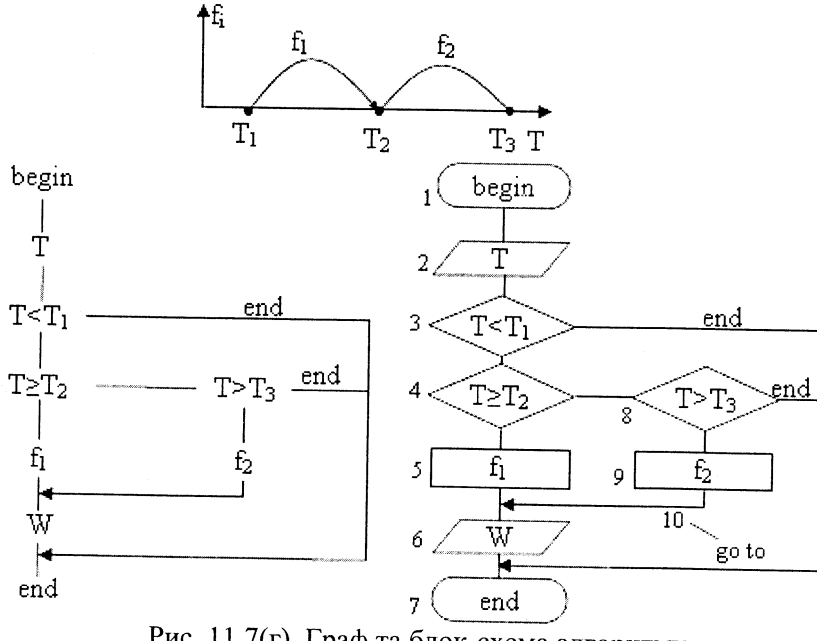


Рис. 11.7(г). Граф та блок-схема алгоритму.

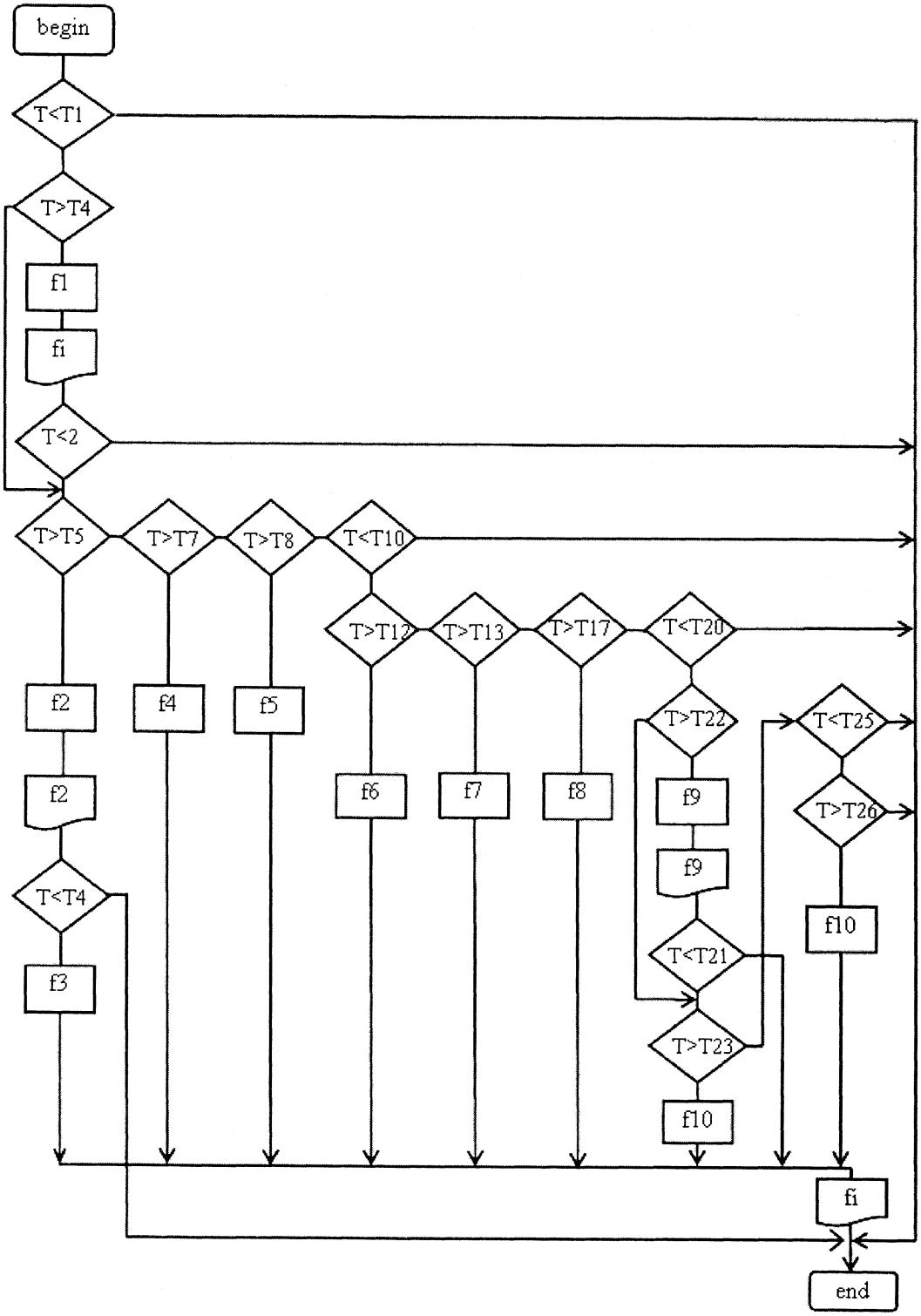


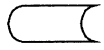
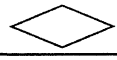
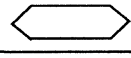
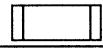
Рис.11.8. Блок–схема алгоритму оброблення даних.

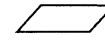
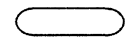
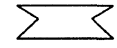
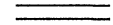
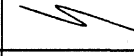
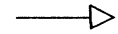
11.1.4. Граф-алгоритмічна модель опрацювання даних.

Побудова граф-алгоритмічної моделі (ГАМ) виконується у вигляді змістовного символічного графу, який будується згідно архітектури зв'язків ММРД з символікою типів операцій формування, обробки, приймання та зберігання даних. Побудова даної моделі виконується зверху – вниз для кожного джерела та приймача, який розміщений на відповідних об'єктах.

Приклад побудови граф-алгоритмічної моделі на основі матричної моделі (рис.11.1) та згідно символіки (табл.11.1) показано на рис.11.9

Таблиця 11.1

№ п/п	Позначення	Зміст позначення
1		Неавтономна пам'ять
2		Автономна пам'ять
3		Тверда копія документа
4		Звуковий ввід/вивід
5		Мишка
6		Магнітно-оптичний диск
7		Магнітна дискета
8		Оптичний диск
9		Магнітний диск
10		Архів
11		Магнітна карта
12		Модем
13		Дисплей
14		Процес
15		Рішення
16		Модифікація
17		Конкретизований процес
18		Ручна операція
19		Допоміжна операція
20		Ручний ввід

21		Оптичний канал
22		Ввід-вивід
23		Пуск-зупинка
24		Ручний документ
25		Оператор
26		Джерело-приймач
27		Злиття
28		Виділення
29		Групування
30		Сортування
31		Сторінковий з'єднувач
32		Міжсторінковий з'єднувач
33		Безпосередня передача
34		Інформаційний потік
35		Дублювання передачі
36		Канал зв'язку
37		Матеріальний потік
38		Розшифрування
39		Кодування
40		Копіювання
41		Автономна обробка

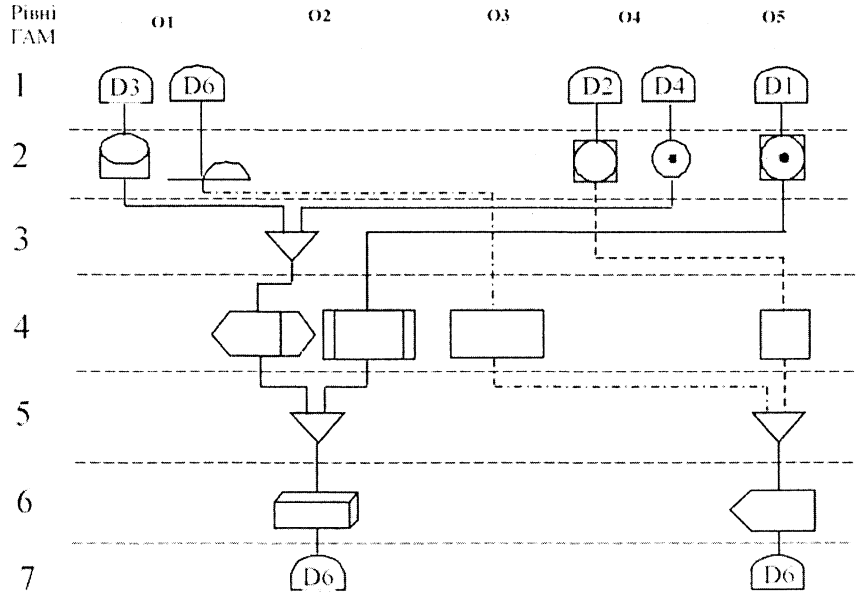


Рис.11.9. Граф-алгоритмічна модель

З рис.11.9 видно, що в першому підрозділі розміщені 2 джерела інформації, які формують дані типу D3 і D6. Відповідно в підрозділах 04 та 05 розміщені джерела інформації, що формують дані типу D2, D4 та D1, що представлені на першому рівні ГАМ. На другому рівні розміщена група символів при поширенні граф-алгоритмічної моделі вниз, яка демонструє фізичні носії даних, згідно номерів в нижній лівій частині елемента матричної моделі, які відповідають таблиці стандартизованих символів МРД. На 3 та 5 рівнях ГАМ показані символи об'єднання інформаційних потоків в комп'ютерній мережі з демонстрацією позначень різних типів каналів зв'язку. На 4 та 6 рівнях ГАМ – символи типів операцій, які задаються відповідними номерами в ММ в нижній лівій частині елементів, які відповідають пунктам обробки та затвердження операції. На 7 рівні показані символи приймачів інформації, які розміщені в підрозділах 02 та 05. Показаний рівень ГАМ може бути представлений відповідною архітектурою більш низького рівня ГАМ (наприклад, підприємство – цех, цех – технологічна установка, технологічна установка – оператор).

Контрольні запитання і завдання.

1. Які похідні моделі будуються формалізованим способом на основі матричних моделей руху даних?
2. Поясніть технологію побудови моделі "граф-розгалужене дерево".
3. Назвіть часові моделі руху даних.
4. Що характеризує параметрична часова модель руху даних?
5. Поясніть технологію побудови структурно-часової моделі.

6. Яким атрибутами описується модель "мережевий графік"?
7. Дайте приклад побудови моделі "суміщений часовий граф".
8. Які атрибути використовуються для побудови моделі "блок-схема алгоритму опрацювання даних"?
9. Дайте приклад побудови логічного графа на основі моделі "суміщений часовий граф".
10. Побудуйте блок-схему алгоритму на основі логічного графа руху даних з використанням стандартних графічних символів.
11. Наведіть приклад побудови граф-алгоритмічної моделі на основі матричної моделі.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 11 РОЗДІЛУ.

1. Возна Н.Я. Інформаційна технологія побудови граф-алгоритмічної моделі руху техніко-економічних даних // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Випуск 39. – Київ. – 2006. – С. 44-51.
2. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем.- М.: Финансы и статистика, 1984.- 169 с.
3. Николайчук Я.М. Низові обчислювальні мережі: Учбовий посібник.–К:УМК ВО, 1990.– 64с.
4. 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.
5. Сегін А.І., Возна Н.Я. Методології побудови інформаційних моделей руху даних Вісник Технологічного університету Поділля. - 2002. - №3. - Т1. - С.128-135.
6. Столлингс В. Структурная организация и архитектура компьютерных систем: Пер. с англ.–М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.–896с.
7. Столлингс В . Современные компьютерные сети .– СПб Питер, 2003.– 783 с.
8. Таненбаум Э., Ван Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. - СПб.: Питер, 2003. - 880с.
9. Цилькер Б.Я., Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем : Учебник для вузов .– СПб.: Питер, 2006.– 668 с.
10. I. Pitukh, Y. Nykolaychuk, N. Vozna. Information technologies of models data movement construction in the automatic management systems // Proc. of the VIIII–th International Conf. CADSM 2005. – Lviv–Polyana (Ukraine). – 2005.- P.427–428.
11. 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 // Proc. of the third IEEE workshop on Intelligent data acquisition and advanced computing systems: Technology and applications (IDAACS 2005). – Sofia, (Bulgaria).-2005. – P.253–259.

РОЗДІЛ 12

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЕПЮР РУХУ ДАНИХ В СКС

12.1. Методи побудови епюр руху даних (ЕРД) на основі продукційних моделей подання знань.

В даний час стало очевидним, що розвиток теорії проектування комп'ютерних мереж, особливо таких, які характеризуються паралельними інформаційними потоками, потребує відповідного розвитку теорії економічних епюр собівартості для вузлів матричних моделей таких мереж, а також створення інтегральних епюр собівартості витрат і прибутків, при проектуванні комп'ютерних систем, представлених тримірними матричними моделями.

Для визначення поняття економічних епюр (ЕЕ) розглянемо елемент двовимірної матричної моделі руху даних в комп'ютерній мережі (рис.12.1.)

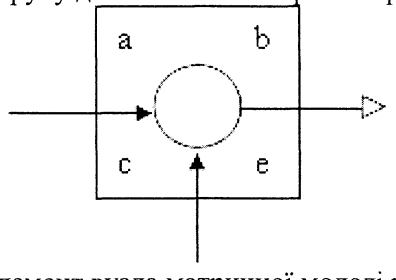


Рис.12.1. Елемент вузла матричної моделі руху даних:

a,b –відповідно час початку та тривалість виконання операції формування, обробки та затвердження даних;

– символ джерела, – пункту обробки, – затвердження даних ;

c –тип операції у вузлі ММ;

e –собівартість виконання операції, формування, обробки та затвердження даних.

Під поняттям оцінки значення ЕЕ будемо розуміти відношення:

$$K_p = \frac{(P_{ij} - V_{ij})}{T_{ij}}, \qquad (12.1)$$

де P_{ij} – сумарний дохід від впровадження функцій вузла ММ;

V_{ij} – затрати на постановку та запуск функцій вузла ММ;

T_{ij} – регламентні затрати часу на реалізацію функцій вузла ММ;

$i = 1,2,...n$ –число документів ММ;

$j = 1,2,...m$ –число підрозділів ММ;

Таким чином, K_p представляє собою питому оцінку прибутків, отриманих у вузлі ММ на інтервалі регламентного часу T_{ij} (рис.12.2)

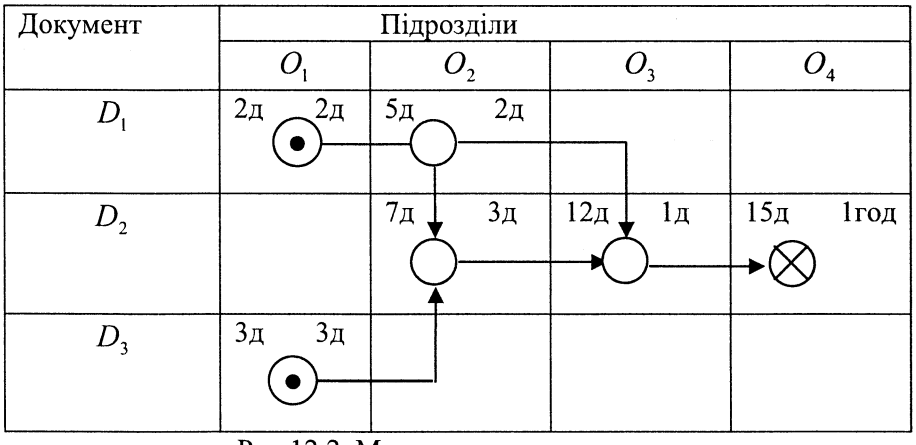


Рис 12.2. Матрична модель руху даних.

На основі ММ виконується формальна побудова моделі "суміщений часовий граф", яка представлена на рис.12.3.

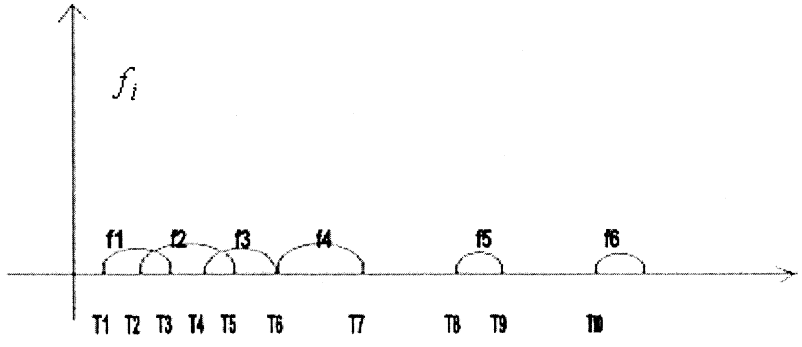


Рис.12.3. Суміщений часовий граф реалізації функцій (f_i) ММ, представленої на рис.12.2.

Модель "суміщений часовий граф" ілюструє послідовні та паралельні процедури f_i, які виконуються комп'ютерною системою з архітектурою, визначеною ММ. При цьому реалізація функцій f_i виконується на основі розгалуженого алгоритму обробки даних, який описується виразом:

$$f_i(T) = \begin{cases} f_1 & T_1 \le T \le T_3; \\ f_2 & T_2 \le T \le T_5; \\ f_3 & T_4 \le T \le T_6; \\ f_4 & T_6 \le T \le T_7; \\ f_5 & T_8 \le T \le T_9; \\ f_6 & T = T_{10}. \end{cases} \qquad (12.2)$$

Враховуючи характеристики економічних затрат і собівартості руху даних в активних вузлах ММ, виконується побудова функції собівартості епюри руху даних у вузлах ММ (рис.12.4.).

Рис.12.4. Функції собівартості РД в активних вузлах ММ.

Для побудови економічної епюри необхідно врахувати взаємозв'язок між коефіцієнтом K_p та регламентною оцінкою собівартості руху даних (e) у вузлі ММ. Традиційне визначення собівартості в економіці задається рівнянням:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_i - \sum_{i=1}^{N} V_i}{N}, \qquad (12.3)$$

де N - число активних вузлів ММ.

Крім цього, оцінку (12.3) необхідно нормувати відносно регламентного часу T_{ij}, звідси нормована по часу оцінка собівартості

$$e = \frac{C}{T_{ij}} = K_p. \qquad (12.4)$$

Тобто оцінка e визначається відношенням об'ємів прибутків до об'ємів затрат в умовних одиницях. Наприклад, $e = 2$ може відповідати відношенням 2/1, 20/10, 512/256, причому фізичними об'єктами відношень можуть бути затрати капітальних вкладень, електроенергії, комп'ютерних засобів, об'ємів пам'яті , об'ємів переданих даних та інше. Таким чином, технологія побудови економічної епюри руху даних ММ буде мати вигляд, приведений на рис.12.5.

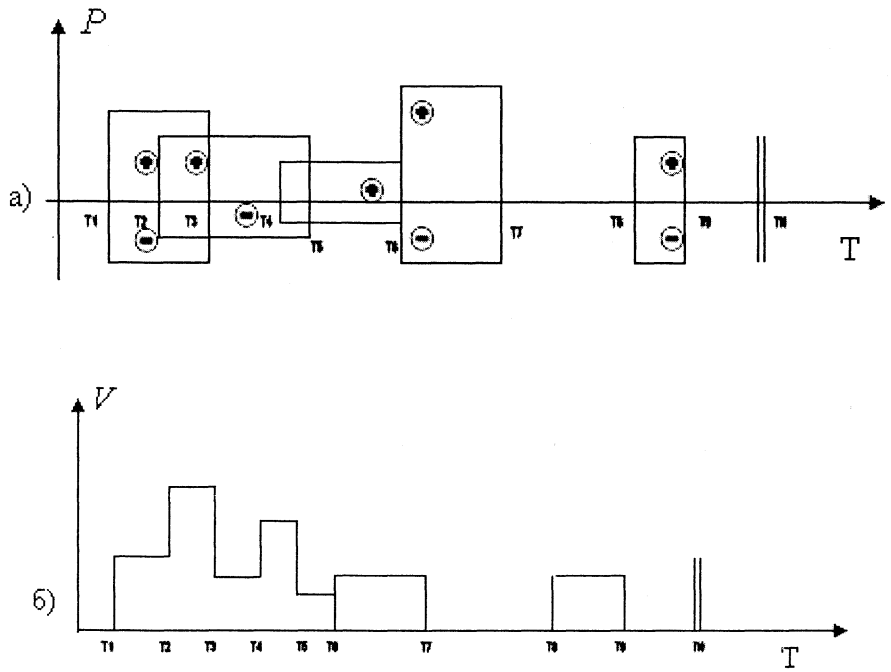


Рис.12.5. Графіки епюр експлуатації комп'ютерної мережі з паралельними інформаційними потоками.

На основі формули (12.3) розраховується характеристика нормованих собівартостей для реалізації функцій кожного активного вузла ММ (рис.12.6.)

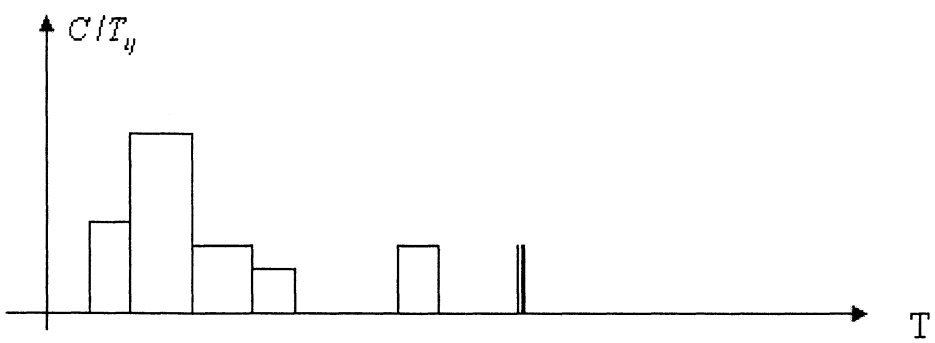


Рис.12.6. Розраховані характеристики нормованих собівартостей реалізації функцій активного вузла ММ.

Таким чином, представлена інформаційна технологія побудови економічних епюр затрат та прибутків при організації руху даних в комп'ютерних системах з паралельними інформаційними потоками базується на використанні системних характеристик вузлів матричної моделі та суміщеного часового графа реалізації

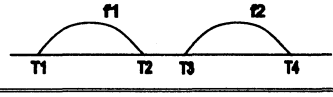
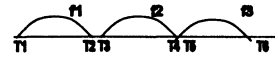
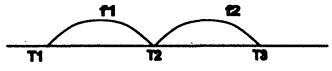
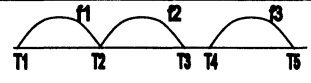
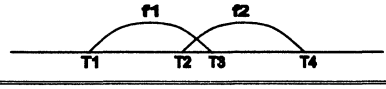
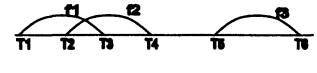
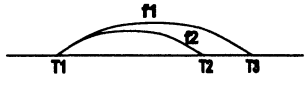
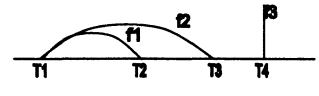
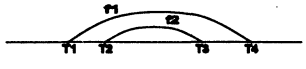
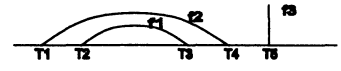
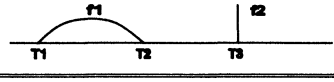
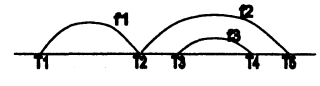
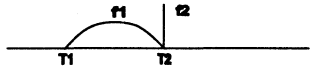
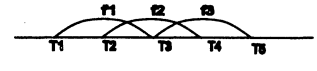
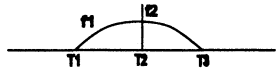
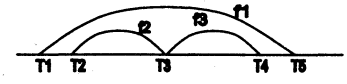
функцій формування, обробки та затвердження даних в комп'ютерних мережах. Розроблена технологія дозволяє реалізувати побудову таких епюр формалізованим способом на основі відповідного програмного забезпечення. Ефективність застосування розробленої інформаційної технології значно зростає при збільшенні розмірності ММ, які на практиці для типових підприємств можуть характеризуватися числом документів від 500 до 1000 і числом підрозділів від 20 до 100.

У табл. 12.1 систематизовані типові характеристики моделі суміщеного часового графу на прикладах двох та трьох обчислювальних функцій, які виконуються в активних вузлах ММ.

З табл. 12.1 видно, що розпаралелення обробки даних повинно реалізуватися при пересіченні або накладанні функцій формування, обробки або затвердження даних у вузлах двовимірних ММ, тобто в моделях № 1, 2, 6, 9, 10 не передбачається процедур розпаралелення обчислювальних процесів, що приводить до спрощених форм ЕРД, наприклад, представлених на рис.12.7.

Таблиця 12.1

Систематизовані характеристики моделі СЧГ

	f1 * f2		f1 * f2 * f3
1		9	
2		10	
3		11	
4		12	
5		13	
6		14	
7		15	
8		16	

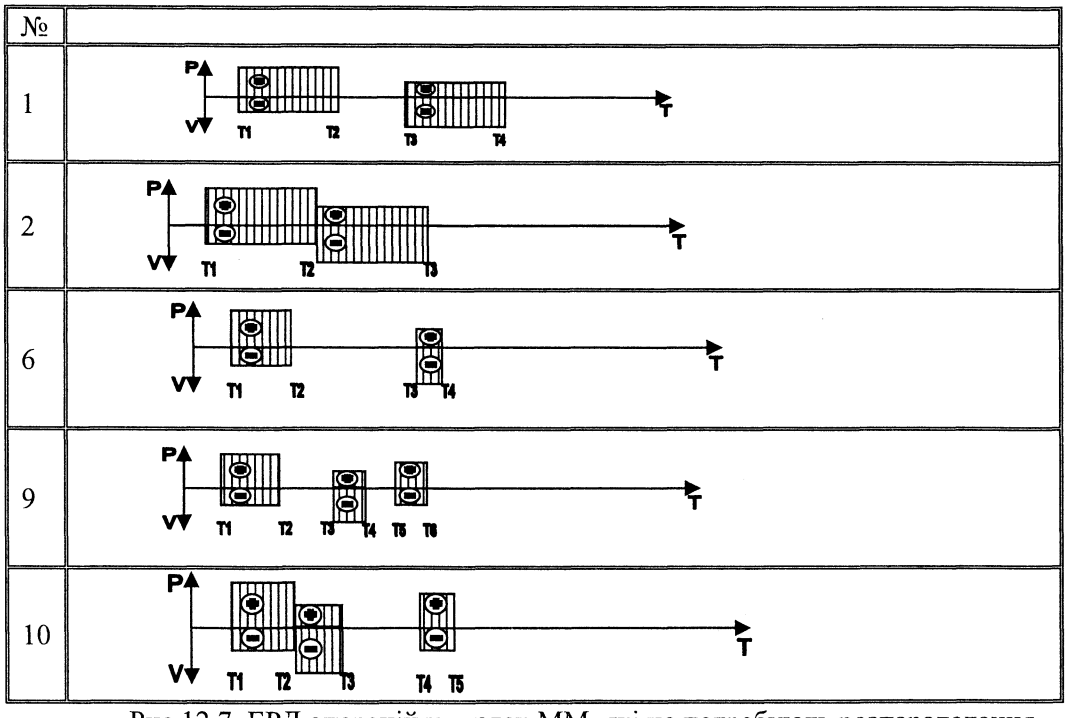


Рис.12.7. ЕРД операцій у вузлах ММ, які не потребують розпаралелення обробки даних.

З рис.12.7 видно, що в даному випадку число ЕРД строго відповідає числу моделей "суміщений часовий граф".

Особливістю можуть бути такі характеристики затрат і прибутків при реалізації функцій вузла ММ, коли понесені фактичні затрати виявилися більшими від отриманих прибутків. При цьому диференціальні епюри собівартості руху даних можуть мати характеристики, представлені на рис.12.8.

У випадку, коли модель "суміщений граф" містить пересічення або накладання функцій руху даних у вузлах ММ, в тому числі, з наявністю від'ємних характеристик, ЕРД моделей, представлених в табл.12.1, будуть мати вигляд, поданий на рис.12.9.

На рис.12.9 видно, що при миттєвому виконанні окремих операцій у вузлах ММ, ЕРД розпаралеленої обробки інформації однозначно відображаються епюрами собівартості руху даних в заданих вузлах ММ.

Приведені результати систематизації моделей суміщений граф та економічних епюр, які їм відповідають, базувалися на гіпотезі, що економічні затрати та прибутки при реалізації функцій у вузлах ММ описуються функціями нульового порядку. Тобто V_i , P_i і, відповідно, e_{ij} задовільняють систему рівнянь:

$$\begin{cases} V_{ij} = const \\ P_{ij} = const \\ e_{ij} = const \end{cases},$$

при $\Delta T_{ij} = T_{i+1,j} - T_{ij}$,

де ΔT_{ij} – інтервал часу виконання функції f_{ij} в ММ;

i – число пунктів руху даних ММ;

j – число документів ММ.

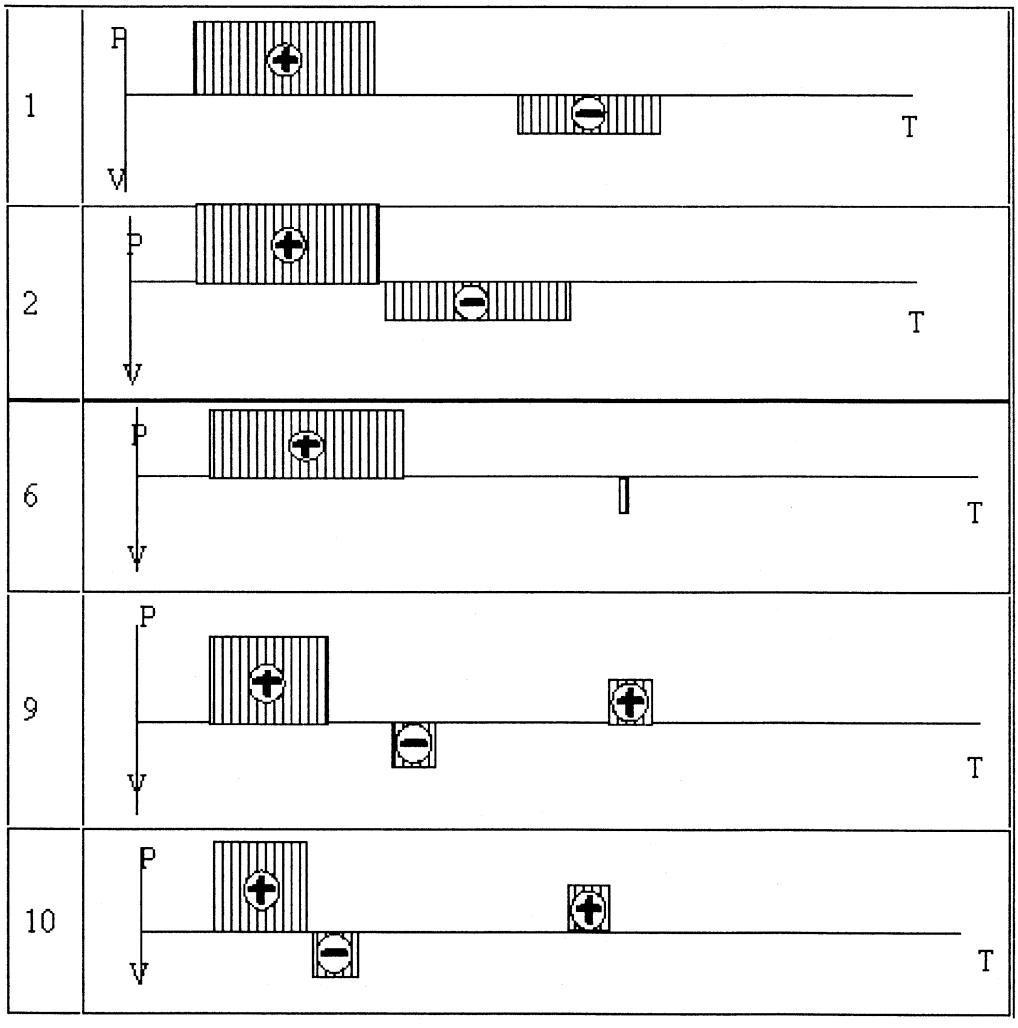


Рис.12.8. Епюри собівартості руху даних зі збитками.

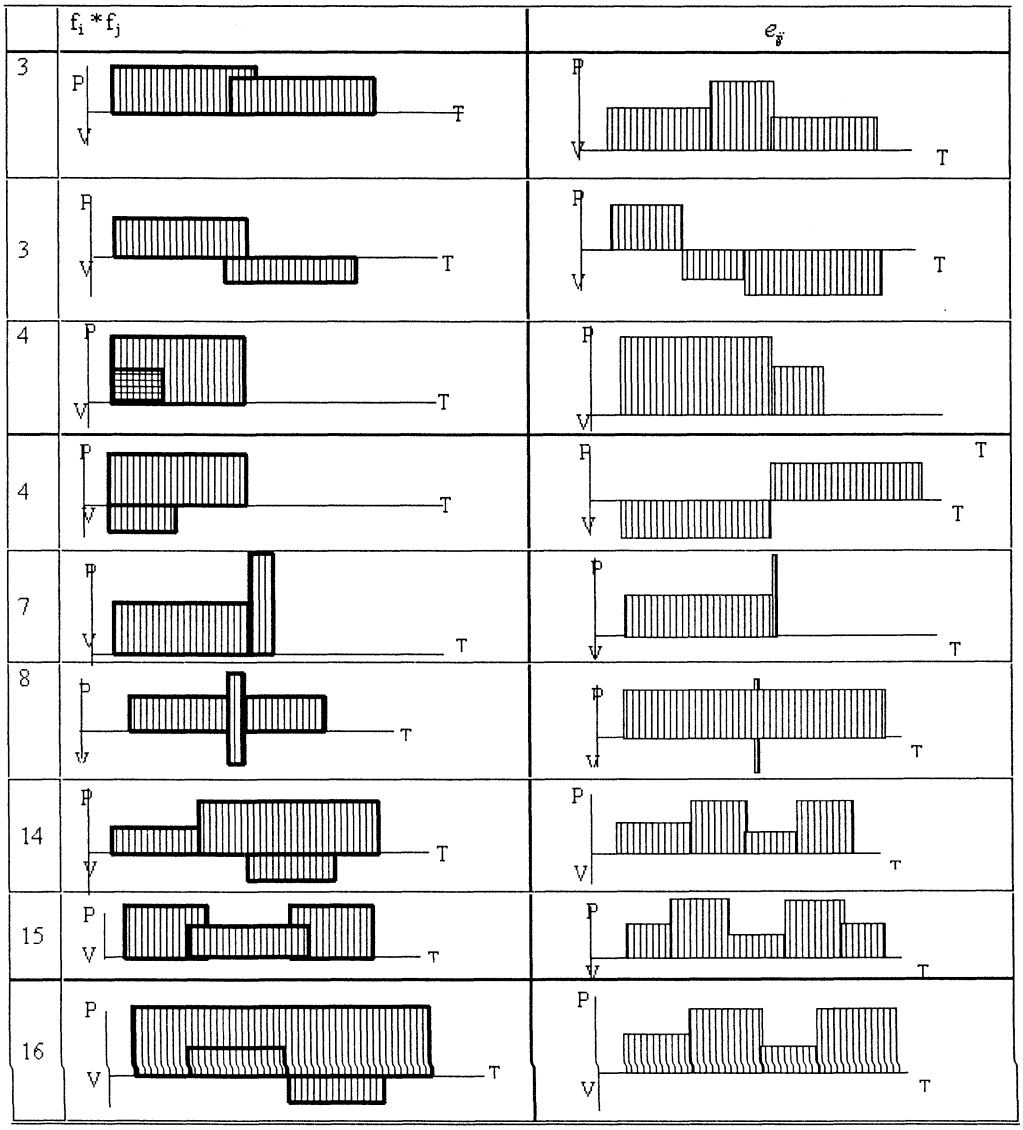


Рис.12.9. ЕРД при розпаралеленні функцій в вузлах ММ.

Таким чином, результуючі епюри собівартості e_{ij} описуються квазістаціонарними стрибкоподібними функціями нульового порядку.

В результаті, економічна ефективність або собівартість реалізації процедур формування, обробки, архівації та затвердження даних в комп'ютерних мережах з глибоким розпаралеленням інформаційних потоків, може бути обчислена на основі інтегральної оцінки.

В загальному випадку функції економічних затрат V_{ij} та прибутків P_{ij} можуть описуватися функціями першого та другого порядку. Відповідно сумарна

функція епюри собівартості руху даних буде описуватись стрибкоподібними квазістаціонарними функціями відповідного порядку (рис.12.10, 12.11).

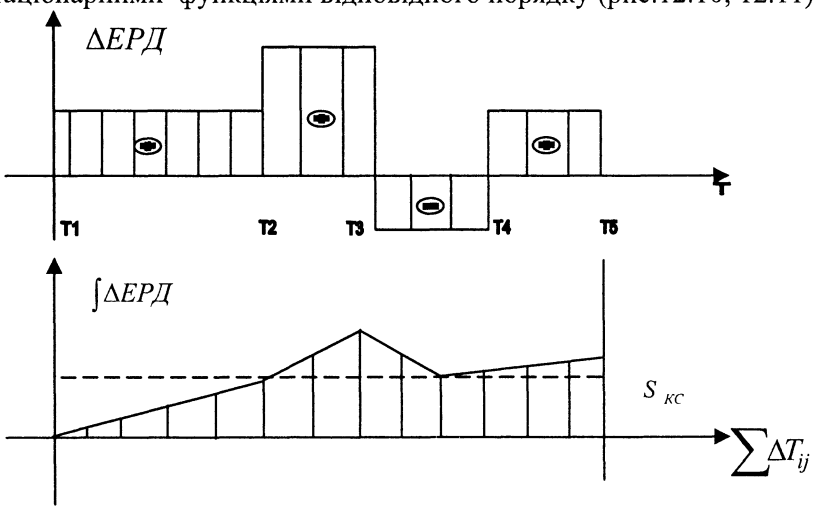


Рис.12.10. Інтегральні оцінки собівартості руху даних в циклі ММ

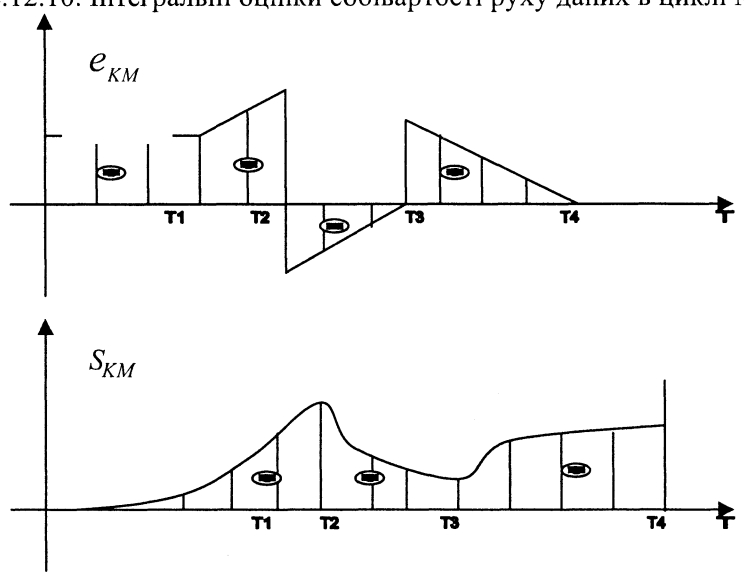


Рис.12.11. Характеристики затрат і прибутків.

Для побудови таких епюр доцільно скористатись поняттям циклу руху даних. Дане поняття представляється сумарною послідовністю виконання функцій у вузлах ММ, починаючи від конкретного джерела інформації і закінчуючи пунктом затвердження та архівації даних.

Для ММ, яка представлена на рис.12.2 виконується побудова ЕРД наступного типу:

– цикли руху даних (рис.12.12) ґрунтуються на описі всіх трафіків руху даних від джерел до пунктів затвердження та зберігання даних;

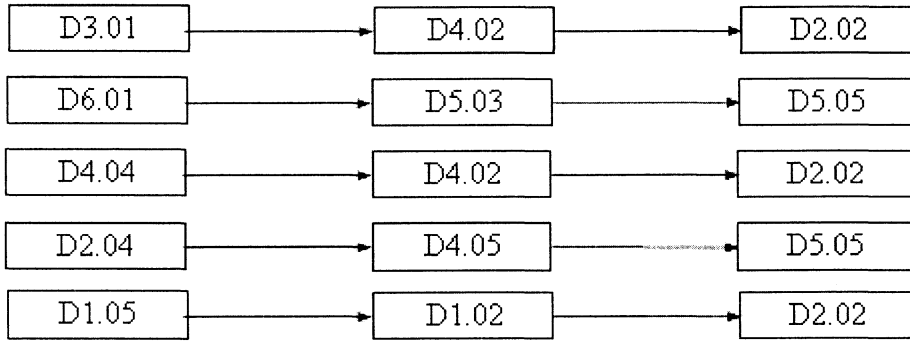


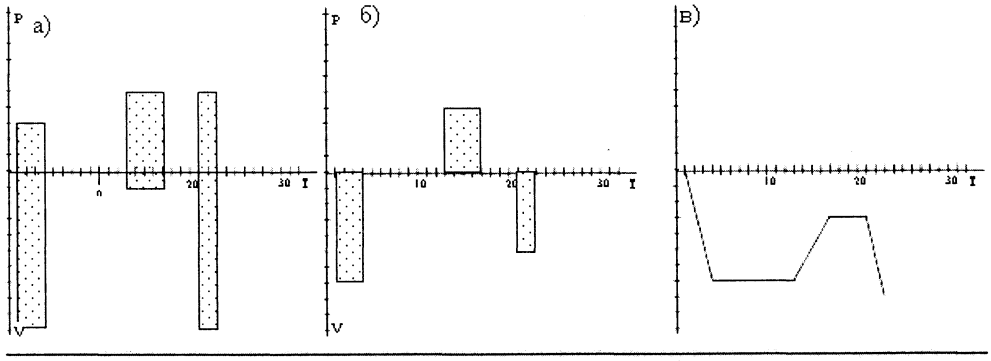
Рис. 12.12. Цикли руху даних.

– епюри собівартості циклу ЕРД (рис.12.13 (а)) будуються для кожного циклу руху даних на основі часових параметрів (a,b) та параметрів собівартості $(p-v)$ матричної моделі;

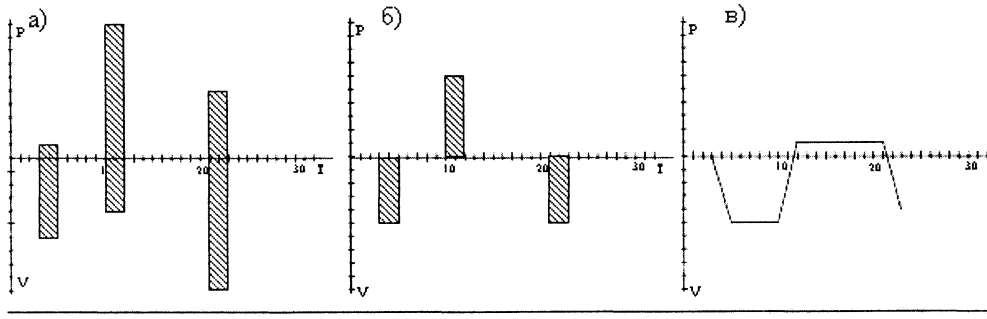
– диференціальна епюра $\Delta ЕРД$ руху даних (рис.12.13 (б)) представляє собою різницевий граф прибутків та витрат для кожного циклу руху даних;

– інтегральна епюра ($\int \Delta ЕРД$) циклу руху даних (рис.12.13 (в)) будується на основі моделі $\Delta ЕРД$ шляхом інтегрування характеристик витрат та прибутків у кожному пункті руху даних матричної моделі (рис.12.12).

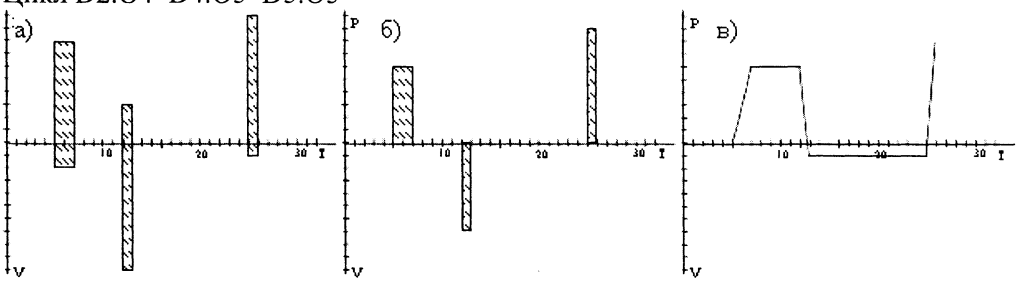
Цикл D3.O1–D4.O2–D2.O2



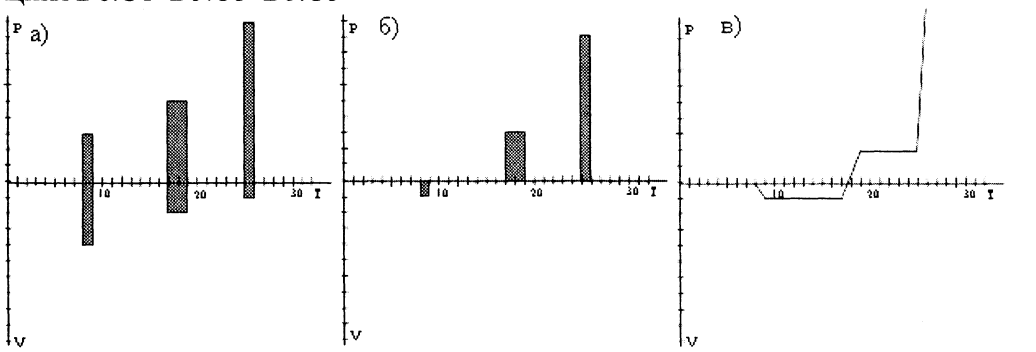
цикл D1.O5–D1.O2–D2.O2



Цикл D2.O4–D4.O5–D5.O5



Цикл D6.O1–D5.O3–D5.O5



Цикл D4.O4–D4.O2–D2.O2

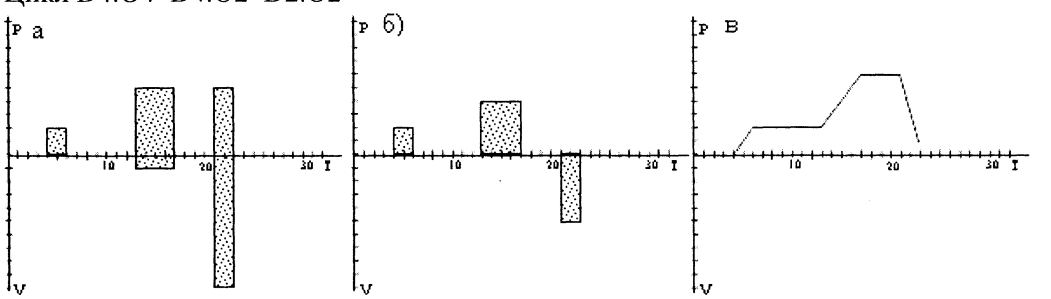


Рис.12.13. Епюри собівартості (а), диференціальні епюри (б), інтегральні епюри (в).

– сумарна інтегральна епюра ($\sum \Delta ЕРД$) циклу руху даних будується шляхом сумування інтегральних епюр (рис 12.14);

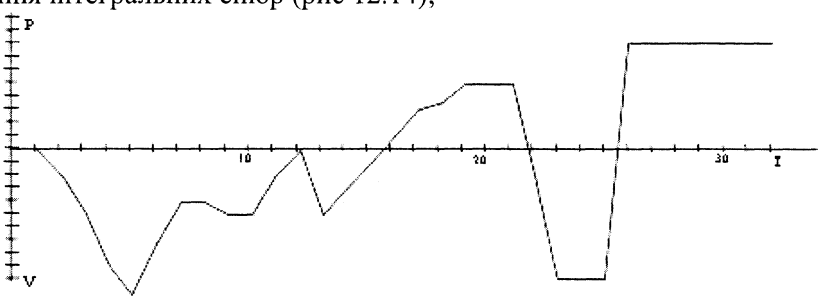


Рис. 12.14. Сумарна інтегральна епюра собівартості циклів руху даних.

На основі вищевказаних епюр будуємо глобальну характеристику ефективності СКС (рис.12.15).

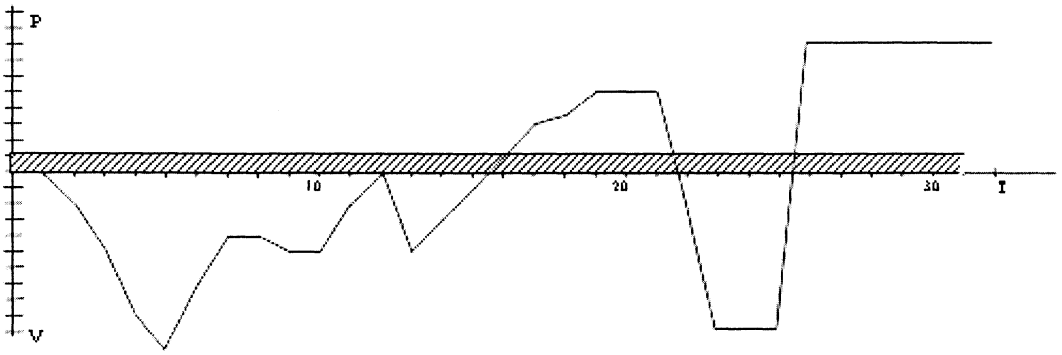


Рис.12.15. Глобальна характеристика ефективності спеціалізованої комп'ютерної системи.

Глобальна характеристика ефективності проектованої спеціалізованої комп'ютерної системи розраховується на основі обчислення вибіркового математичного сподівання характеристики сумарної інтегральної економічної епюри згідно формули:

$$G_{CKC} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \int_{0}^{T} \Delta ERД_i(T)dT}{N},$$

де n – число часових інтервалів ковзної вибірки,

N – загальне число часових інтервалів.

Викладені теоретичні основи, методи та інформаційні технології побудови епюр собівартості руху даних в СКС є ефективним інструментом аналізу та діагностики діючих систем, а також засобом проектування складних РКС з високим рівнем розпаралелення системних операцій та основою реалізації стратегії вибору оптимізованих варіантів їх архітектури, трафіків інформаційних потоків, функціональних можливостей та ступеня використання ресурсів в активних вузлах ММ.

12.2. Алгоритми побудови однорівневих моделей руху даних.

В основу розробки ПЗ поставлена технологія об'єктно-орієнтованого програмування засобами Inprise Delphi. Базова структура ПЗ, яка реалізує формалізовані процедури сукупності похідних моделей, описаних в розділі 3 показана на рис.12.16.

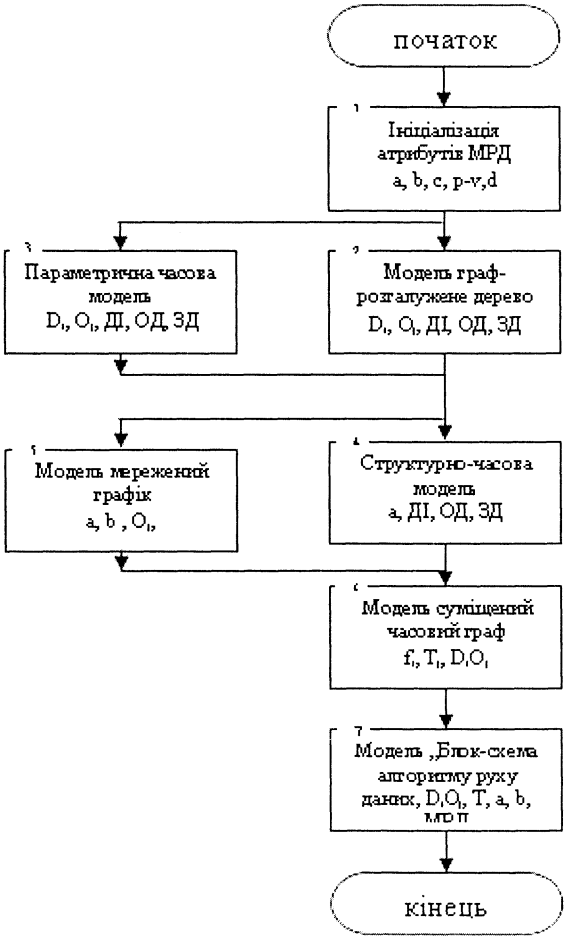


Рис.12.16. Модулі ПЗ.

Модулі ПЗ рис. 12.16 реалізують наступні функції:

Блок 1 – інтерфейс користувача для вводу початкових даних.

Блок 2, 3 – реалізує побудову структурних моделей граф-розгалужене дерево та структурно-часову, які враховують структуру руху даних згідно МРД та її атрибути типу джерело, пункт обробки і пункт приймання та архівізації даних.

Блок 4 – реалізує побудову параметрично-часової моделі на основі атрибутів a і b МРД, а також причинності в реальному масштабі часу згідно атрибутів ДІ, ОД, ЗД, МРД.

Блок 5 – реалізує побудову моделі мережевий графік на основі параметрів МРД: a – початок виконання операції, O_j – номер об'єкта, в якому розміщений активний вузол, O_i-O_j – ребра мережевих інформаційних зв'язків.

Блок 6 – реалізує побудову моделі "суміщений часовий граф" на основі атрибутів a, b, f_i ,T, МРД.

Блок 7 – реалізує побудову діагностичної для центрального сервера КС моделі „блок-схема алгоритму руху даних" на основі моделі "суміщений часовий граф" та атрибутів a, b, T, МРД.

12.3. Програмні засоби побудови епюр собівартості руху даних та оцінки глобальної ефективності комп'ютерних систем.

Програмне забезпечення виконане на основі програмного середовища Delphi та інформаційної технології побудови сукупності моделей собівартості руху даних, описаних в розділі 3. На рис.12.17 представлена блок–схема даного ПЗ.

Програма реалізована з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Структурно вона складається з головного файлу («model.dpr» – ініціалізація та запуск екранних форм) та файлів модулів. У файлах модулів реалізовано механізм роботи з базою даних BIMA MySQL, в якій зберігаються дані. Структура бази даних зображена на рис.12.18. Базу даних реалізовано в середовищі MySQL. На сьогоднішній день це одна з найбільш потужних СУБД з відкритим кодом, вона є безплатною, надійною, має широкий набір функцій доступу до даних та підтримується багатьма розробниками компонентів доступу до даних.

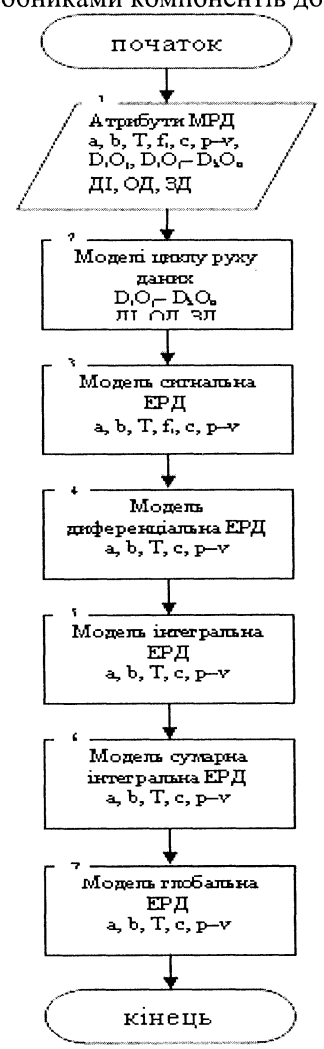


Рис.12.17. Блок –схема програмного забезпечення побудови циклів руху даних.

Працює програма згідно наступного алгоритму:

1. Кожна нова задача – це проект, який характеризується такими атрибутами: номер проекту, назва проекту, кількість задіяних в проекті документів, кількість підрозділів, одиниця оцінки часу проекту, одиниця оцінки вартості проекту та коментар (даний атрибут не є обов'язковим) – див. поля таблиці PROJECTS на рис. 12.18. Для кожного нового проекту вводяться ці дані. Крім того, в програмі реалізовано роботу з довідниками одиниць оцінки часу (таблиця TIME_OUM) та одиниць оцінки вартості (таблиця PRICE_UOM). Таблиці DOCS та DEPTS містять, відповідно, описові дані по назвах документів та назвах підрозділів. Всі дані (номери документів та підрозділів) прив'язані до номера проекту (ключове поле). Тому спочатку потрібно ввести атрибути проекту, а потім – дані по проекту:

1.1. Документи по даному проекту (назва документу).

1.2. Структурні підрозділи по даному проекту (назва підрозділу).

1.3. Інформація по кожному елементу матричної моделі (у таблицях DI_INFO, OD_INFO, DZ_INFO та TRANSFER_INFO містяться дані по кожному елементу матричної моделі (джерела даних, обробка даних, затвердження даних та цикли руху між елементами)). Для ДІ, ОД та ДЗ заносяться такі дані: номер документу; номер підрозділу; час початку; час формування (обробки, затвердження); тип операції; величина прибутку; величина витрат.

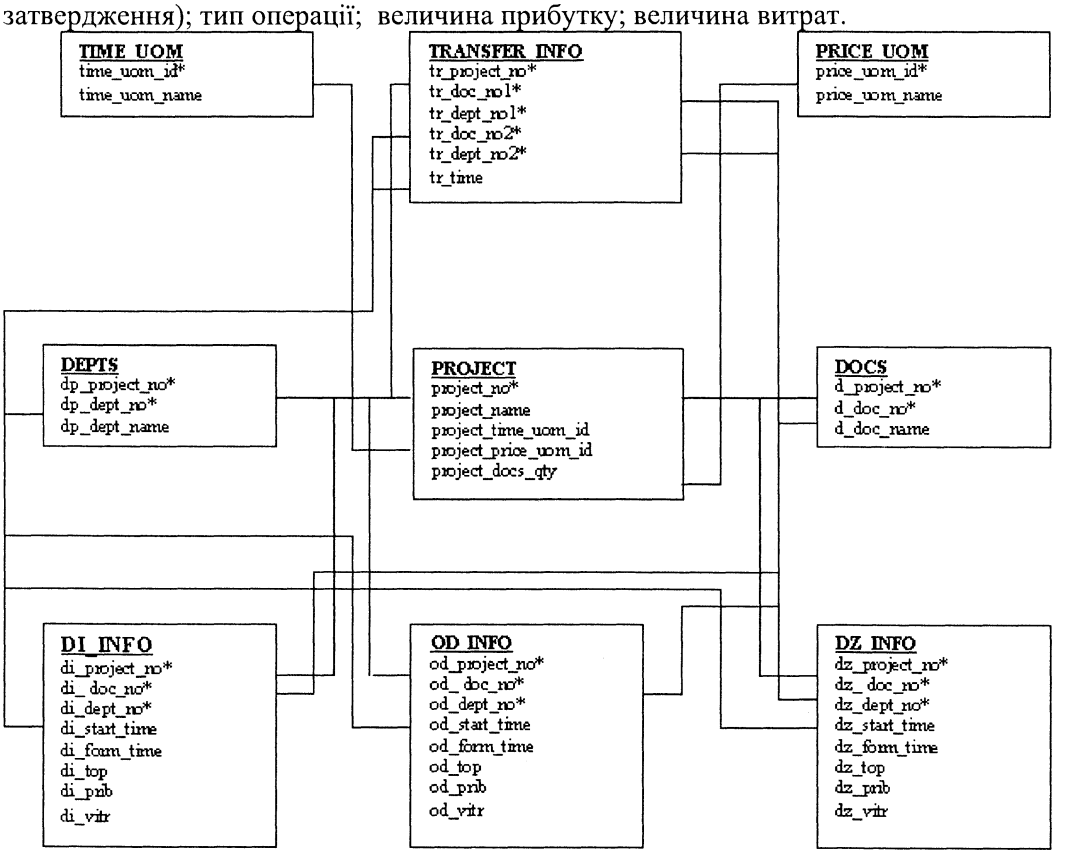


Рис. 12.18. Структура бази даних

Для елементів циклів руху даних вводяться:

- вихідний документ;
- вихідний підрозділ;
- кінцевий документ;
- кінцевий підрозділ;
- час руху.

2. Якщо для побудови моделі потрібно сформувати цикли руху даних, то формуємо їх. Для цього в програмі передбачено відповідний елемент інтерфейсу (кнопка «Формувати цикли руху даних»), який активується, коли вибрано модель, яка потребує наявність циклів.

3. Проводиться вибір моделі. Якщо для якоїсь моделі не заведено всіх необхідних даних, то появиться відповідне повідомлення і модель не буде побудовано.

4. Формування самої моделі у вигляді графічного малюнка в форматі BMP. Є можливість зберегти модель у файлі, якщо передбачається подальша її обробка та використання.

Для побудови моделей: матрична, граф-розгалужене дерево, параметрично часова, структурно-часова, епюра собівартості, диференційна епюра, інтегральна епюра, сумарна епюра собівартості, сумарна диференційна епюра, сумарна інтегральна епюра, викликаються відповідно процедури: DrawMatrixModel, DrawGraphTree, DrawParamTime, DrawStructTime, DrawEpureSb, DrawEpureDif, DrawEpureInt, DrawTotalEpureSb, DrawTotalEpureDif, DrawTotalEpureInt.

12.4. Організація інтерфейсного діалогу САПР моделей руху даних.

Інтерфейс користувача реалізовано з допомогою бібліотеки компонентів VCL середовища Delphi. На рис.12.19 показано загальний вигляд інтерфейсу користувача.

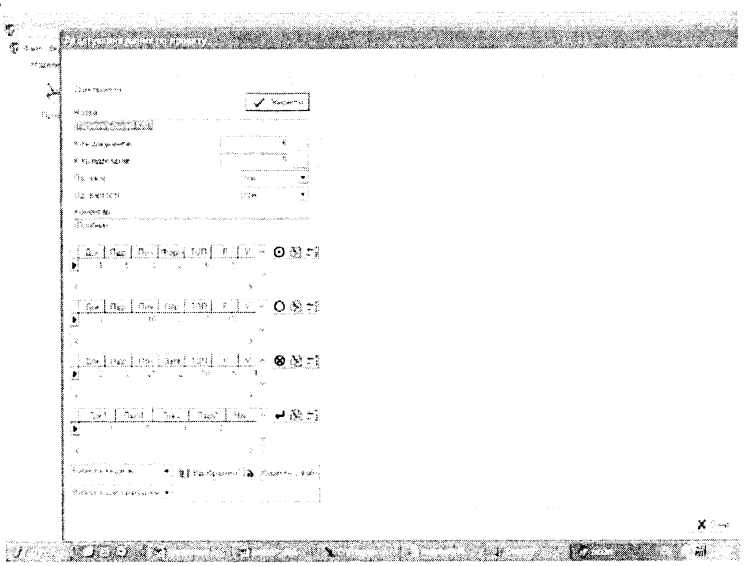


Рис. 12.19. Загальний вигляд інтерфейсу користувача.

На рис.12.20 показано програмну реалізацію формування матричної моделі

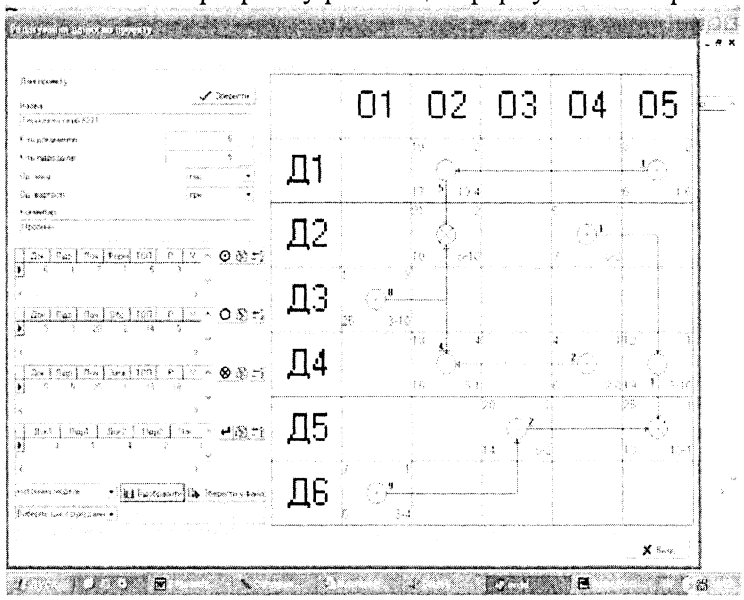


Рис.12.20. Формування матричної моделі.

На рис 12.21 показані результати виконання програми

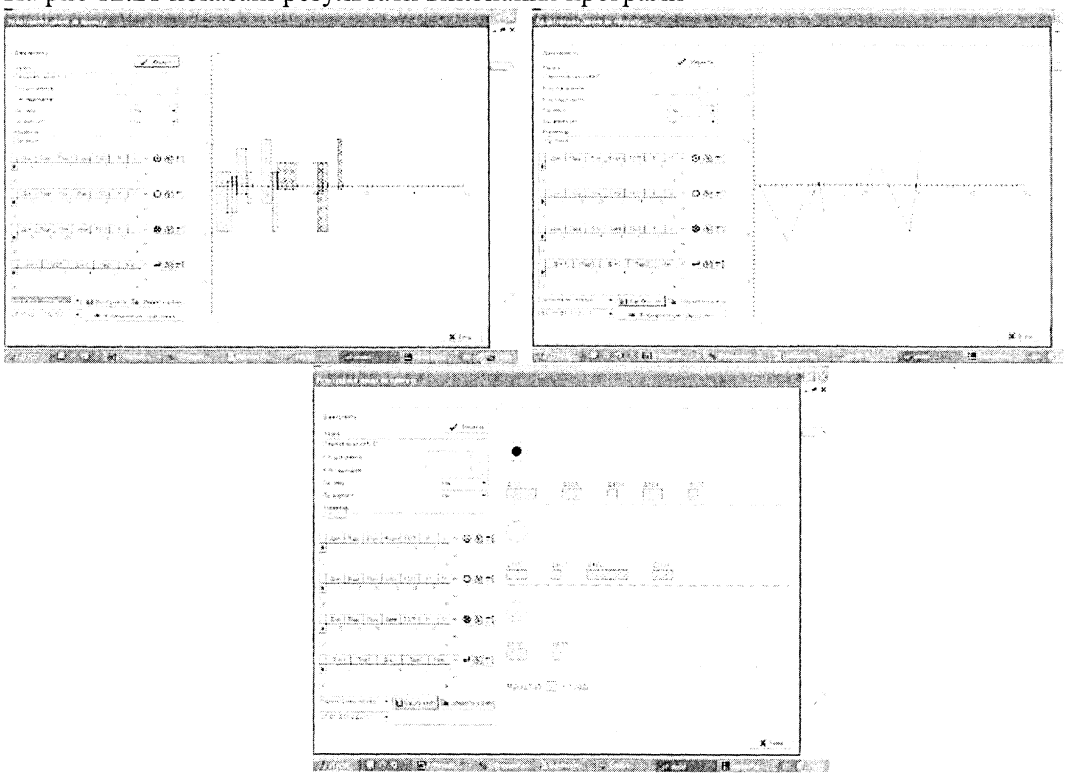


Рис. 12.21. Результати виконання програми.

Контрольні запитання і завдання.

1. Поясніть технологію побудови епюр руху даних з послідовними та паралельними алгоритмами опрацювання даних.
2. Що таке цикл руху даних в СКС?
3. Поясніть технологію побудови сигнальних епюр руху даних.
4. Як будуються диференціальні епюри руху даних на основі інтегральних?
5. Як будується сумарна інтегральна епюра собівартості циклів руху даних?
6. Як обчислюється і що відображає глобальна характеристика ефективності СКС?
7. Якими даними до проекту СКС характеризуэться САПР побудови моделей руху даних?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 12 РОЗДІЛУ.

1. Автоматизовані системи обробки економічної інформації: Підручник / Г.В. Лавінський і ін. – К.: Вища школа, 1985.- 287 с.
2. Культин Н.Б. Delphi в задачах и примерах. – М.: Вильямс, 2004. – 288 с.
3. Михайлова Е.Е., Рыбак К.С., Тюкачев Н.А. Программирование в Delphi для начинающих.- М.: BHV, 2007. – 672 с.
4. Осипов Д. Delphi Профессиональное программирование. – М.: Россия, 2004. – 1056 с.
5. Пестриков В., Маслобоев А. Delphi на примерах. – Л.: КБП, 2005. – 496 с.
6. 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.
7. 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.
8. Фаронов В.В. Delphi: Программирование на языке высокого уровня. – К.: Вища школа, 2006 – 640 с.
9. Цилькер Б.Я., Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем : Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2006.– 668 с.

РОЗДІЛ 13

МОДЕЛІ РУХУ ДАНИХ БАГАТОРІВНЕВИХ СКС

13.1. Багаторівнева матрична модель СКС.

У світовій практиці архітектура дистрибутивних розподілених систем реального часу, які призначені для контролю та управління технологічними об'єктами на промислових підприємствах переважно має три вложення. Тобто такий клас систем належить до розширених мереж Петрі, в яких реалізований принцип агрегації (наявність підсистем) (рис.13.1).

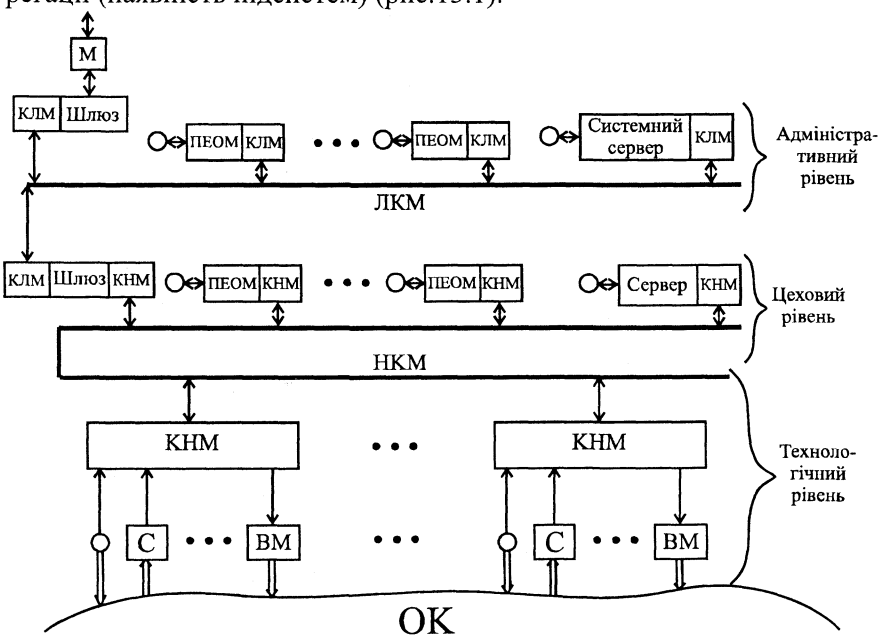
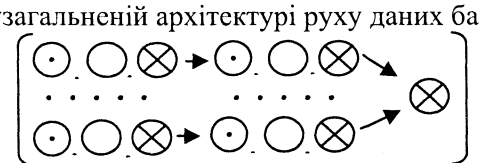


Рис. 13.1. Трирівнева магістральна архітектура СКС: ОК – об'єкт керування; С – сенсор; ВМ – виконавчий механізм; КНМ – контролер низової мережі; М – модем; О – оператор; КЛМ – контролер локальної мережі; НКМ – низова комп'ютерна мережа; ЛКМ – локальна комп'ютерна мережа.

В узагальненій архітектурі руху даних багаторівневої СКС

F_1  $\Rightarrow$

атрибут багаторівневої структури а) - символізує інформаційний зв'язок між приймачами та джерелами різних рівнів архітектури СКС, тобто приймач даних більш низького рівня є джерелом даних для джерела більш високого рівня КС, а атрибут б) - демонструє об'єднання потоків даних залежних

приймачів на входах незалежного приймача. При чому ці атрибути можуть реалізовуватися на одному або на різних рівнях СКС.

Реалізація такої архітектури руху даних в багаторівневих СКС потребує відповідної диференціації активних елементів МРД.

Вдосконалення функціоналу F2 методу формування даних в багаторівневих СКС полягає в сумісному кодуванні технологічних даних X(t) та ТЕД $X(t)+ТЕД$ на основі використання теоретичних положень базису Крестенсона, що дозволяє перетворити багатоканальну систему контролю технологічних даних та потік даних ТЕД в одноканальний біт-орієнтований потік СД, в якому одночасно реалізується захист від помилок шляхом введення додаткового модуля.

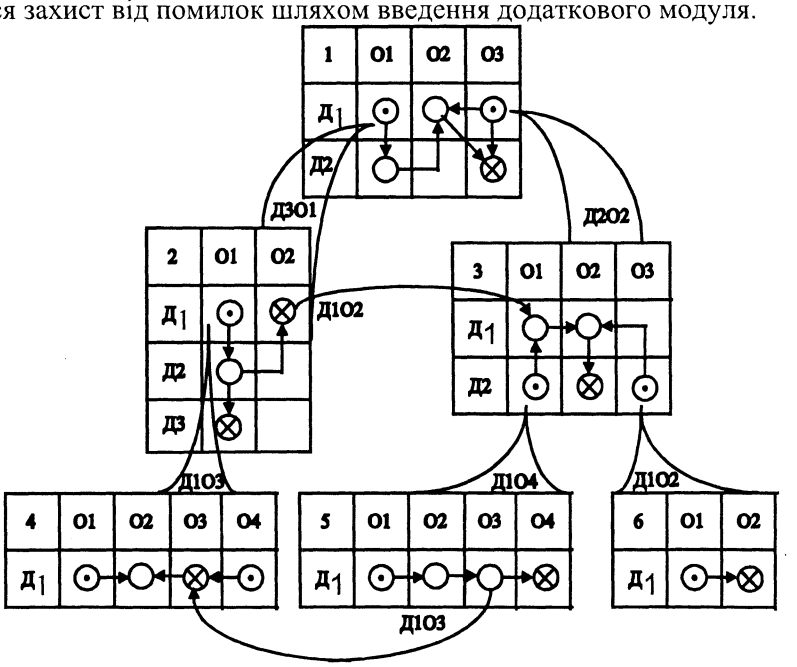


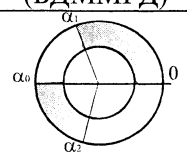
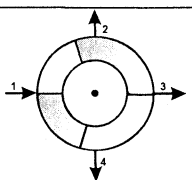
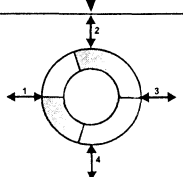
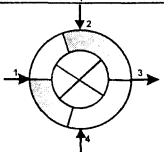
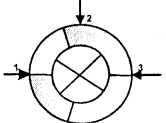
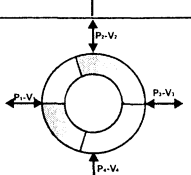
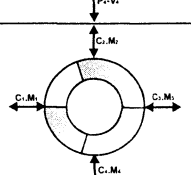
Рис.13.2. Трирівнева (агрегативна) МРД.

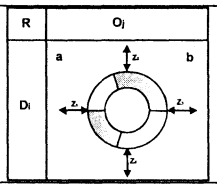
При цьому, як видно з рис. 13.2, дана МРД, яка відображає структуру руху даних у трирівневій розподіленій комп'ютеризованій системі (рис.13.1) належить до класу ієрархічно-мережевих архітектур, тобто дозволяє організацію інформаційних зв'язків не тільки між підсистемами різних рівнів, але й підсистемами одного рівня типу 5.Д1О3-4.Д1О3 та 2.Д1О2-3.Д1О1. Крім того, як видно з рис. 13.2, вказані інформаційні зв'язки на відповідних рівнях комп'ютерної системи можуть організовуватися між залежними приймачами інформації та пунктами обробки даних, а інформаційні зв'язки різних рівнів організовуються між залежними приймачами та джерелами інформації відповідних вищих рівнів. Наприклад: 4.Д1О3-2.Д1О1; 5.Д1О4-3.Д2О1; 6.Д1О2-3.Д2О3; 2.Д3О1-1.Д1О1 та 3.Д2О2-1.Д1О3.

Існуюча організація руху даних в однорівневих та багаторівневих МРД характеризується рядом функціональних обмежень, зокрема, відсутністю врахування ступеня використання ресурсів, диференціації форм документів та

собівартісних характеристик руху даних в активних вузлах системи. Дана задача успішно вирішується подальшим розширенням атрибутів МРД, які представлені в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Символ атрибута багаторівневої диференційованої матричної моделі руху даних (БДММРД)	Пояснення
	$\alpha_0 = 180^\circ$- ресурс записів даних; $0 \le \alpha_1 \le 180^\circ$- ступінь використання ресурсів записів даних; $180^\circ \le \alpha_2 \le 360^\circ$-ступінь використання ресурсів зчитування; α_3 - ресурси зчитування даних.
	k=1,2,3,4 відповідні напрямки руху диференційованих потоків даних джерела інформації;
	k=1,2,3,4 відповідні напрямки руху диференційованих потоків даних пункту обробки інформації
	Залежний приймач, де k=1,2,3,4 відповідні напрямки приймання даних, один з яких є напрямком формування даних.
	Незалежний приймач, де k=1,2,3,4 відповідні напрямки приймання даних; $P_0 - V_0$ - прибутки та витрати на формування бази даних та їх використання
	$P - V = \sum_{k=1}^{4} P_k - \sum_{k=1}^{4} V_k$, де відповідно $P - V$ - сумарні, а $P_k - V_k$ - диференційовані прибутки та витрати
	C_k - відповідні диференційовані типи фізичних носіїв інформації або ліній передавання даних; M_k - відповідні диференційовані типи документів, алгоритмів обробки даних, моделей об'єктів згідно відповідних класифікацій.

			$z_i \Rightarrow C_k.M_k(P_k - V_k)$

Таким чином, на основі введених атрибутів БДММРД кожен активний елемент даної моделі описується функціоналом:

$$R.Z_k = R.D_i.O_j.a.b.C_k.M_k.d_k(P_k - V_k), \qquad (13.1)$$

де R – номер підсистеми; D_iO_j – ідентифікатор активного вузла ММ підсистеми КС; a.b. – часові параметри початку та тривалості виконання операції; C_k – тип носія, операції та каналу передавання даних; M_k – тип моделі джерела інформації, документа, алгоритму обробки даних; d_k – час передавання інформації; P_k-V_k – відповідна диференційована собівартість руху даних.

На рис.13.3 приведений приклад формалізованого подання БДММРД на основі атрибутів табл. 13.1.та структури рис.13.2.

У функціоналі (13.1) параметри C_k та M_k вибираються з відповідних класифікаторів і використовуються для побудови похідної багаторівневої граф-алгоритмічної моделі у СКС.

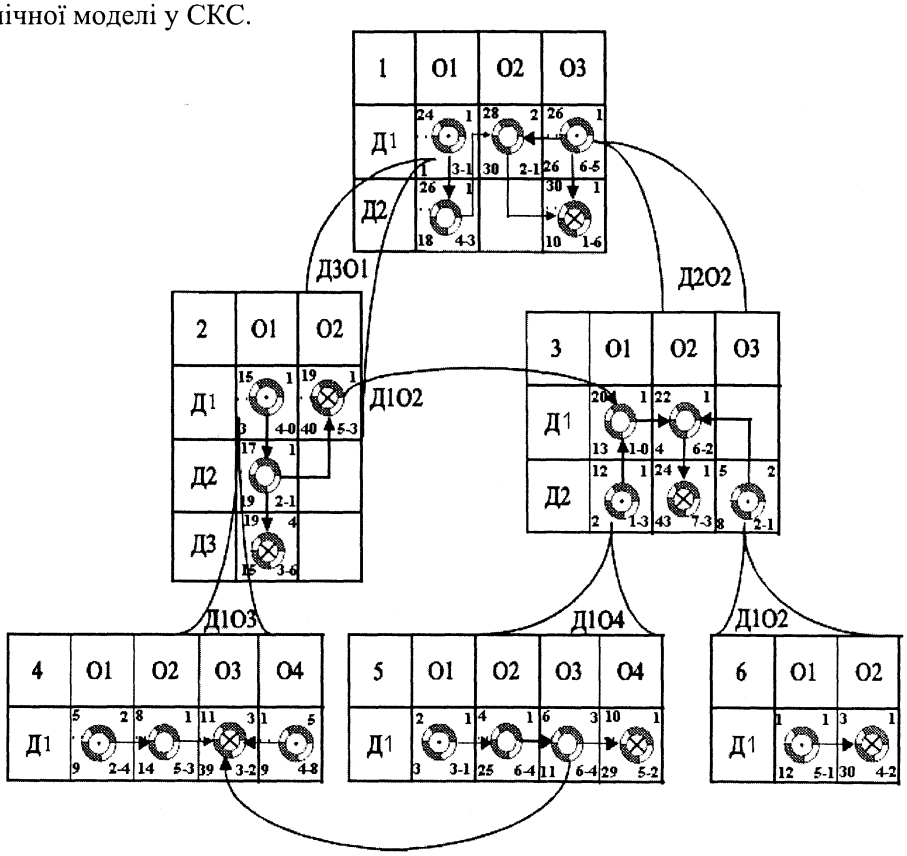


Рис.13.3. Трирівнева модифікована матрична МРД.

Процедура діалогу оператора по проектуванню та розрахунку характеристик руху даних на основі БДММРД повинна включати можливість його взаємодії з різними агрегатами, які відповідають підсистемам КС (рис.13.4).

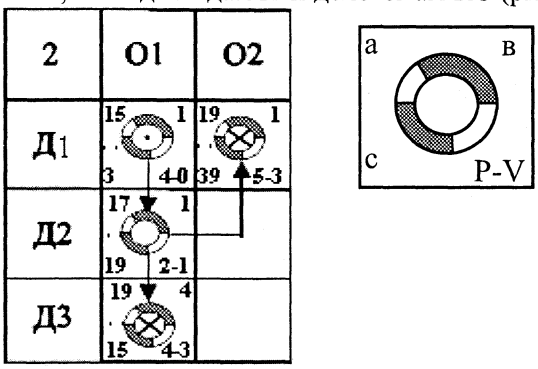


Рис.13.4. Агрегати різних рівнів БДММРД

Кожна підсистема МРД описується списком ідентифіковано-диференційованих даних кожного атрибута БДММРД всіх її активних вузлів згідно рис.13.3:

$$
\begin{aligned}
&6.Д1.O1.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&6.Д1.O2.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2\text{-}V_2);\\
&5.Д1.O1.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&5.Д1.O2.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&5.Д1.O3.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&5.Д1.O3.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4\text{-}V_4);\\
&5.Д1.O4.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2\text{-}V_2);\\
&4.Д1.O1.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&4.Д1.O2.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&4.Д1.O3.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2\text{-}V_2);\\
&4.Д1.O4.a.b.C_1.M_1.d_1.(P_1\text{-}V_1);\\
&3.Д1.O1.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&3.Д1.O2.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4\text{-}V_4);\\
&3.Д2.O1.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2\text{-}V_2);\\
&3.Д2.O2.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2\text{-}V_2);\\
&3.Д2.O3.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2\text{-}V_2);\\
&2.Д1.O1.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4\text{-}V_4);\\
&2.Д1.O2.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&2.Д2.O1.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&2.Д2.O1.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4\text{-}V_4);\\
&2.Д3.O1.a.b.C_2.M_2.d_2.(P_2\text{-}V_2);\\
&1.Д1.O1.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4\text{-}V_4);\\
&1.Д1.O2.a.b.C_4.M_4.d_4.(P_4\text{-}V_4);\\
&1.Д1.O3.a.b.C_1.M_1.d_1.(P_1\text{-}V_1);\\
&1.Д2.O1.a.b.C_3.M_3.d_3.(P_3\text{-}V_3);\\
&1.Д2.O3.a.bC_0.M_0.d_0.(P_0\text{-}V_0);
\end{aligned}
\qquad (4.2)
$$

Розроблена формалізація атрибутів багаторівневих двовимірних модифікованих МРД суттєво розширює можливості проектування реальних промислових СКС, а також функціональні характеристики за рахунок диференціації документопотоків ТЕД та СД, а також відповідної диференціації циклів руху даних з врахуванням типів фізичних носіїв, каналів передавання даних, моделей джерел інформації, алгоритмів цифрової обробки даних, методів архівації та умов використання даних.

13.2. Цикли руху даних багаторівневих СКС.

Одним з найважливіших завдань розробки, впровадження та супроводження експлуатації розподіленої комп'ютерної системи є обгрунтування ефективності використання інформаційного, програмного та технічного забезпечення. При цьому оцінка ефективності використання СКС проводиться у декілька етапів.

На першому етапі показником ефективності використання інформаційної системи служить відносна трудомісткість процесу виконання типових операцій при існуючих і раціональних технологіях роботи підприємства.

На другому етапі оцінки ефективності необхідно визначити кількість типових операцій, які можна додатково виконати за одиницю часу відносно кількості виконуваних типових операцій при існуючих технологіях роботи та засобах комп'ютеризації.

Третій етап оцінки пов'язаний з визначенням терміну окупності витрат на розробку та експлуатацію СКС.

Оцінка ефективності використання СКС має важливе значення при прийнятті рішення про вибір системного проекту і дозволяє визначити:

- як зміниться ефективність роботи основних підрозділів при перерозподілі функцій між підрозділами порівняно з існуючим варіантом розподілу функцій;
- скільки операцій додатково можна буде виконати при впровадженні нових раціональних технологій роботи з врахуванням степені використання ресурсів КС;
- за скільки часу можна окупити вкладені кошти у розробку інформаційної системи, яка здійснює автоматизовану підтримку раціональних технологій роботи структурних підрозділів.

При цьому отримання числових характеристик проектованої або діагностованої відносно оцінки ефективності однорівневих КС може бути досягнуто шляхом побудови повної системи циклів руху даних, які відображають всі шляхи руху даних від джерел до приймачів інформації для прикладу багаторівневої архітектури КС, представленої ММ (рис.13.3):

Існуюча технологія побудови циклів руху даних орієнтованих для однорівневих КС, адекватно описує СКС у вигляді МРД, представленої на рис.13.3, оскільки приведена реалізація моделі не містить елементів розгалуження інформаційних потоків. При спробі побудувати повну систему циклів руху даних для МРД, які містять розгалуження інформаційних потоків, тобто їх диференціацію, існуючий спосіб побудови циклів руху даних не враховує відповідну диференціацію прибутків і витрат при формуванні диференційованих по

напрямках масивів даних у вигляді атрибуту P-V, що приводить до неадекватної завищеної інтегральної та глобальної оцінки собівартості руху даних в КС даного класу. Викладена в таблиці 13.1 формалізація атрибутів диференційованих потоків даних дозволяє розширити клас КС, ММ яких містять відповідні розгалуження (диференціацію) інформаційних потоків.

В результаті застосування запропонованого розширення атрибутів БДММРД досягнута можливість суттєвого підвищення точності оцінки собівартості руху диференційованих потоків даних в багаторівневих КС з розгалуженнями інформаційних потоків. При цьому, як видно з табл. 13.1, у випадку наявності k розгалужень в одному активному вузлі КС необхідно відповідно диференціювати потоки даних з числом не більше чотирьох в одному вузлі.

Повна система циклів руху даних БДММРД для реалізації моделі системи згідно рис.13.3 представлена на рис.13.5.

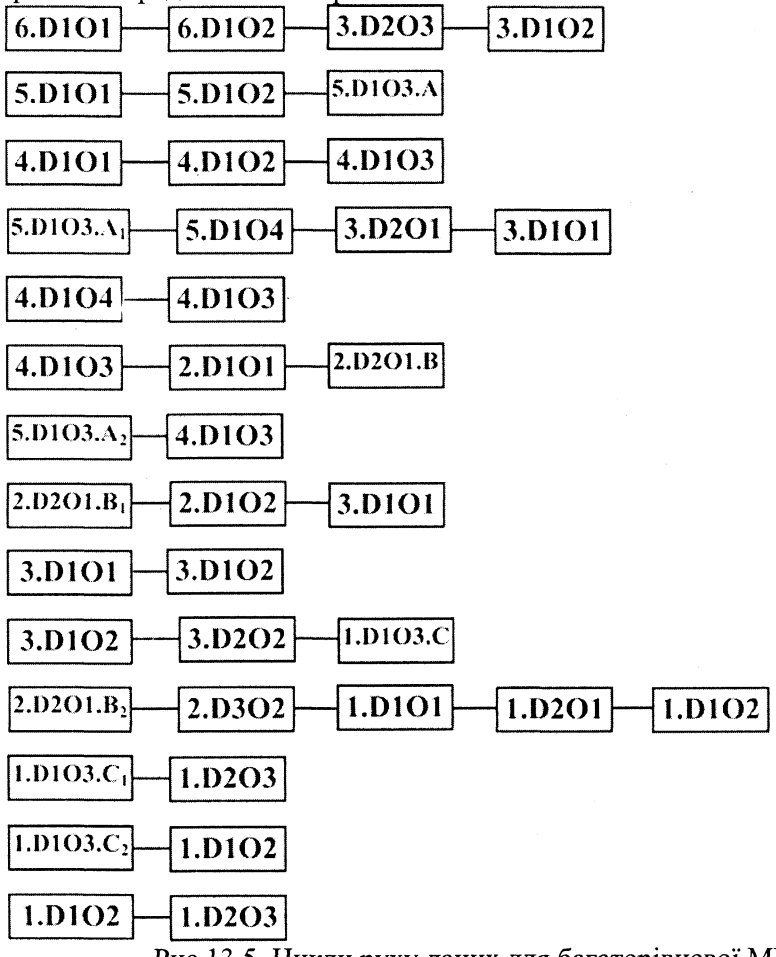


Рис.13.5. Цикли руху даних для багаторівневої ММРД.

13.3. Багаторівнева модель "граф – розгалужене дерево".

Формалізація багаторівневої МРД на прикладі моделі, представленої на рис.13.3 показана згідно функціонала $R.Z_k$ (13.1) системою рівнянь (13.2).

На рис. 13.6 показана багаторівнева модель "граф – розгалужене дерево", яка відповідає структурі рис.13.3. При цьому формалізація даної сукупності моделей "граф – розгалужене дерево" описується наступною системою рівнянь, яка розширює існуючий опис даної моделі:

$$\left.\begin{array}{l} 4.Д1.O1 : Д1.O2 \\ 4.Д1.O4 \\ 5.Д1.O1 : Д1.O2 \end{array}\right\} \in 4.Д1.O3;$$

$$5.Д1.O1 : Д1.O2 : Д1.O3\} \in 5.Д1.O4;$$

$$6.Д1.O1\} \in 6.Д1.O2;$$

$$4.Д1.O3 : 2.Д1.O1 : Д2.O1\} \in 2.Д3.O1;$$

$$4.Д1.O3 : 2.Д1.O1 : Д2.O1\} \in 2.Д1.O2;$$

$$\left.\begin{array}{l} 2.Д1.O2 : 3.Д1.O1 : Д1.02 \\ 5.Д1.O4 : 3.Д2.O1 : Д1.O1 : Д1.O2 \\ 6.Д1.O2 : 3.Д2.O3 : Д1.O2 \end{array}\right\} \in 3.Д2.O2;$$

$$\left.\begin{array}{l} 2.Д3.O1 : 1.Д1.O1 : Д2.01 : Д1.O2 \\ 3.Д2.O2 : 1.Д1.O3 \\ 3.Д2.O2 : 1.Д1.O3 : Д1.O2 \end{array}\right\} \in 1.Д2.O3.$$

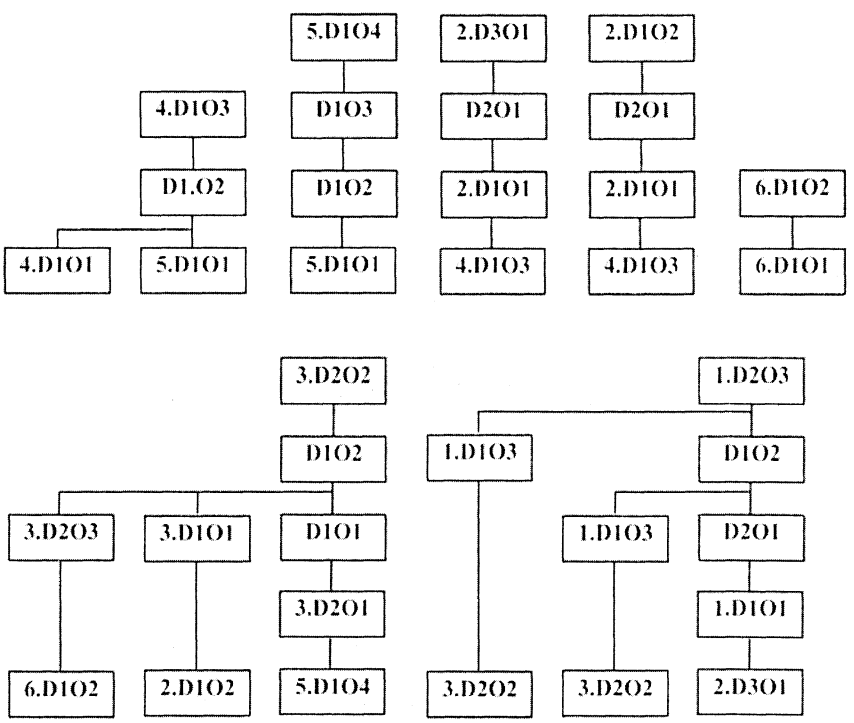


Рис.13.6. Компоненти багаторівневої моделі "граф – розгалужене дерево" для окремих приймачів інформаційних потоків.

13.4. Інтегрована модель "граф – розгалужене дерево".

Інтегрована модель "граф - розгалужене дерево" побудована на основі моделей рис.13.6 показана на рис.13.7.

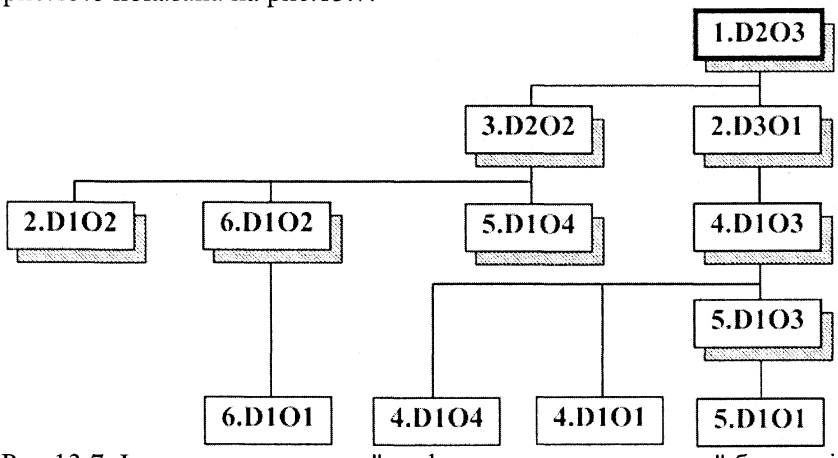


Рис.13.7. Інтегрована модель "граф - розгалужене дерево" багаторівневої СКС.

При побудові інтегрованої моделі "граф - розгалужене дерево" багаторівневої СКС запропоноване розширення атрибутів, які використовуються у відповідних моделях КС наступного типу (табл.13.2.):

Таблиця 13.2

Символ атрибута багаторівневої інтегрованої моделі "граф – розгалужене дерево"	Пояснення
1.DiOj	Вершина багаторівневої моделі "граф – розгалужене дерево", яка символізує глобальний незалежний приймач багаторівневої СКС, представлений генеральним адміністратором системи, архівом, базою даних та центральним сервером або комп'ютерним кластером.
K.DiOj	Залежний приймач k-го рівня системи, який виконує функції міжрівневого джерела інформації. - атрибут наявності структури підсистеми.
K.DiOj	Незалежне джерело інформації, яке представляє СД та моделі ОУ низового технологічного рівня КС, що формуються в реальному масштабі часу мікропроцесорними програмно-апаратними засобами (інтелектуальними та автономними сенсорами, БАЦП, мікроконтролерами та контролерами низових мереж).

13.5 Параметрична часова модель багаторівневої СКС.

Параметрична часова модель (рис.13.8) структурно демонструє необхідні інтервали проектованого регламентного часу виконання системних операцій активними вузлами СКС, згрупованих по ознаках джерел, пунктів обробки та приймачів інформації. Дана модель використовується для розрахунку необхідних часових, апаратурних або людино-машинних ресурсів для реалізації конкретних системних операцій в багаторівневій СКС.

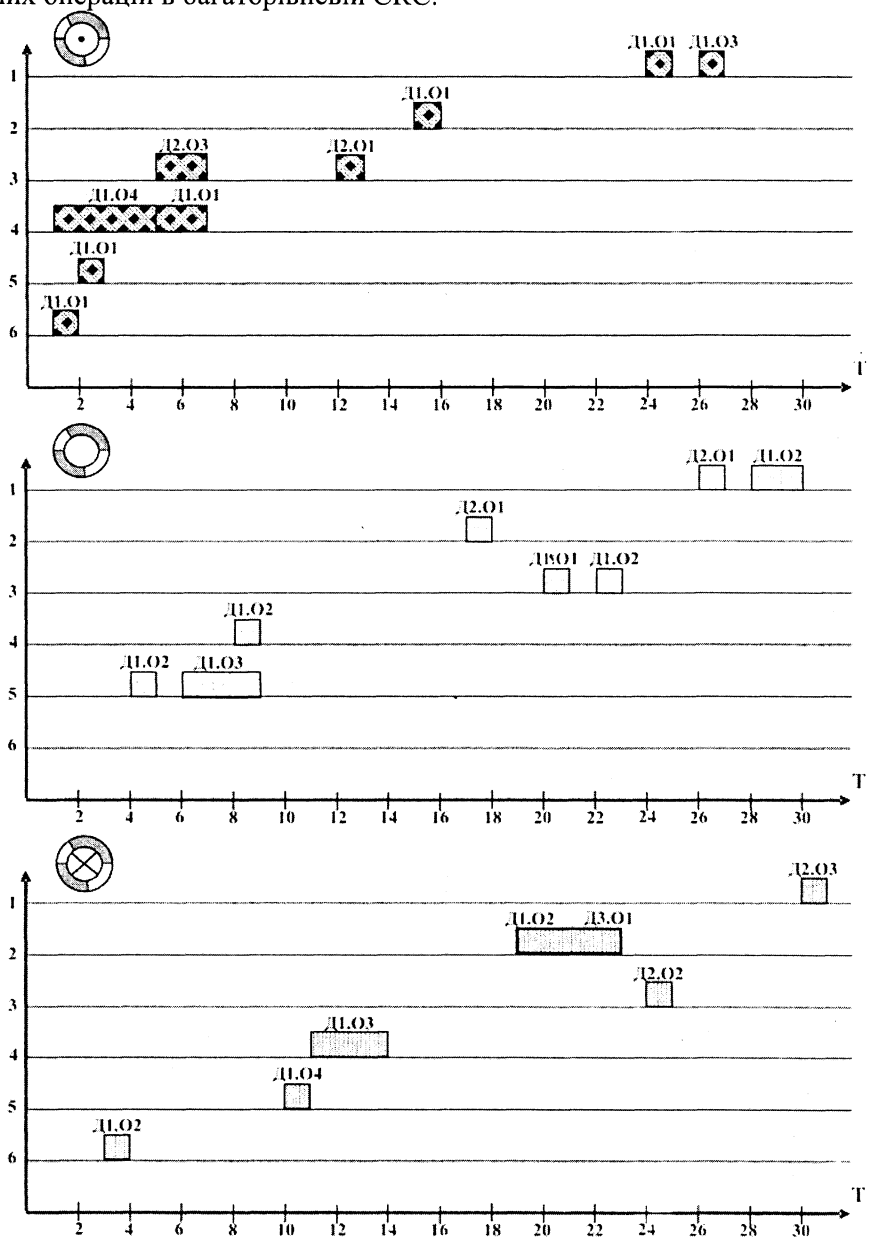


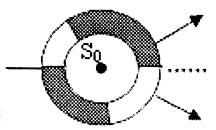
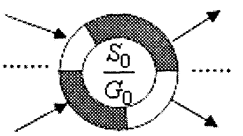
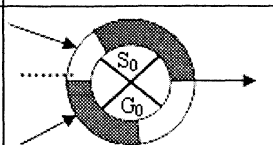
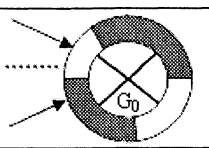
Рис.13.8. Параметрична часова модель багаторівневої СКС.

По відношенню до існуючих однорівневих параметричних часових моделей атрибути запропонованої багаторівневої параметричної часової моделі БДММРД:

представлені на рис.13.8, містять додаткову інформацію про сумарні ступені використання ресурсів активних вузлів СКС по запису та читанню інформаційних потоків згідно формул табл.13.1:

Параметри потенційних ресурсів активного вузла МРД повинні відповідати умовам несуперечливості згідно нерівностей, поданих у табл. 13.3 на основі атрибутів модифікованих МРД.

Таблиця 13.3

Тип вузла матричної моделі	Символ	Умова непротиречивості
Джерело даних		$S_0 > \sum_{i=1}^{n} S_i$
Пункт обробки даних		$S_0 > \sum_{i=1}^{n} S_i$ $G_0 > \sum_{j=1}^{m} S_j$
Запежний приймач даних		$S_0 > \sum_{i=1}^{n} S_i$ $G_0 > \sum_{j=1}^{m} S_j$
Незапежний приймач даних		$G_0 > \sum_{j=1}^{m} S_j$

Формалізація параметричної часової моделі багаторівневої СКС виконується на основі ідентифікаторів активних вузлів БДММРД представлена наступним чином:

6.D1O1.1.b_{11}; D1O2.3.b_{12};

5.D1O1.1.b_{11}; D1O2.2.b_{12}; D1O3.2.b_{13}; D1O4.3.b_{14};

4.D1O1.1.b_{11}; D1O4.1.b_{14}; D1O2.2.b_{12}; D1O3.3.b_{13};

3.D2O1.1.b_{21}; D2O3.1.b_{23}; D1O1.2.b_{11}; D1O2.2.b_{12}; D2O2.3.b_{22};

2. D1O1.1.b_{11}; D2O1.2.b_{21}; D3O4.3.b_{34}; D1O2.3.b_{12};

1. D1O1.1.b_{11}; D1O3.1.b_{13}; D2O1.2.b_{21}; D1O2.2.b_{12}; D2O3.3.b_{23},

де символи 1, 2, 3 перед ідентифікатором часової тривалості виконання операцій b_{ij}, відповідно ідентифікують атрибути: джерело, пункт обробки та пункт приймання.

Впорядкована таблиця атрибутів згідно часової причинності формування даних джерелами інформації, обробки даних в активних вузлах системи та архівації і використання даних приймачами інформаційних потоків приведена до вигляду:

6.D1O1.1.b_{11};	5.D1O2.2.b_{12};	6.D1O2.3.b_{12};
5.D1O1.1.b_{11};	5.D1O3.2.b_{13};	5.D1O4.3.b_{14};
4.D1O1.1.b_{11};	4.D1O2.2.b_{12};	4.D1O3.3.b_{13};
4.D1O4.1.b_{14};	3.D1O1.2.b_{11};	3.D2O2.3.b_{22};
3.D2O1.1.b_{21};	3.D1O2.2.b_{12};	2.D3O4.3.b_{34};
3.D2O3.1.b_{23};	2.D2O1.2.b_{21};	2.D1O2.3.b_{12};
2.D1O1.1.b_{11};	1.D2O1.2.b_{21};	1.D2O3.3.b_{23}
1.D1O1.1.b_{11};	1.D1O2.2.b_{12};	
1.D1O3.1.b_{13};		

Згідно ідентифікаторів активних вузлів багаторівневої МРД побудована відповідна параметрична часова модель.

Таким чином, розроблена вдосконалена формалізація та технологія побудови параметричних часових моделей багаторівневих СКС суттєво покращує її інформаційні характеристики, в тому числі враховує новий, по відношенню до існуючих моделей, параметр інтегрального використання часових ресурсів в активних вузлах МРД, а також враховує часові зміщення термінів формування, обробки та використання даних в багаторівневих СКС.

13.6. Структурно-часова модель багаторівневої СКС.

Формалізація параметрів структурно-часової моделі для багаторівневої СКС, представленої на рис.13.3, записується у вигляді логічного рівняння:

$$D_iO_j.1 : D_iO_j.2 \wedge (D_iO_j.1 \wedge ... D_iO_j.2 : D_iO_j.2) : D_iO_j.3 : D_iO_j.3,$$

де $\wedge$ - символ кон'юнкції Булевої алгебри логіки.

Структурно-часова модель багаторівневої СКС описується логічним рівнянням (13.3) та системою рівнянь, яка відображає диференційовані цикли руху даних (13.4). Дана модель (рис.13.9) відображає часову послідовність (причинність) системних функцій в активних вузлах БММРД і дозволяє на стадії проектування або модернізації СКС розкрити часові неузгодження руху даних та скоректувати ресурси мережі відповідно з вдосконаленою структурою руху даних.

$$\begin{aligned}&(6.D1O1.1 : 6.D1O2.3 : 3.D2O3.1 \wedge (5.D1O1.1 : 5.D1O2.2 : 5.D1O3.2.A_1 :\\ &: 5.D1O4.3 : 3.D2O1.1) \wedge (5.D1O3.2.A \wedge 4.D1O1.1 : 4.D1O2.2 \wedge 4.D1O4.1) :\\ &: 4.D1O3.3 : 2.D1O1.1 : 2.D2O1.2.B : 3.D1O2.3)) : 3.D1O1.2) : 3.D1O3.2 :\\ &: 3.D2O3.3 : 1.D1O3.1.C \wedge (2.D2O1.2.B : 2.D3O2.3 : 1.D1O1.1 : 1.D2O1.2) :\\ &: 1.D1O2.2 \wedge 1.D1O3.1.C : 1.D2O3.3.\end{aligned} \qquad (13.3.)$$

$$
\begin{aligned}
&(6.D1O1.1.a_{11} : 6.D1O2.3.a_{12} : 3.D2O3.1.a_{23} : 3.D1O2.2.a_{12}) \wedge 3.D1O1.2.a_{12};\\
&5.D1O1.1.a_{11} : 5.D1O2.2.a_{12} : 5.D1O3.2.a_{13};\\
&(5.D1O3.2.a_{13}.A_2 \wedge 4.D1O1.1.a_{11} : 6.D1O2.2.a_{12} \wedge 4.D1O4.1.a_{14}) : 4.D1O3.3.a_{13};\\
&(5.D1O3.2.a_{13}.A_1 : 5.D1O4.3.a_{14} : 3.D2O1.1.a_{11}) \wedge\\
&\wedge (2.D2O1.2.a_{21}.B_1 : 3.D1O2.3.a_{12}) : 3.D1O1.1.a_{11};\\
&(3.D1O2.2.a_{12} : 3.D2O2.3.a_{22} : 1.D1O3.1.a_{13}.C;\\
&(2.D2O1.2.a_{21}.B_2 : 2.D3O2.3.a_{32} : 1.D1O1.1.a_{11} : 1.D2O1.2.a_{21}) \wedge\\
&\wedge 1.D1O3.1.a_{13}.C_2 : 1.D1O2.2.a_{12} : 1.D1O2.2.a_{12};\\
&1.D1O3.1.a_{13}.C_1 \wedge 1.D1O2.2.a_{12} : 1.D2O2.3.a_{23}.
\end{aligned}
\tag{13.4}
$$

В приведеній на рис.13.9 багаторівневій структурно-часовій моделі запропоновано використати модифіковану систему атрибутів вершин, яка дозволяє в значній мірі покращити ергономічну якість відображення злиття та розгалуження інформаційних потоків в СКС з ідентифікацією конкретних атрибутів МРД типу джерело інформації, пункт обробки та пункт приймання даних у відповідних в активних вузлах БММРД.

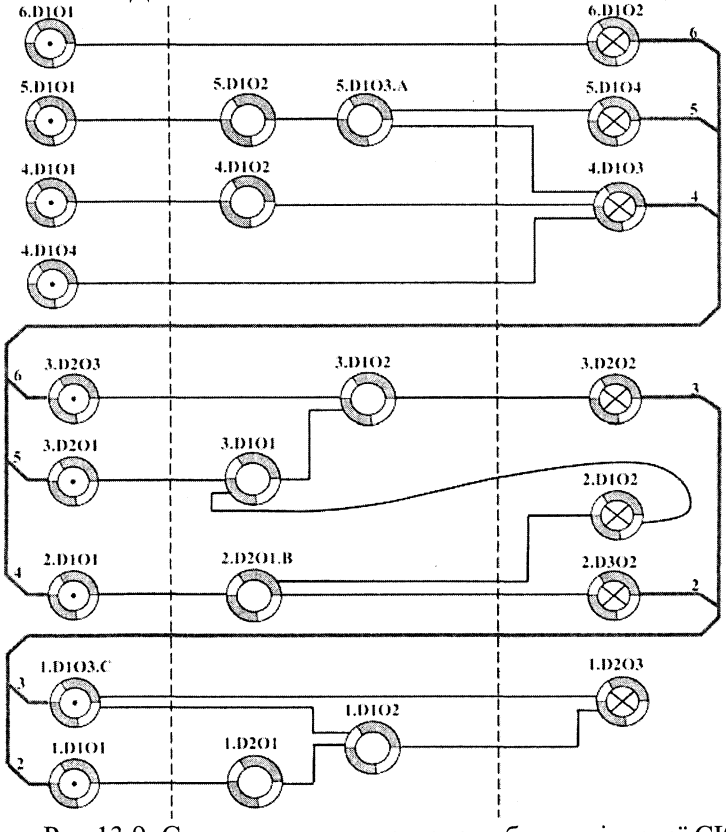


Рис.13.9. Структурно-часова модель багаторівневої СКС.

Дослідження ефективності способу представлення багаторівневих структурно-часових моделей по відношенню до існуючих методів, подано в розділі 13.12.

13.7. Багаторівнева модель "мережевий графік".

Формалізація багаторівневої моделі "мережевий графік" (рис.13.10) виконується згідно з існуючою методикою побудови описується масивом ідентифікаторів початку виконання операцій в активних вузлах моделі (13.5) та впорядкованою таблицею активних атрибутів з ознакою початку виконання операції на різних рівнях СКС (13.6):

6.D1O1.1.a_{11}; D1O2.3.a_{12};
5.D1O1.1.a_{11}; D1O2.2.a_{12}; D1O3.2.a_{13}; D1O4.3.a_{14};
4.D1O1.1.a_{11}; D1O4.1.a_{14}; D1O2.2.a_{12}; D1O3.3.a_{13};
3.D2O1.1.a_{21}; D2O3.1.a_{23}; D1O1.2.a_{11}; D1O2.2.a_{12}; D2O2.3.a_{22}; (13.5)
2. D1O1.1.a_{11}; D2O1.2.a_{21}; D3O2.3.a_{34}; D1O2.3.a_{12};
1. D1O1.1.a_{11}; D1O3.1.a_{13}; D2O1.2.a_{21}; D1O2.2.a_{12}; D2O3.3.a_{23}.

6.D1O1.1.a_{11};	5.D1O2.2.a_{12};	6.D1O2.3.a_{12};	
5.D1O1.1.a_{11};	5.D1O3.2.a_{13};	5.D1O4.3.a_{14};	
4.D1O1.1.a_{11};	4.D1O2.2.a_{12};	4.D1O3.3.a_{13};	
4.D1O4.1.a_{14};	3.D1O1.2.a_{11};	3.D2O2.3.a_{22};	(13.6)
3.D2O1.1.a_{21};	3.D1O2.2.a_{12};	2.D3O2.3.a_{32};	
3.D2O3.1.a_{23};	2.D2O1.2.a_{21};	2.D1O2.3.a_{12};	
2.D1O1.1.a_{11};	1.D2O1.2.a_{21};	1.D2O3.3.a_{23}.	
1.D1O1.1.a_{11};	1.D1O2.2.a_{12};		
1.D1O3.1.a_{13};			

Таблиця диференційованих направлених бінарних зв'язків від джерел до приймачів:

6.D1O1.1.a_{11}:6.D1O2.2.a_{12};

5.D1O1.1.a_{11}: 5.D1O2.2.a_{12};	3.D2O2.3.a_{22}: 3.D1O2.2.a_{12};
4.D1O1.1.a_{11}: 4.D1O2.2.a_{12};	3.D2O1.1.a_{21}: 3.D1O1.2.a_{11};
4.D1O4.1.a_{14}: 4.D1O3.3.a_{13};	2.D1O1.1.a_{11}: 2.D2O1.2.a_{21};
5.D1O2.2.a_{12}: 5.D1O3.2.a_{13}.A_1;	3.D1O1.2.a_{11}: 3.D1O2.2.a_{12};
5.D1O3.2.a_{13}.A_1: 5.D1O4.3.a_{14};	3.D1O2.2.a_{12}: 3.D2O2.3.a_{22};
5.D1O3.2.a_{13}.A_2: 4.D1O3.3.a_{13};	3.D1O2.2.a_{12}: 3.D1O1.2.a_{11};
4.D1O2.2.a_{12}: 4.D1O3.3.a_{13};	2.D2O1.2.a_{21}.B_1: 3.D1O2.2.a_{12};
6.D1O2.3.a_{12}: 3.D2O3.1.a_{23};	2.D2O1.2.a_{21}.B_2: 2.D3O2.3.a_{32};
5.D1O4.3.a_{14}: 3.D2O1.1.a_{21};	3.D2O2.3.a_{22}: 1.D1O3.1.a_{13}.C;
4.D1O3.3.a_{13}: 2.D2O1.2.a_{21};	2.D3O2.3.a_{32}: 1.D1O1.1.a_{11};
1.D1O3.1.a_{13}.C_1: 1.D2O3.3.a_{23};	1.D2O1.2.a_{21}: 1.D1O2.2.a_{12};
1.D1O3.1.a_{13}.C_2: 1.D1O2.2.a_{12};	1.D1O2.2.a_{12}: 1.D2O3.3.a_{23}.
1.D1O1.1.a_{11}: 1.D2O1.2.a_{21};	

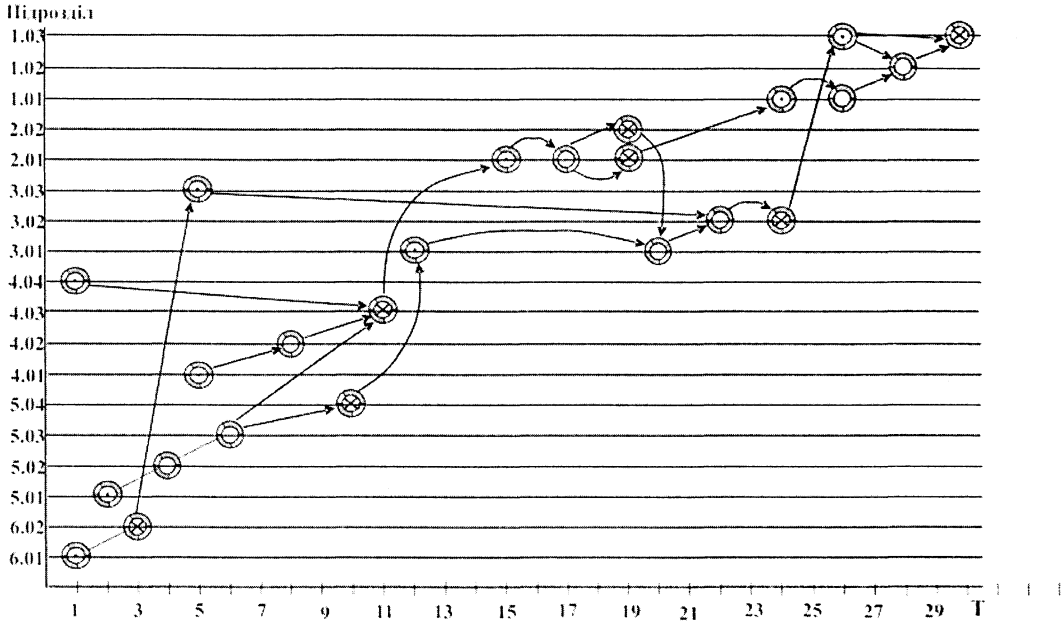


Рис.13.10. Модель "мережевий графік" руху даних багаторівневої СКС.

По відношенню до існуючої методики побудови моделі – "мережевий графік" одноріневої СКС в математичному описі даної моделі багаторівневих СКС вилучена таблиця направлених зв'язків від джерел до приймачів, оскільки вона може бути адекватно представлена для простих архітектур СКС, а при зростанні складності архітектури, особливо для багаторівневих СКС, число таких шляхів мультиплікативно-комбінаторно зростає в залежності від сумарного числа джерел, проміжних пунктів розгалуження та об'єднання інформаційних потоків та сумарного числа приймачів інформації. Крім того, новизна запропонованого представлення моделі "мережений графік" полягає у використанні атрибутів ММРД , які несуть додаткову інформацію про ступінь використання ресурсів в активних вузлах КС. Оцінка графа структурної складності такої моделі, у порівнянні з іншими моделями, приведена в розділі 13.12.

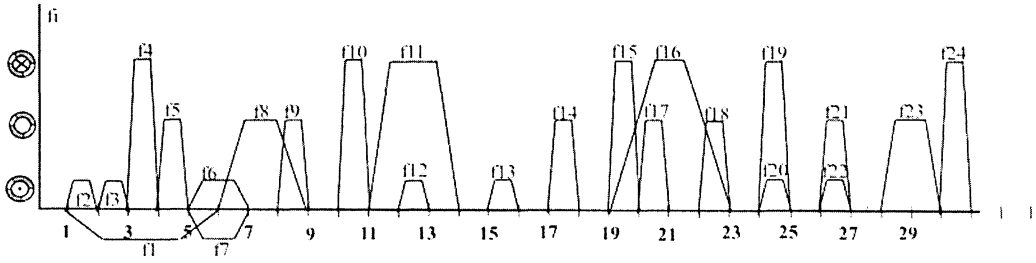
13.8. Модель "суміщений часовий граф" багаторівневої СКС.

Формалізація багаторівневої моделі "суміщений часовий граф" описується функціоналом (13.7) та представлена на рис.13.11.

$$f_i = K.D_iO_j.d.(a_{ij} + b_{ij}), \qquad (13.7)$$

де К – номер рівня СКС; D_iO_j – ідентифікатор активного вузла БММРД; d – ідентифікатор джерела, пункту обробки та пункту приймання даних; a_{ij}, b_{ij} – відповідно початок та тривалість виконання системних функцій f_i.

Реалізація моделі "суміщений часовий граф" та таблиця ідентифікаторів функції f_i згідно функціоналу (13.7) для багаторівневої СКС (рис.13.3) приведена на рис.13.11.



f1-4.D1O4;	f7-3.D2O3;	f13-2.D1O1;	f19-3.D2O2;
f2-6.D1O1;	f8-5.D1O3;	f14-2.D2O1;	f20-1.D1O1;
f3-5.D1O1;	f9-4.D1O2;	f15-2.D1O2;	f21-1.D2O1;
f4-6.D1O2;	f10-5.D1O4;	f16-2.D3O1;	f22-1.D1O3;
f5-5.D1O2;	f11-4.D1O3;	f17-3.D1O1;	f23-1.D1O2;
f6-4.D1O1;	f12-3.D2O1;	f18-3.D1O2;	f24-1.D2O3.

Рис.13.11. Модель "суміщений часовий граф" руху даних багаторівневої СКС.

Розроблена формалізація та графічне представлення даної моделі для багаторівневих СКС характеризується новизною, підвищеною інформативністю та розширеними функціональними можливостями, суть якої полягає в тому, що в моделі проведена диференціація системних операцій згідно ідентифікатора d, який визначає тип активного вузла архітектури СКС. Це дозволяє підвищити коректність та достовірність аналізу адекватності даної моделі реальній архітектурі проектованої СКС.

13.9. Модель "блок-схема алгоритму" руху даних багаторівневої СКС

Модель блок-схеми алгоритму обробки даних для БДММРД будується згідно системи нерівностей.

$$f_i.1=\begin{cases} f_1, 1<T<6; \\ f_2, 1<T<2; \\ f_3, 2<T<3; \\ f_6, 5<T<7; \\ f_7, 5<T<7; \\ f_{12}, 12<T<13; \\ f_{13}, 15<T<16; \\ f_{20}, 24<T<25; \\ f_{22}, 26<T<27; \end{cases} \quad f_i.2=\begin{cases} f_5, 4<T<5; \\ f_8, 6<T<9; \\ f_9, 8<T<9; \\ f_{14}, 17<T<18; \\ f_{17}, 20<T<21; \\ f_{18}, 22<T<23; \\ f_{21}, 26<T<27; \\ f_{23}, 28<T<30; \end{cases} \quad f_i.3=\begin{cases} f_4, 3<T<4; \\ f_{10}, 10<T<11; \\ f_{11}, 11<T<14; \\ f_{15}, 19<T<20; \\ f_{16}, 19<T<23; \\ f_{19}, 24<T<25; \\ f_{24}, 30<T<31. \end{cases}$$

Реалізація логічного графа алгоритму руху даних БДММРД, який є основою для побудови адекватної моделі "блок-схема алгоритму", побудованого згідно методики, приведена на рис.13.12.

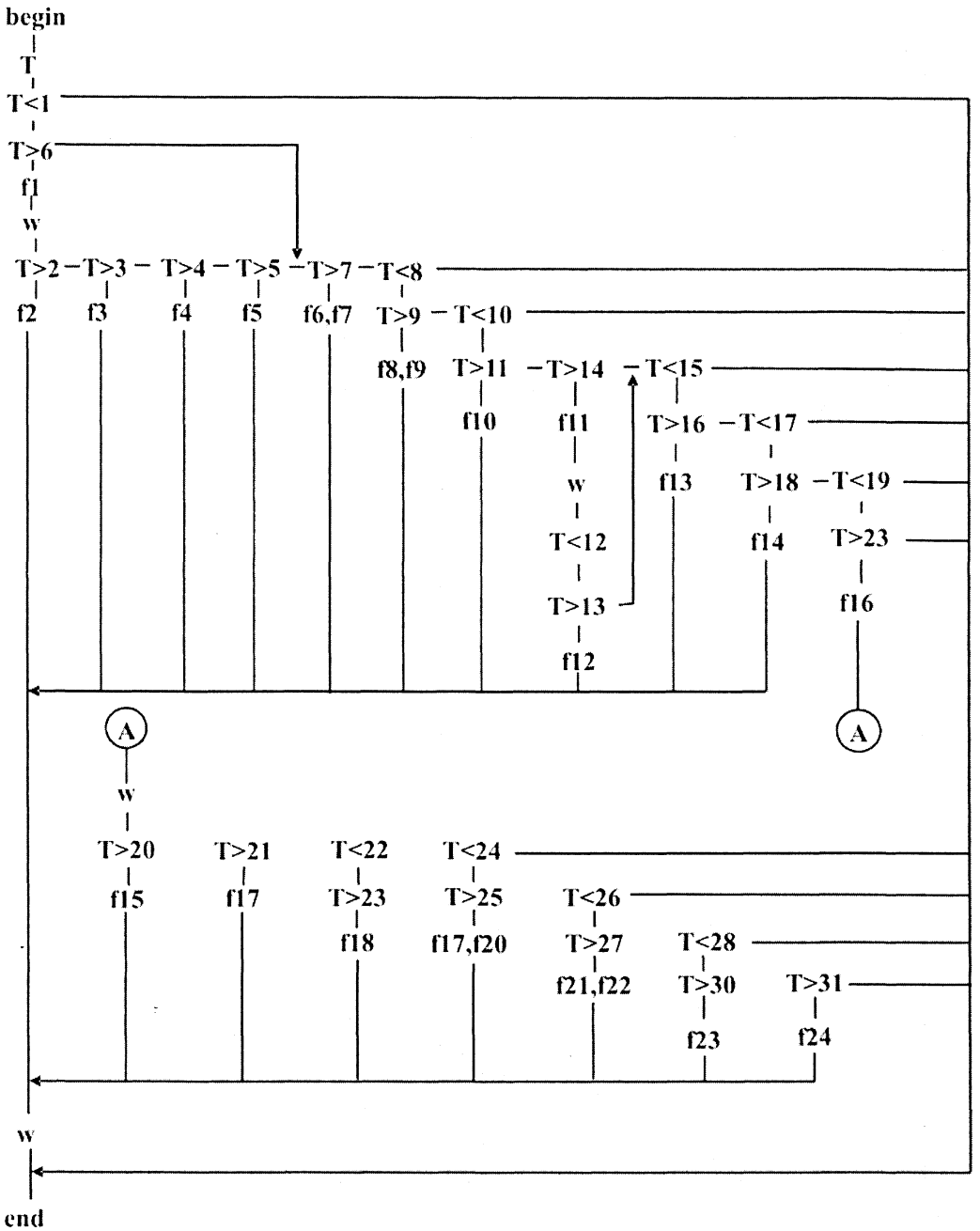


Рис.13.12. Логічний граф руху даних та виконання системних функцій багаторівневої СКС.

Модель "блок-схема алгоритму" повністю має структуру аналогічну структурі логічного графа і виконується формальним шляхом згідно стандартних атрибутів і представлена на рис.13.13.

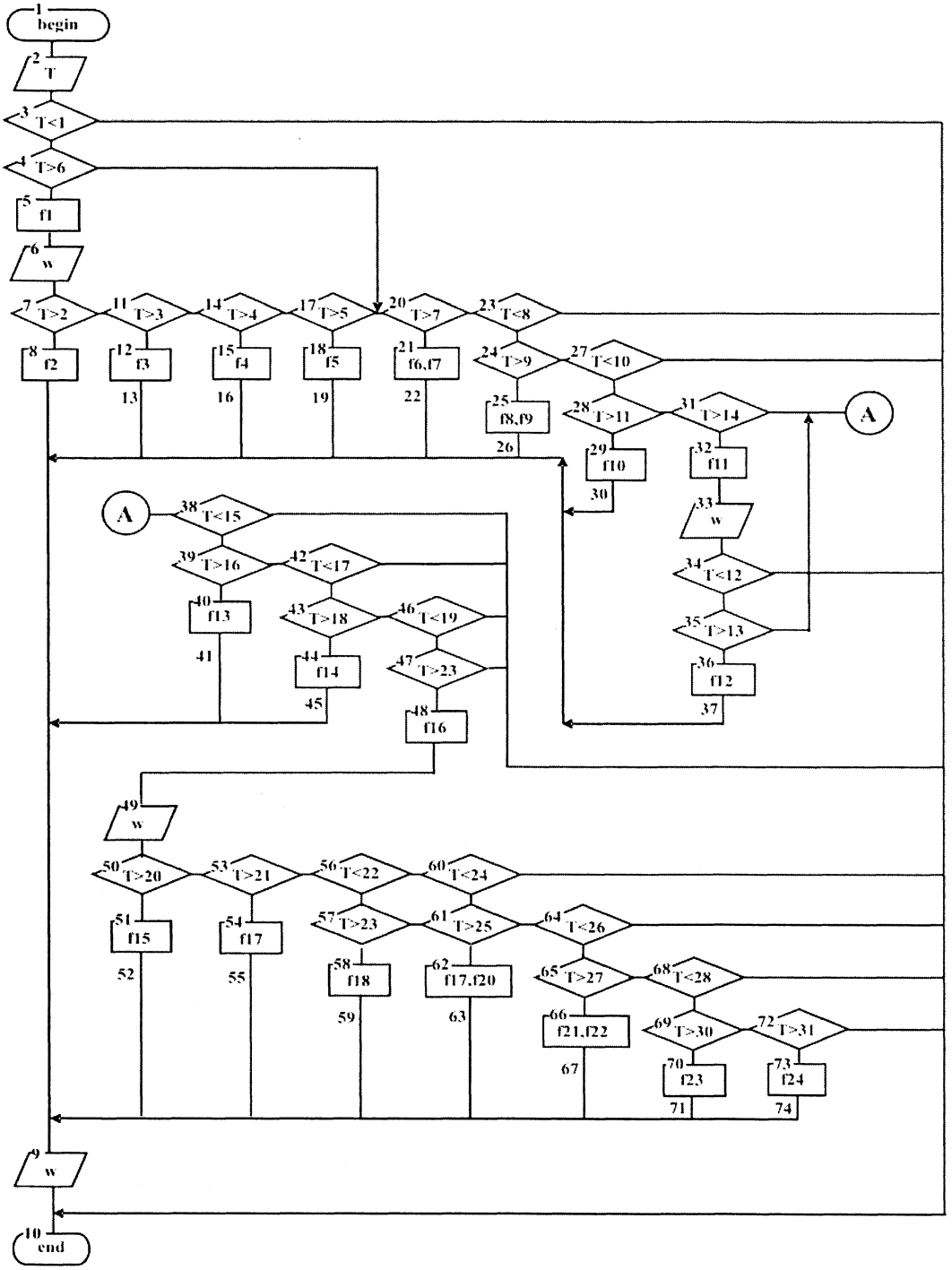


Рис.13.13. Модель "блок-схема алгоритму" обробки даних багаторівневої СКС.

Модель "блок-схема алгоритму" обробки даних в багаторівневих СКС є принципово важливою, оскільки враховує процеси розпаралелення та об'єднання інформаційних потоків на відповідних рівнях та міжрівневих інформаційних зв'язках, що дозволяє значно підвищити оперативність діагностики регламентності виконання системних функцій в реальному масштабі часу досліджуваних або проектованих СКС.

Дана технологія побудови моделі "блок-схеми алгоритму" для систем реального часу дозволяє формалізовано створити програмне забезпечення на будь-якій мові високого рівня, оскільки характеризується мінімальним числом операторів. При чому:

- нумерація операторів програмного забезпечення виконується простим способом шляхом їх нумерації по вертикальних фрагментах моделі "блок-схема алгоритму" з необхідною вставкою після виконання відповідних функцій (f_i);
- об'єднання інформаційних потоків вставкою номера оператора безумовного переходу "Go to", який не має графічних позначень на блок-схемах, передбачених стандартами;
- при виконанні умови в умовному операторі логічний граф поширюється вправо, а в протилежному випадку поширюється вниз.

Даний клас існуючих похідних моделей, які вдосконалені на основі запропонованої диференціації інформаційних потоків, достатньо повно описує інформаційні процеси в багаторівневих СКС, але в той же час не відображає параметрів (C_k та M_k) функціоналу (13.1), які несуть інформацію про типи виконуваних операцій, фізичні носії даних, моделі джерел інформації та типи використовуваних каналів зв'язку в СКС. Тому актуальною задачею є розширення сукупності існуючих похідних моделей руху даних в складних багаторівневих СКС на основі побудови важливих класів моделей типу:

- циклів руху даних;
- епюр собівартості циклів руху даних;
- епюр ступеня використання ресурсів в активних вузлах СКС;
- граф-алгоритмічних моделей СКС.

13.10. Граф-алгоритмічні моделі багаторівневої СКС.

Побудова граф-алгоритмічної моделі, яка запропонована як розширення сукупності моделей руху даних, визначається функціоналом F_4:

$$F_4\left[БРМ_1, ДД, БРДММРД, ..., Д(M_n + ГАМ)\right],$$

де $БРМ_1$ – багаторівнева матрична модель (типу рис.13.3);

ДД – дифенційовані дані;

Існуюча технологія побудови граф-алгоритмічних моделей характеризується наступними недоліками:

- обмежені функціональні можливості, які не дозволяють їх використати для побудови відповідних моделей багаторівневих СКС;
- відсутня можливість відображення моделей джерел інформації, передбачена функціоналом (13.1), та аналітики цифрової обробки даних у відповідних активних вузлах СКС;

- обмежене число атрибутів ліній зв'язку, яке не дозволяє відобразити сучасні Ethernet-технології передавання даних.

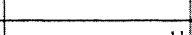
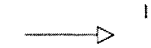
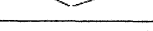
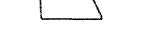
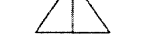
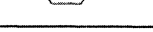
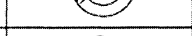
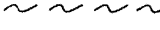
З метою розширення функціональних можливостей та підвищення адекватності відображення руху даних в складних багаторівневих СКС на основі граф-алгоритмічних моделей запропоновано модифікацію таблиці системи атрибутів даного класу моделей (табл.13.4).

Формалізація граф-алгоритмічної моделі виконується згідно параметрів циклів руху даних та атрибутів (с) багаторівневої матричної моделі, символи яких вибираються згідно номерів з табл.11.1 та параметрів функціонала (13.1), а символ моделі вибирається з функціонала та табл.13.1. При відсутності реалізації алгоритму формування конкретної моделі ОУ в активному вузлі БММРД символ моделі не включається у формалізований опис граф-алгоритмічної моделі.

Таблиця 13.4

№ п/п	Позначення		Зміст позначення
1		6	Незалежна пам'ять
2		9	Автономна пам'ять
3		8	Тверда копія документа
4		19	Звукові вид. вивід
5		6	Мишка
6		14	Магнітно-оптичний диск
7		13	Магнітна дискета
8		4	Оптичний диск
9		13	Автономний сенсор
10		21	Архів
11		12	Магнітна карта
12		25	Модем
13		15	Дисплей
14		12	Процес
15		12	Рішення
16		18	Модифікація
17		22	Конкретизований процес
18		12	Ручна операція
19		20	Допоміжна операція
20		12	Ручний ввід
21		3	Оптичний канал
22		12	Ввід-вивід
23		4	Пуск-зупинка
24		18	Ручний документ
25		12	Оператор
26		10	Джерело-приймач
27		15	Злиття
28		15	Відділення
29		15	Групування
30		15	Сортування
31		1	Сторінковий з'єднувач
32		15	Міжсторінковий з'єднувач

Продовження табл.13.4

33		1	Безпосередня передача	49		3	Інфрачервоний канал зв'язку
34		2	Інформаційний потік	50		3	Волоконно-оптичні лінії зв'язку
35		2	Дублювання передачі	51		11	Степінь використання лінії зв'язку C=0,1,0.2,..., 1.0
36		7	Канал зв'язку	52		18	Джерело з інтерактивним управлінням
37		12	Матеріальний потік	53		17	Інтерактивно-керований пункт обробки даних
38		18	Розшифрування	54		31	Інтерактивно-керований пункт приймання даних
39		16	Кодування	55		13	Джерело міжрівневих зв'язків
40		13	Копіювання	56		12	Пункт приймання з міжрівневими зв'язками
41		12	Автономна обробка	57		17	Пункт обробки з міжрівневими зв'язками
42		3	Інтернет	58		7	Джерело з ознаками використання ресурсів
43		18	Мобільний зв'язок	59		6	Пункт обробки з ознаками використання ресурсів
44		4	Супутниковий зв'язок	60		19	Пункт приймання з ознаками використання ресурсів
45		3	Зверх високочастотний зв'язок	61		10	Неінтерактивне джерело
46		3	Зворотній зв'язок інтерактивного управління	62		17	Пункт обробки даних
47		3	Ефернет – 10 Мбіт/с	63		16	Незалежний приймач
48		3	Ефернет – 100 Мбіт/с	64		18	Залежний приймач

Дана таблиця розширена від 41 існуючого числа атрибутів до 64 символів, що передбачає їх подальше розширення та 8-бітове кодування, аналогічне кодуванню алфавітно-цифрових даних. В основу здійсненого розширення числа атрибутів граф-алгоритмічних моделей покладено:

-вилучення зі списку атрибутів морально застарілих носіїв інформації типу магнітний диск та ін.;

- введення символів новітніх засобів реєстрації, вводу-виводу та дистанційного передавання даних типу мишка, оптичний диск, модем та ін. (4-9);
- суттєве розширення символів сучасних засобів зв'язку типу (Інтернет, мобільний, супутниковий та надвисокочастотний зв'язок, інфрачервоний та волоконно-оптичний канали зв'язку, 10 Мбіт/с та 100 Мбіт/с Ethernet) (42-50);
- степінь використання ресурсів ліній зв'язку C=0.1, 0.2,…, 1.0;
- додатково введені символи інтерактивно-керованих джерел, пунктів обробки та приймання даних (52-54);
- джерела, пункти обробки, пункти приймання даних для організації міжрівневих зв'язків (55-57);
- неінтерактивні джерела, пункти обробки та приймачі з ознаками ступеня використання ресурсів (58-60) та без ознак використання ресурсів (61-64).

На рис.13.14 приведений варіант побудови багаторівневої ГАМ для архітектури СКС, представленої БММРД (рис.13.3).

$6.D_1O_1.12:6.D_1O_2.30:3.D_2O_3.8;6.D_1O_2.30;$

$5.D_1O_1.3:5.D_1O_2.25:5.D_1O_3.11;$

$4.D_1O_1.9:4.D_1O_2.14:4.D_1O_3.39;$

$5.D_1O_3.11:5.D_1O_4.29:3.D_2O_1.2:3.D_1O_1.13;$

$4.D_1O_4.9:4.D_1O_3.39;$

$4.D_1O_3.39:2.D_1O_1.3:2.D_2O_1.B.9;$

$5.D_1O_3.A_2.11:4.D_1O_3.39;$

$2.D_2O_1.B_1.9:2.D_1O_2.40:3.D_1O_1.13;$

$3.D_1O_1.13:3.D_1O_2.4;$

$3.D_1O_2.4:3.D_2O_2.43:1.D_1O_3.C.26;$

$2.D_2O_1.B_2.9:2.D_3O_1.15:1.D_1O_1.1:1.D_2O_1.18:1.D_1O_2.30;$

$1.D_1O_3.C_1.26:1.D_2O_3.10;$

$1.D_1O_3.C_2.26:1.D_1O_2.30;$

$1.D_1O_2.30:1.D_2O_3.10.$

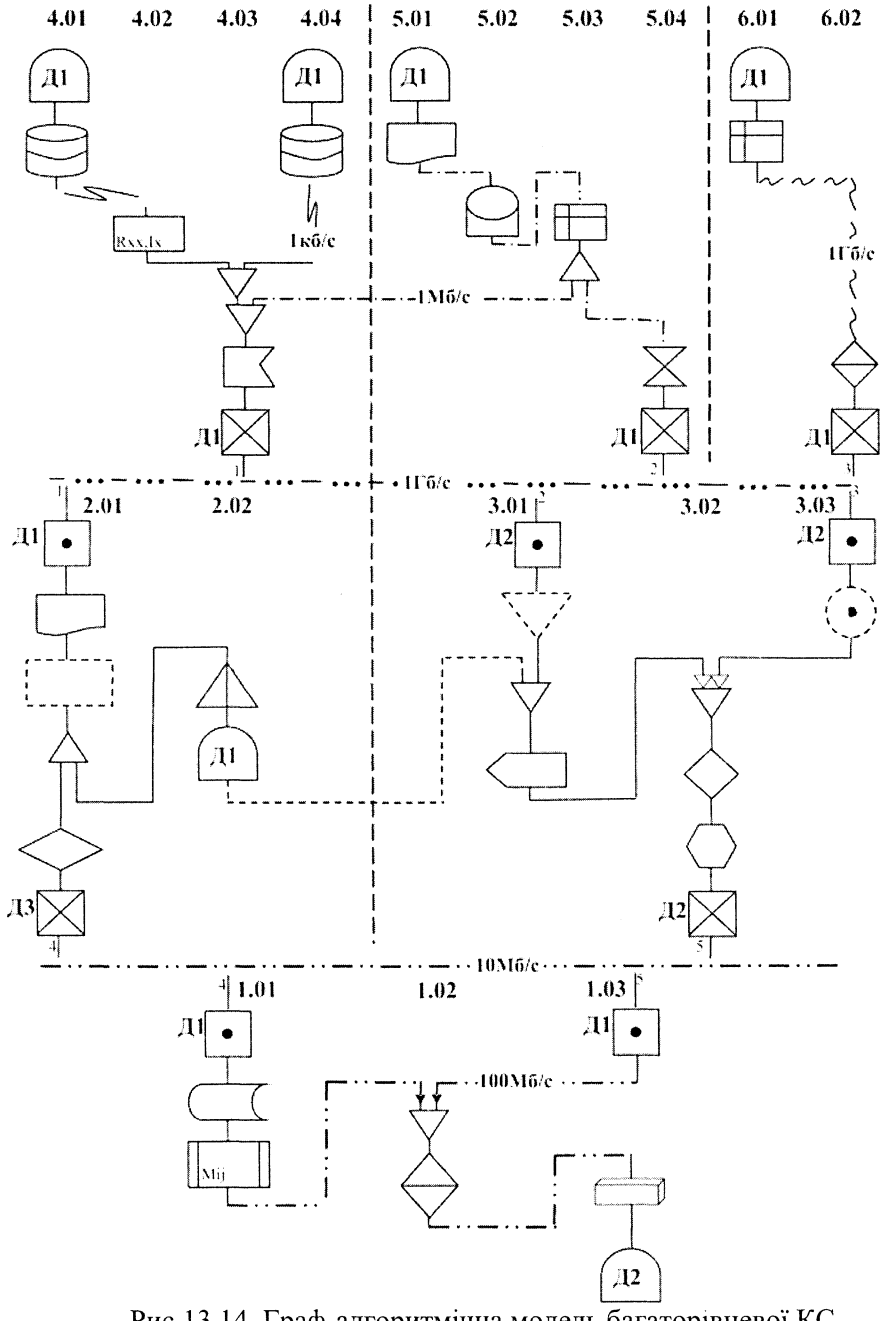


Рис.13.14. Граф-алгоритмічна модель багаторівневої КС.

В основу побудови багаторівневої ГАМ покладена структура руху даних багаторівневої СКС та параметр C_{ij} активних вузлів її моделі. В даній моделі запропоновано розширення змістової частини параметру C_{ij} відповідно до типу активного вузла ММРД:

- джерело інформації описується

$$X_{OY} = F(S_i : X(t) + ТЕД, M_x, D_x, \sigma_x, R_{xx}, R_{xy}, M_{ij}, S(w), K_{ij}, ЛСІМ, I_x, ІСД),$$

в якому СД формується згідно відповідних алгоритмів;

- пункт обробки даних описується диференційованими даними функціоналу F_4

$$F_4[БРМ_1, ДД, БРДММРД, ..., Д(M_n + ГАМ)],$$

де ДД - диференційовані дані згідно табл.13.1 та функціоналу (13.1);

- пункт приймання даних описується програмним забезпеченням згідно функціоналу F_5 та F_6, в якому розраховуються диференційовані цикли руху даних, диференційовані епюри руху даних та глобальна оцінка ефективності КС F_6.

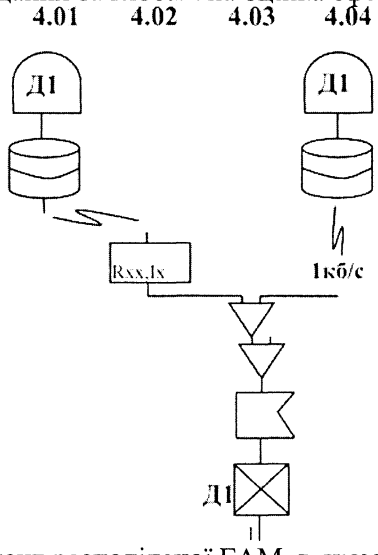


Рис.13.15. Компонент розподіленої ГАМ, в якому формуються СД.

Компонент структури розподіленої ГАМ, який показаний на рис.13.15, демонструє наявність мобільного абонентського пункту, який ідентифікується символом кодування інформації, реалізує дистанційний безпровідний збір телеметричних даних X(t) двох сенсорів та об'єднання їх інформаційних потоків з потоком ТЕД, які формуються оператором і у вигляді СД генеруються приймачем в комп'ютерну мережу на основі ВОЛЗ 1 Гб/с на більш високі рівні розподіленої СКС.

13.11. Епюри руху даних багаторівневих СКС.

Для побудови ЕРД використовується оцінка ефективності реалізації процесів формування, цифрової обробки, зберігання та використання даних в активних вузлах різних рівнів БМРД:

$$K \cdot E = \frac{P_{ij} - V_{ij}}{T_{ij}}, \qquad (13.8)$$

де K - ідентифікатор рівня;

E - собівартісний показник руху даних;

P_{ij} - сумарний дохід від реалізації функцій активного вузла МРД;

V_{ij} - програмно-апаратні затрати на постановку задач, запуск функцій та експлуатаційних витрат в активному вузлі МРД;

$T_{ij} = b_{ij}$ - регламентні затрати часу на реалізацію функцій вузла МРД $(T_1 < T_{ij} < T_2)$;

$i = 1,2,...,n$ - число документів (D_i) МРД;

$i = 1,2,...,m$ - число підрозділів (O_j) МРД.

Показник Е представляє собою питому оцінку прибутків та витрат, отриманих в активному вузлі БМРД на інтервалі регламентного часу T_{ij}.

Сумарна собівартість руху даних на інтервалі одного циклу та питому собівартість можна розрахувати згідно виразів:

$$S_{KL} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{J=1}^{\Delta T_{ij}} (P_{ij} - V_{ij}); \qquad S_{KS} = \frac{S_{KL}}{\sum_{i=1}^{N} \Delta T_{ij}} \tag{13.9}$$

У загальному випадку для всієї структури комп'ютерної системи оцінка S_{KL} може бути розрахована на основі аналітичного виразу:

$$S_{KM} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{P=1}^{\Delta T_{ij}} \left[F_1(P_{ij}) - F_2(V_{ij}) \right], \tag{13.10}$$

де $\left[F_1(P_{ij}), F_2(V_{ij}) \right]$ - відповідні аналітичні вирази, що описують часові характеристики затрат та отриманих прибутків при реалізації функцій в активних вузлах БМРД.

Графік сигнальної ЕРД, яка відповідає описаній архітектурі багаторівневої системи руху даних, представлений на рис.13.16.

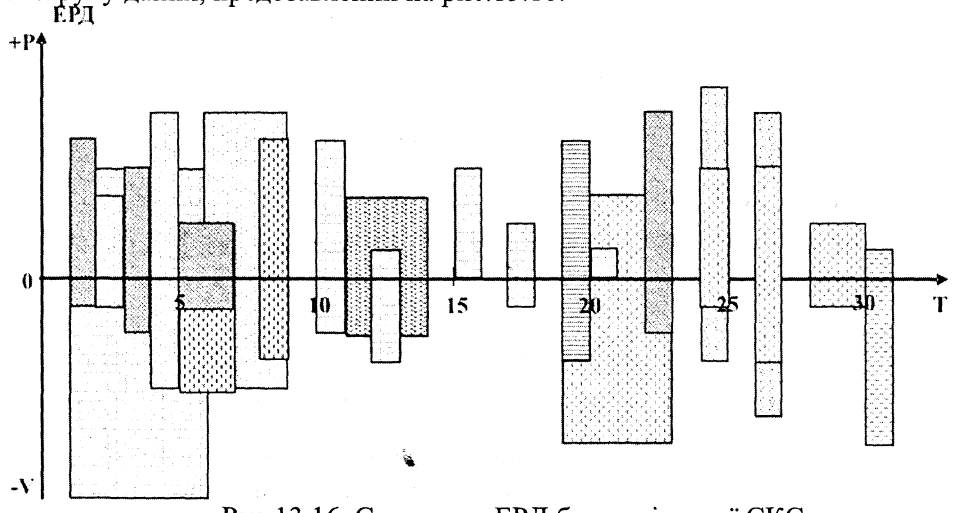


Рис.13.16. Сигнальна ЕРД багаторівневої СКС.

Побудова диференціальної ЕРД виконується на основі диференціації собівартісних показників $\Delta ЕРД = P_{ij} - V_{ij}$ (рис.13.17).

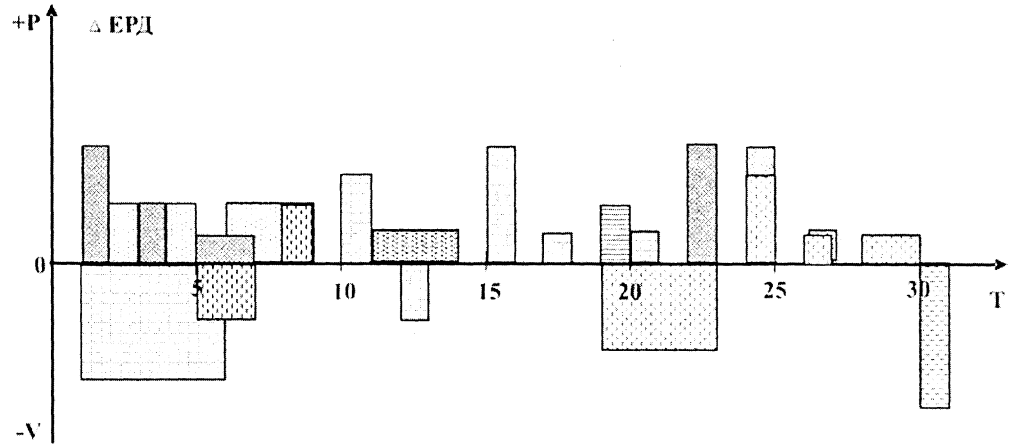


Рис.13.17. Сумарна сигнальна ЕРД багаторівневої СКС.

Часова характеристика сумарної диференціальної ЕРД розраховується шляхом сумування параметрів $\Delta ЕРД$ на протязі всього інтервалу часу (Т) руху даних в діагностованій або проектованій СКС (рис.13.18).

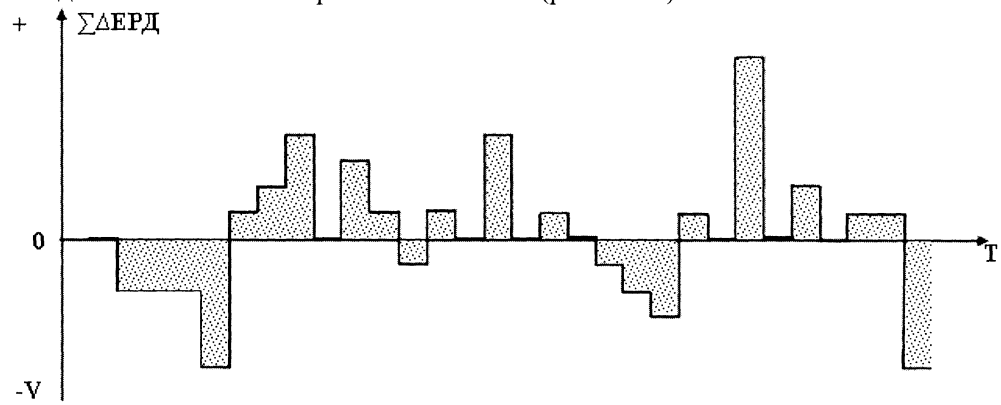


Рис.13.18. Сумарна дифенціальна ЕРД багаторівневої СКС.

Розрахунок характеристики інтегральної ЕРД (рис.13.19) виконується шляхом інтегрування по похідній реального часу (Т) параметрів $\sum \Delta ЕРД$ згідно аналітичного виразу:

$$G_{KC} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} \int \sum \Delta ЕРД dt}{N} \rightarrow \max,$$

де n – число часових інтервалів ковзної вибірки, N – загальне число часових інтервалів, max – критерій максимуму позитивних собівартісних показників руху даних.

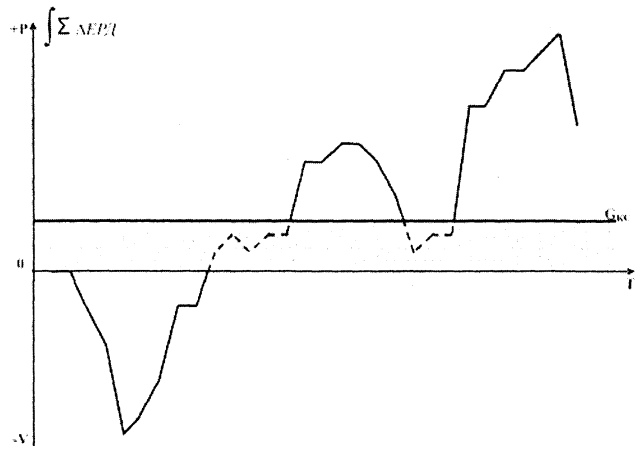


Рис.13.19. Інтегральна сумарна дифенціальна ЕРД багаторівневої СКС.

Викладені теоретичні основи, методи та інформаційні технології побудови епюр собівартості руху даних в багаторівневих СКС дозволяє суттєво підвищити точність, а також розширити функціональні можливості аналізу та діагностування ефективності діючих КС. Розроблена інформаційна технологія є ефективним інструментальним засобом програмного проектування складних СКС з високим рівнем диференціації системних операцій, розпаралелення та інтеграції інформаційних потоків в реальному масштабі часу.

13.12. Обґрунтування критеріїв та дослідження ефективності представлення сукупності МРД складних багаторівневих СКС.

При побудові багаторівневих структурно-часових моделей СКС виникають два аспекти досліджень по оптимізації їх характеристик:

- ергономічний, пов'язаний з аналізом якості сприймання їх відображення у вигляді "кольорових" графів на основі методів аналізу ергономічних систем;
- структурно-кількісний, пов'язаний з аналізом складності їх архітектури та інформативності їх формалізованих математичних моделей, які описуються відповідним числом та структурною організацією логічних рівнянь.

Перший аспект досліджень можна проілюструвати порівнянням існуючих способів подання графів структурно-часових моделей у вигляді прямокутних вершин, "причинно" з'єднаних між собою системою ребер, які відповідають реальній структурі БММРД проектованої СКС.

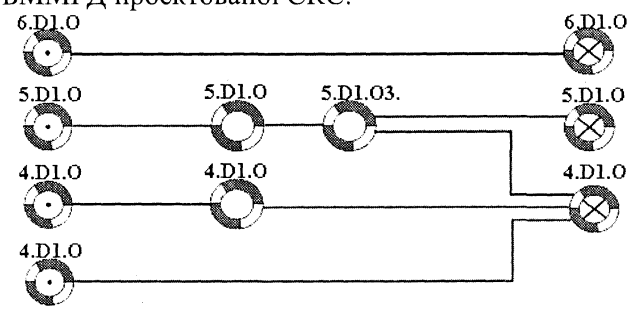


Рис.13.20. Фрагмент побудови одного з рівнів СКС.

На рис.13.20 приведений фрагмент побудови одного з рівнів СКС з архітектурою (рис.13.3) існуючих методик їх подання для однорівневих СКС. Слід зауважити, що технологія представлення та атрибутики вершин структурно-часових моделей не закріплені відповідними стандартами, як це зроблено для структур блок-схем алгоритмів та граф-алгоритмічних моделей СКС.

Оцінку структурної складності представлення багаторівневих МРД виконаємо на основі адитивно-мультиплікативного критерію (рис.13.21):

$$k_e = K \cdot \frac{\sum_{j=1}^{m} f_j}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i P_i} \Rightarrow \max, \qquad (13.11)$$

де $P_i \in (l, P, x, d, r, h, z, b, c, i, n, a, f)$ - параметри атрибутів МРД:

α_i - вагові коефіцієнти експертних оцінок інформаційності компонентів атрибутів МРД,

f_j - функціонально-інформаційна характеристика МРД,

K - ідентифікатор рівня МРД (К=1,2,… – відповідно для однорівневих та багаторівневих МРД).

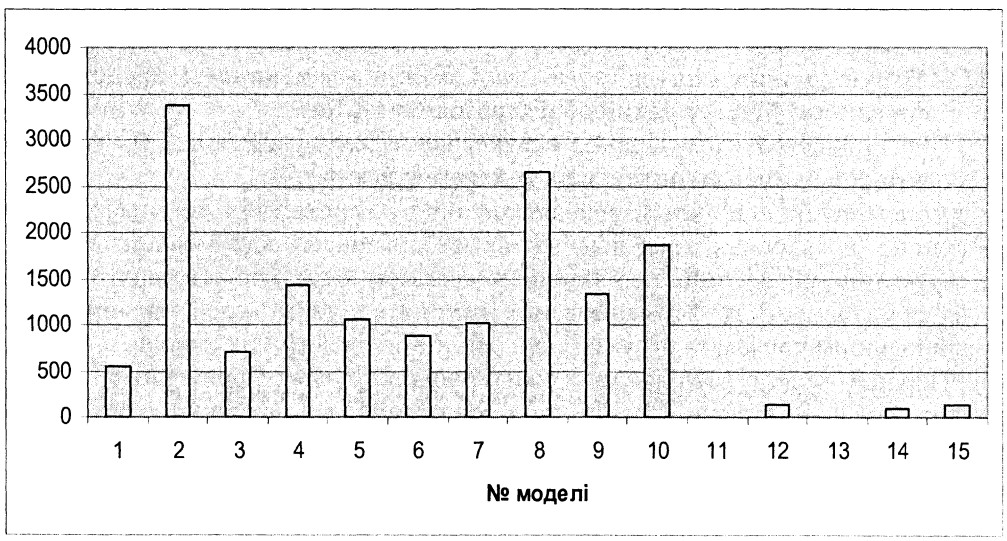


Рис.13.21. Структурна складність багаторівневих МРД.

У табл.13.5 приведена символіка атрибутів МРД та експертні оцінки коефіцієнта їх складності α_i параметрів $l, P, x, d, r, h, z, b, c, i, n, a$.

Таблиця 13.5

№ п/п	Тип позначення елемента	Зміст елемента	Символи	α_i
1	l	лінія		1
2	P	поворот		2
3	x	пересічення		3
4	d	дотик		2
5	r	розгалуження		2
6	h	штрихування		2
7	z	направлений зв'язок		2 3
8	b	буква	Аа, Бб…	8
	c	цифра	1, 2,…0	4
	i	індекс		4
	n	знак	<,>,.,;,-,+….	2

Параметр f визначає функціонально-інформаційну цінність БМРД, експертні оцінки якої для сукупності досліджуваних моделей приведені в табл.13.6.

Таблиця 13.6

№ п/п	Функціонально-інформаційні характеристики МРД (S) та їх формалізації (F)	1 S/F	2 S/F	3 S/F	4 S/F	5 S/F	6 S/F	7 S/F	8 S/F	9 S/F	10 S/F	11 S/F	12 S/F	13	14	15
1	Наявність структурних зв'язків	1/0	1/0	1/1	0/0	1/1	1/1	0/0	1/1	1/1	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
2	Ідентифікатор активного вузла D_iO_j	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1	0/0	0/0	1/1	1/1	0/1	0/0

3	Тип атрибута (джерело, пункт обробки, пункт приймання)	1/0	1/1	0/0	1/1	1/1	1/1	1/1	0/0	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/1	0/0
4	Інформація про ступінь використання ресурсів	0/0	1/1	0/0	0/0	1/0	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	0/0
5	Час початку операції a_{ij}	1/1	1/1	0/0	1/1	0/0	1/1	1/1	1/1	0/0	0/0	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
6	Тривалість операції b_{ij}	1/1	1/1	0/0	1/1	0/0	0/0	1/1	1/1	0/0	0/0	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
7	Тип операції та носія даних c	1/1	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	5/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
8	Тип каналу зв'язку	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
9	Параметр $P-V$	1/1	1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	5/5	6/6	0/0	6/6
12	Епюри руху даних $ДЦРД, ДЕРД$ $\int \Delta ЕРД(T)dT$ $\sum_{i=1}^{n} \int \Delta ЕРД(T)$	0/0	5/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/1	2/2	0/0	0/0	1/1	1/1
13	$\sum_{j=1}^{m} f_j, m =$	7/5	14/13	2/2	4/4	5/4	5/5	3/4	3/4	9/10	2/2	6/6	9/9	11/11	4/6	10/10

В табл.13.5 пронумерована сукупність моделей руху даних:
1 – матрична модель;
2 – модифікована матрична модель;
3 – граф-розгалужене дерево;
4 – параметрично-часова модель;
5 – структурно-часова модель;
6 – модель "мережевий графік";
7 – суміщений часовий граф;
8 – блок-схема алгоритму;
9 – граф-алгоритмічна модель;
10 – цикли руху даних;
11 – епюри руху даних;
12 – сигнальна ЕРД;
13 – сумарна диференціальна;
14 – ступінь використання ресурсів;
15 – інтегрально-глобальна;

На рис. 13.22 показана діаграма функціонально-інформативних характеристик досліджуваної сукупності МРД, які відповідають сумі $\sum_{j=1}^{m} f_i$, табл.13.6.

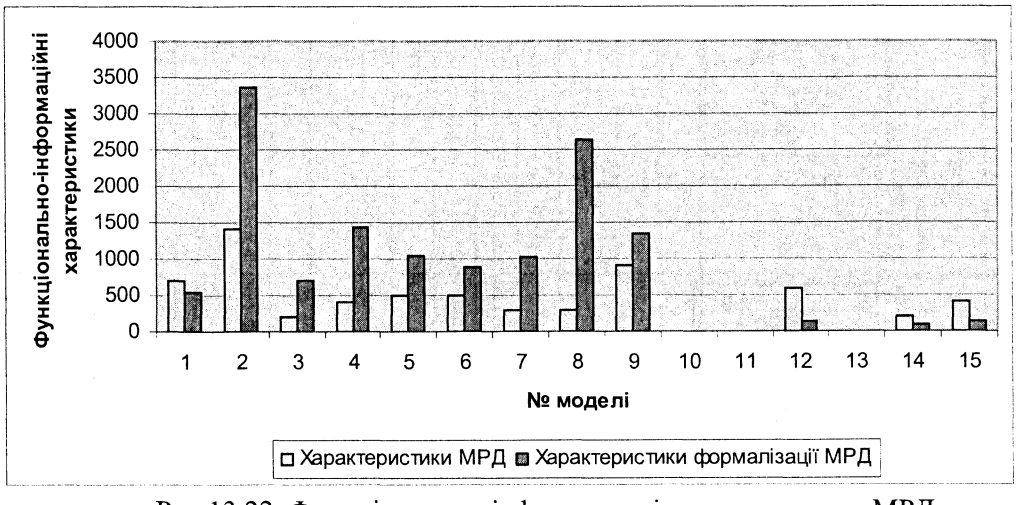
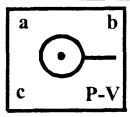
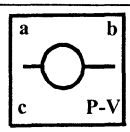
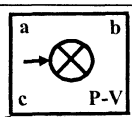
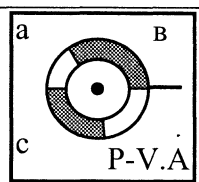
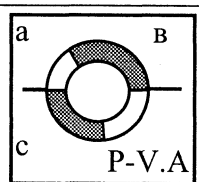
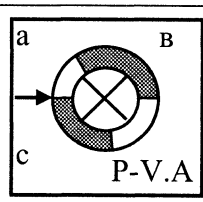


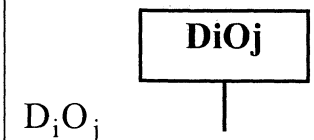
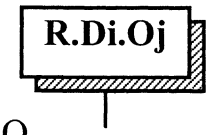
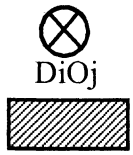
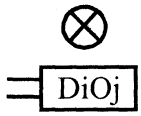
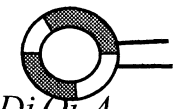
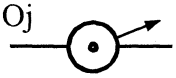
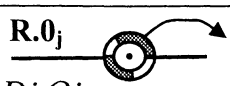
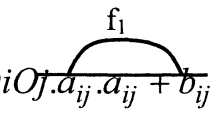
Рис.13.22. Функціонально-інформативні характеристики МРД.

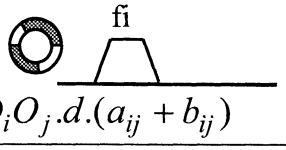
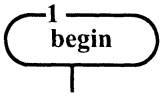
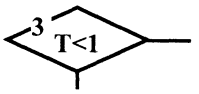
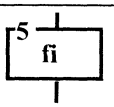
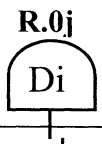
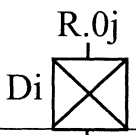
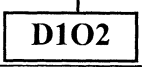
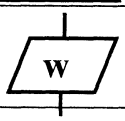
З рис.13.22 видно, що найвищі функціонально-інформативні характеристики у порівнянні з одноріневою матричною моделлю (1) мають багаторівневі: матрична модель (2), граф-алгоритмічна модель (9), епюри руху даних (11) та епюри ступеня використання ресурсів в активних вузлах КС (12).

На основі критерію (13.11) та даних таблиць 13.5, 13.6, 13.7 виконаємо оцінку структурної складності компонентів різних способів представлення МРД (табл.13.7):

Таблица 13.7

№ п/п	Структура компонента МРД	l1	P2	x3	d2	r2	h2	z2	b8	c4	i4	n2	k_e	e
1		7	4	-	1	-	-	-	5	-	-	1	59	59
	$D_iO_j.a.b.c.P-V;$	-	-	-	-	-	-	-	7	-	2	6	80	160
2		7	4	-	2	-	-	-	5	-	-	1	61	61
	$D_iO_j.a.b.c.P-V;$	-	-	-	-	-	-	-	7	-	2	6	80	160
3		8	4	1	5	-	-	1	5	-	-	1	73	73
	$D_iO_j.a.b.c.P-V;$	-	-	-	-	-	-	-	7	-	2	6	80	160
4		8	4	-	1	-	2	-	6	-	-	2	74	74
	$R.D_i.O_j.a.b.C_k.M_k.d_k(P_k$ -	-	-	-	-	-	-	-	10	-	7	8	124	248
5		8	4	-	2	-	2	-	10	-	-	2	108	108
	$R.D_i.O_j.a.b.C_k.M_k.d_k(P_k - V_k)$	-	-	-	-	-	-	-	10	-	7	8	124	248
6		8	4	1	5	-	2	1	10	-	-	2	119	119
	$R.D_i.O_j.a.b.C_k.M_k.d_k(P_k - V_k)$	-	-	-	-	-	-	-	10	-	7	8	124	248

7	 D_iO_j	5	4	-	1	-	-	-	2	-	2	-	39	39
									2		2	-	24	48
8	 $R.D_i.O_j$	9	7	-	1	-	1	-	3	-	2	2	63	63
									3		2			
9	 D_iO_j	7	4	1	4	-	1	-	2	-	2	-	52	52
									2		2	-	24	48
10	$R.D_i.O_j$	8	4	-	1	-	3	-	3	-	2	1	58	58
11	 D_iO_j													
									2		2	-	24	48
1 2	**R.Di.Oj.A**  *R.Di.Oj.A*	4	-	-	2	1	2	-	4	-	2	3	54	54
									4	-	2	2	40	80
13	 D_iO_j	4	-	-	3	-	-	1	1	-	1	-	24	24
									2		2	-	24	48
14	 *R.Di.Oj*	5	-	-	3	-	2	1	2	-	1	1	39	39
									3	-	2	1	34	68
15	 $DiOj.a_{ij}.a_{ij} + b_{ij}$	2	-	-	2	-	-	-	1	-	1	-	18	18
									5	-	8	3	78	156

16		6	2	-	2	-	2	-	1	-	1	-	30	30
									6	-	6	6	84	168
17		4	-	-	2	-	-	-	5	1	-	-	52	52
18		6	4	-	3	-	-	-	1	2	-	1	38	38
19		6	4	-	3	-	-	-	1	2	1	-	40	40
20		5	2	-	1	-	-	-	3	-	2	1	45	45
21		7	8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	25	25
22		8	4	1	2	-	-	-	3	-	2	1	57	57
23		4	8	-	-	-	-	-	8	4	-	-	24	24
24		4	4	-	2	-	-	-	1	2	-	-	-	32

Згідно критерію (13.11) та даних табл. 13.8 може бути розрахована порівняльна діаграма структурної складності базової матричної моделі багаторівневої СКС (рис.13.3) та сукупності похідних моделей, які будуються формалізованим способом на її основі (рис.13.23).

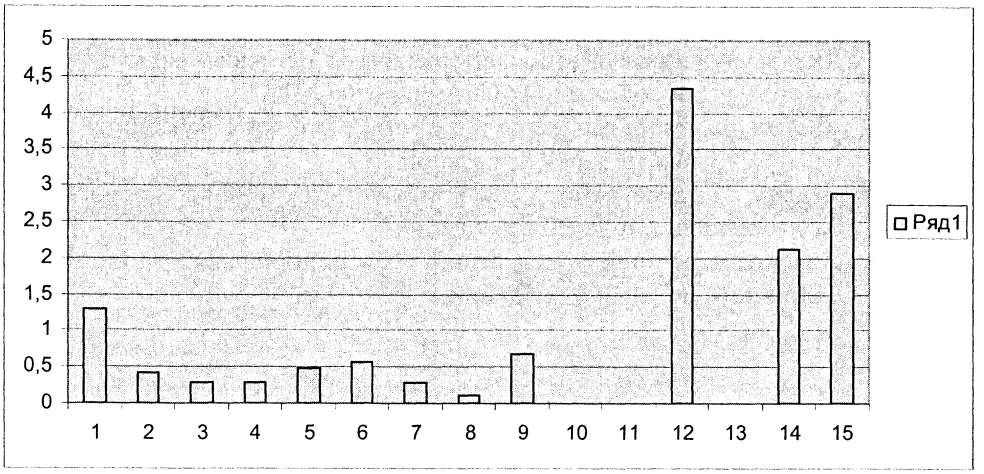


Рис.13.23. Порівняльна діаграма інформативності та структурної складності матричної моделі багаторівневої СКС та сукупності похідних моделей.

Контрольні запитання і завдання.

1. Поясніть функції різних рівнів магістральної архітектури СКС?
2. Якими функціями характеризуються компоненти багаторівневої магістральної СКС?
3. Дайте приклад та поясніть атрибути багаторівневої моделі руху даних.
4. Якими атрибутами описується модифікована матрична модель руху даних?
5. Наведіть приклад циклів руху даних для багаторівневої моделі руху даних.
6. Як будуються багаторівневі моделі "граф-розгалужене дерево"?
7. Що відображає інтегрована модель "граф-розгалужене дерево"?
8. Поясніть технологію побудови параметричної часової моделі багаторівневої СКС.
9. Якими атрибутами описується структурно-часова модель багаторівневої СКС?
10. Якими особливостями характеризується модель "мережевий графік" багаторівневої СКС?
11. Поясніть особливості побудови моделі "суміщений часовий граф" багаторівневих СКС.
12. Систематизуйте атрибути граф-алгоритмічної моделі багаторівневої СКС для джерел та приймачів інформації.
13. Якими атрибутами символізуються різні типи каналів зв'язку СКС?
14. Якими символами позначаються канали зв'язку різної швидкості Ethernet?
15. Поясніть особливості побудови граф-алгоритмічної моделі багаторівневої СКС.

16. Поясніть принципи побудови логічного графу багаторівневої СКС.
17. Якими особливостями характеризується побудова моделі "блок-схема алгоритму" обробки даних багаторівневої СКС?
18. Якими параметрами характеризується оцінка структурної складності багаторівневих моделей руху даних?
19. Якими параметрами характеризується оцінка інформативності багаторівневих моделей руху даних?
20. Поясніть відмінності між атрибутами однорівневих та багаторівневих матричних моделей руху даних.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ДО 13 РОЗДІЛУ.

1. Васильев В.В., Кузьмук В.В. Сети Петри, параллельные алгоритмы и моделирование мультипроцессорных систем. – К.: Наукова думка, 1990.
2. Возна Н.Я. Дослідження ефективності розподілених інформаційних систем на основі епюр собівартості циклів руху даних // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – Івано-Франківськ. – 2006. – №2(10). – С.74-78.
3. Возна Н.Я. Інформаційна технологія побудови граф-алгоритмічної моделі руху техніко-економічних даних // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Випуск 39. – Київ. – 2006. – С. 44-51.
4. Возна Н.Я. Методологія та техніка формування техніко-економічних даних в автоматизованих системах управління // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – №4. – Т.2, Ч.1. – С. 131-133.
5. Корнеев И.К., Ксандопуло Г.Н., Машурцев В.А. Информационные технологии.: – М.: Проспект, 2007. – 854 с.
6. Николайчук Я.М. Низові обчислювальні мережі: Учбовий посібник.–К:УМК ВО, 1990.– 64с.
7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
8. Пітух І., Николайчук Я., Возна Н. Принципи побудови комп'ютерних мереж з глибоким розпаралелюванням інформаційних потоків на основі матричних моделей руху даних // Вісник НУ „Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2004. – № 508. – С.263–268.
9. Сегін А.І., Возна Н.Я. Методології побудови інформаційних моделей руху даних // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. – №3. – Т1. – С.128-135.
10. Стеклов В.К., БеркманЛ.Н. Проектування телекомунікаційних мереж.– К.: Техніка, 2002.–792с.
11. Томашевський В.М. Моделювання систем.– К.: Видавнича група BHV, 2005.– 352с.
12. 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 // Proc. of International Conf. "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunicatioons and Computer Science". (TCSET'2004). Lviv-Slavske (Ukraine). – 2004. – P.417 – 419.
13. Y.Nikolaychuk, I.Andrushko. Theoretical Bases of Logical Statistic Informative Models and Prospect of Their Application in the Distributed Computer System// Матеріали VIII Міжнар. наук.-техн. конференції CADSM 2005.- Львів: Поляна, 2005. – 265с.

РОЗДІЛ 14

МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ СТРУКТУРИЗОВАНИХ ДАНИХ В СКС

Проведені в даному розділі дослідження світового досвіду реалізації засобів формування СД, методів аналого-цифрового перетворення потоків технологічних даних, методів оптимізації кодування техніко-економічних даних та методів організації руху даних в СКС показують, що подальше вдосконалення та оптимізація характеристик апаратно-програмних засобів низових рівнів СКС може бути успішно реалізоване на основі комплексу наступних рішень:

- забезпечення високого рівня паралелізму реєстрації технологічних даних в БАЦП, які на рівні АЦК реалізують функції зниження надлишковості кодування даних та їх захисту від помилок;
- широке використання математичних основ новітніх ТЧБ: Крестенсона, Галуа, Уолша та ін. для представлення даних у вигляді фреймів СД, максимально адаптованих до низових рівнів СКС та роботи в умовах інтенсивних промислових завад;
- вдосконалення методів кодового представлення ТЕД;
- розширення сукупності та вдосконалення методів побудови моделей руху даних, а також ідентифікованих моделей собівартості руху даних.

При цьому актуальним є вирішення наступних задач:

- проаналізувати методи формування СД та організації руху потоків даних у СКС;
- на основі класифікації типів даних, які формуються, обробляються та використовуються в СКС, визначити перспективні методи їх структуризації у вигляді фреймів;
- розробити критерії оптимізації процесів формування алфавітно-цифрових, технолого-економічних та структуризованих даних;
- виконати дослідження засобів формування даних на основі критеріїв оптимізації;
- розробити метод синтезованого формування алфавітно-цифрових та структуризованих даних;
- розробити метод побудови багаторівневої моделі руху даних розподілених комп'ютеризованих систем реального часу на основі подальшого вдосконалення принципів формалізації атрибутів граф-алгоритмічних моделей руху даних та ідентифікованих епюр руху даних;
- вдосконалити алгоритм реалізації стратегії проектування СКС на основі законів доцільності та ідентифікованих циклів руху даних;
- розробити атрибути та програмні засоби побудови граф-алгоритмічних моделей СКС;
- розробити мобільні апаратно-програмні засоби синтезованого вводу СД для низових рівнів СКС.

Побудова моделей складних комп'ютеризованих систем є актуальною задачею, яка направлена на вдосконалення теорії, методології та практики їх проектування та діагностики штатності функціонування в реальному масштабі часу. В методологічному плані вирішення такої задачі потребує врахування проблемної орієнтованості, цілісності та складності, невизначеності, адаптивності, а також універсальності комп'ютеризованої системи. При цьому відповідно визначається ступінь цілеспрямованості та мета функціонування системи, можливості опису системи однією моделлю, оцінка ентропії, що відображає необхідну кількість керуючої інформації, можливості пристосування системи до впливу зовнішніх факторів, а також опис системи математичними моделями, що мають однакову структуру незалежно від класу об'єктів – джерел інформації.

Важливою задачею проектування комп'ютерних систем є оптимізація її характеристик на основі критеріїв якості, що описується вихідними параметрами системи: $D = \{D_1,...,D_n\}$, до яких належать адекватність та достовірність реєстрації станів об'єктів системи, ймовірність помилок при формуванні даних, їх передаванні по каналах зв'язку, цифровій обробці та зберіганні даних. Ефективність роботи КС при цьому оцінюється середнім часом безвідмовної роботи, ступінню використання ресурсів у вузлах руху даних та собівартістю руху даних.

Сукупність:

$$D = \{D_1,..., D_n\} \tag{14.1}$$

поділяють на підгрупи:

- умови – обмеження функцій системи $Y = \{Y_1,..., Y_p\}$;
- обмеження на структуру і параметри $O_S = \{O_{S1},..., O_{Sq}\}$;
- показники якості $K =< k_1,..., k_m >$ з обмеженнями $O_k = \{O_{k1},..., O_{kr}\}$, де обмеження O_k можуть бути типу рівності, нерівності або функціонального зв'язку.

Приведеній сукупності обмежень задовільняє допустима система, яка задовільняє параметри функціоналу $D = \{Y, O_S, K, O_k\}$.

При цьому найкращі значення вектора k показників якості забезпечує оптимальна система $S_{ОПТ}$, яка задовільняє сукупності обмежень та умов $\{Y, O_S, K, O_k\}$.

На інженерному рівні синтез оптимальної комп'ютеризованої системи та її компонентів містить рішення наступних задач:

- синтез оптимальної архітектури;
- вибір оптимальних системних характеристик та оптимізація ресурсних параметрів;
- обґрунтування оптимального варіанту побудови.

Важливим показником викладеної методології синтезу комп'ютеризованої системи є виконання обмежень показників якості $K_1,..., K_i,..., K_m$, що

задовільняють умови: $K_i \geq 0\ (i=1,2,...,m)$, $\sum_{i=1}^{m} K_i = \min$, $\sum_{i=1}^{m} K_i = 0$, де остання умова відповідає ідеальній системі.

При використанні відомого критерію глобальної оптимальності КС, запропонованого В.К.Стєкловим та В.М.Локазюком:

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_i \cdot K_i \to \min,$$

коефіцієнти α_i визначають значимості числових векторних оцінок якості системи.

При формалізації та побудові моделей руху даних з врахуванням собівартісних характеристик реалізації процесів формування, цифрової обробки та архівації даних в складних багаторівневих СКС доцільно використати критерій глобальної оптимальності КС у вигляді:

$$G_{KC} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} \int \Delta ЕРД}{N} \Rightarrow \max, \qquad (14.2)$$

де n – число часових інтервалів ковзної вибірки, N – загальне число часових інтервалів, max – критерій максимуму позитивних собівартісних показників руху даних.

Задоволення умов критерію глобальної ефективності СКС (14.2) досягається шляхом зменшення собівартісних витрат на реалізацію процесів формування та обробки даних, а також врахування та підвищення ступеня використання ресурсів в активних вузлах КС та розширення сукупності похідних моделей. При цьому оптимізація характеристик СКС може виконуватися як на стадії реалізації проектуваних системи, так і на стадії діагностування діючих систем.

В загальному випадку відомі методи та моделі організації руху СД в СКС описуються алгоритмом послідовного виконання системних функцій у вигляді:

$$F_{PKC} = F_1[G(V,B)] \Rightarrow F_2\lfloor C_{ij} \rfloor \Rightarrow F_3\lfloor A_{ij} \rfloor_{V,B} \Rightarrow F_4[D,K], \qquad (14.3)$$

де F_1, F_2, F_3, F_4 – відповідно формалізований опис процесів організації руху даних у вигляді подання топології СКС, процесів оброблення даних та їх використання для оптимізації параметрів СКС;

$[G(V,B)]$ – орієнтований граф топологічної моделі;

$V = (v_1, v_2, ..., v_n)$ - множина вершин елементів архітектур;

B – множина ребер, яка представляє рівні описування об'єкта $B(V) = (b_1, b_2, ..., b_m)$;

$\lfloor C_{ij} \rfloor$ – матриця суміжності, яка описує структурні відношення між елементами системи;

C_{ij} – елемент кількості ребер спрямованих від вершин V_i до V_j;

$\left\|A_{ij}\right\|_{V,B}$ – булева матриця інциденцій;

$D=\{D_1,...,D_l\}$ – сукупність показників критеріїв якості, які поділяються на підгрупи умов, що обмежують функції системи $Y=\{Y_1,...,Y_p\}$, умов, що обмежують структуру та параметри проектованої системи $O_s=\{O_{s1},...,O_{sq}\}$, вектори показників якості, які враховуються в процесі синтезу системи $K=<k_1,...,k_m>$.

Результатом функціоналу F_4 є визначення параметрів допустимої системи $D=\{Y,O_s,K,O_k\}$, що задовільняє сукупності обмежень O_s та умов Y, причому $\sum_{i=1}^{m} K_i = \min$ відповідає умові оптимальної системи.

Суть одного з існуючих методів організації руху даних у послідовному виконанні функцій полягає у наступному виконанні алгоритмів:

$$F_1[\odot\ \bigcirc\ \otimes] \Rightarrow F_2\left[\left\{\begin{array}{c} E_p=F(T,V,M,S) \\ E_d=F(T,M,V_R,V_W,S) \\ E_{OY}=F(T,M,I,S) \\ E_{СПД}=F(V_R,V_W,P_i,S) \\ E_O=F(T,V_R,V_W,S,M) \\ X_{OY}=F(X(t),M_x,D_x,\sigma_x,R_{xx},R_{xy},M_{ij},S(w),K_{ij},ЛСІМ,I_x) \end{array}\right.\right] \Rightarrow \quad (14.4)$$

$$\Rightarrow F_3[K_{ed},P-V]$$

$$\Rightarrow F_4[M_1,ТМРД,ДММРД,...,M_n] \Rightarrow F_5\left[\left\{\begin{array}{c} ЕРД \\ \Delta ЕРД(t_j) \\ \int \Delta ЕРД(T)dT \\ \sum_{i=1}^{n}\int \Delta ЕРД(T)dT \end{array}\right.\right] \Rightarrow F_6[G_{KC}]', \quad (14.5)$$

де $\odot\ \bigcirc\ \otimes$ – відповідно атрибути джерела, пункту оброблення та пункту затвердження даних; $E_p,E_d,E_{OY},E_{СПД},E_O$ – відповідно характеристики системних об'єктів СКС (процесорів, даних, об'єктів управління, систем передавання даних, операторів); T – часовий параметр, V – швидкість перетворення даних, M – об'єм використовуваної пам'яті, S – системні ресурси; $X(t)$ – поточні значення технологічних параметрів ОУ, M_x – математичне сподівання, D_x – дисперсія, σ_x – середньоквадратичне відхилення, R_{xx} –

автокореляційна функція, R_{xy} – взаємокореляційна функція, M_{ij} – матриця нормованих коефіцієнтів взаємокореляції, $S(w)$ – спектральні моделі, K_{ij} – матриця імовірностей переходу в різні стани, *ЛСІМ* – логіко-статистична інформаційна модель, I_x – ентропійна модель; K_{ed} – коефіцієнт ефективності руху даних, $P-V$ – собівартість виконання операції в активному вузлі матричної моделі; M_1 – матрична модель руху даних, $ТМРД(S_0, S_i, C_o, C_i, G)$ – тривимірна матрична модель руху даних (S_0 – максимальне число записів, S_i – реальне число записів, C_0 – швидкість створення та передавання даних, C_i – проектна швидкість створення та передавання даних, G – завантаженість), $ДММРД(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, d_0, d_i)$ – двомірна матрична модель руху даних (α_0 – ресурси зчитування даних; α_1-ступінь використання ресурсів зчитування даних; α_2-ступінь використання ресурсів записів; d_0, d_i – відповідно ресурси та ступінь використання швидкості передавання даних в каналі зв'язку); M_n – похідні моделі; *ЕРД* – сигнальна ЕРД, $\Delta ЕРД(t_j)$ – диференціальна, $\int \Delta ЕРД(T)dT$ – інтегральна, $\sum_{i=1}^{n} \int \Delta ЕРД(T)dT$ – сумарна інтегральна; G_{KC} – глобальна характеристика ефективності комп'ютерної системи.

Аналіз існуючого методу організації руху даних в СКС на основі однорівневої матричної моделі руху даних показує, що вона характеризується наступними функціональними обмеженнями:

- атрибути джерела, пункту оброблення та пункту затвердження даних $F_1[\odot\ \bigcirc\ \otimes]$ відповідають структурі однорівневої ММРД, що обмежує функціональні можливості такої моделі при проектуванні та діагностуванні характеристик багаторівневих СКС і адекватно відображаються багаторівневими ММРД, що відповідають трирівневій магістральній архітектурі автоматизованої системи;
- у функціоналі відомого методу $F_2[\bullet]$ (14.6):

$$X_{OY} = F(X(t), M_x, D_x, \sigma_x, R_{xx}, R_{xy}, M_{ij}, S(w), K_{ij}, ЛСІМ, I_x) \qquad (14.6)$$

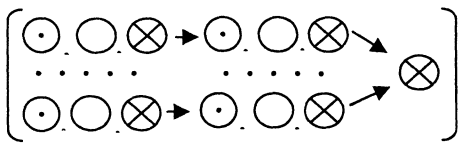
не враховані процедури сумісного формування технологічних даних X(t) та техніко-економічних даних у вигляді СД, які формуються в реальному часі та враховують характеристики квазістаціонарних;

- характеристичний функціонал об'єкта X_{OY} не представлений у вигляді фреймів СД, які забезпечують компактне завадозахищене кодування інформації про ОУ, а також захист даних від помилок та несанкціонованого доступу;
- у функціоналі $F_4[\bullet]$ (14.7) згідно відомих методів реалізації його моделей

$$F_4[M_1, ТМРД, ДММРД, ..., M_n] \quad (14.7)$$

- використовується тримірна МРД (ТМРД), яка виявилася неефективною у практичному застосуванні;
- у функціоналі F_4 для моделювання руху даних в СКС застосована двовимірна модифікована МРД, яка також має функціональні обмеження і її атрибути не можуть бути реалізовані при проектуванні, діагностиці та моделюванні багаторівневих СКС;
- у сукупності похідних моделей руху даних M_n функціонала F_4 відсутня граф-алгоритмічна модель, яка відображає типи носіїв інформації, каналів зв'язку комп'ютерної мережі, містить розшифровку алгоритмів формування та побудови моделей джерел інформації, а також аналітики цифрової обробки даних у відповідних активних вузлах комп'ютерної системи;
- функціонал існуючого методу F_4 не враховує диференціацію форм та собівартісних характеристик руху даних в активних вузлах багаторівневих диференційованих МРД та відповідної диференціації епюр руху даних.

Метод формування та організації руху структуризованих даних багаторівневих СКС полягає у послідовному виконанні функцій наступних алгоритмів:

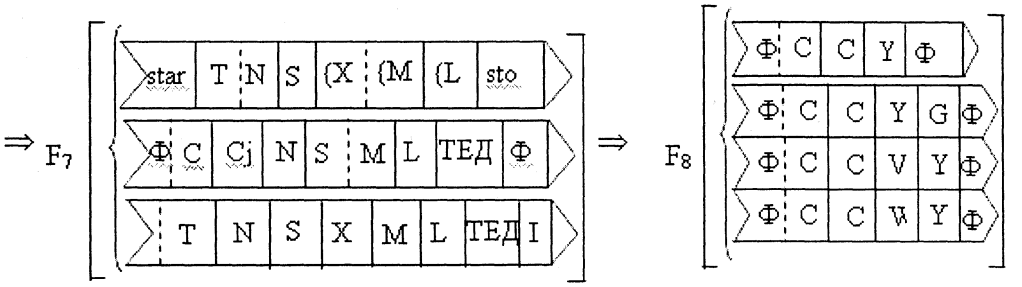
$$F_1 \left[\text{  } \right] \Rightarrow \quad (14.8)$$

$$\Rightarrow F_2 \left[\left\{ \begin{array}{c} E_p = F(T, V, M, S) \\ E_d = F(T, M, V_R, V_W, S) \\ E_{OУ} = F(T, M, I, S) \\ E_{СПД} = F(V_R, V_W, P_i, S) \\ E_O = F(T, V_R, V_W, S, M) \\ X_{OУ} = F(S_i : X(t) + ТЕД, M_x, D_x, \sigma_x, R_{xx}, R_{xy}, M_{ij}, S(w), K_{ij}, ЛСІМ, I_x, СД) \end{array} \right. \right] \Rightarrow \quad (14.9)$$

$$\Rightarrow F_3[K_{ed}, Д(P-V)] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_4[БРМ_1, ДД, БРДММРД, ..., Д(M_n + ГАМ)] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_5 \left[\left\{ ДЦРД, ДЕРД, \Delta ЕРД(t_j), \int \Delta ЕРД(T)dT, \sum_{i=1}^{n} \int \Delta ЕРД(T)dT \right. \right] \Rightarrow F_6[G_{KC}] \Rightarrow$$



де новизна запропонованих наукових рішень по вдосконаленню методів формування та організації руху потоків даних в багаторівневих СКС полягає у розширенні та вдосконаленні функцій організації руху даних на основі:

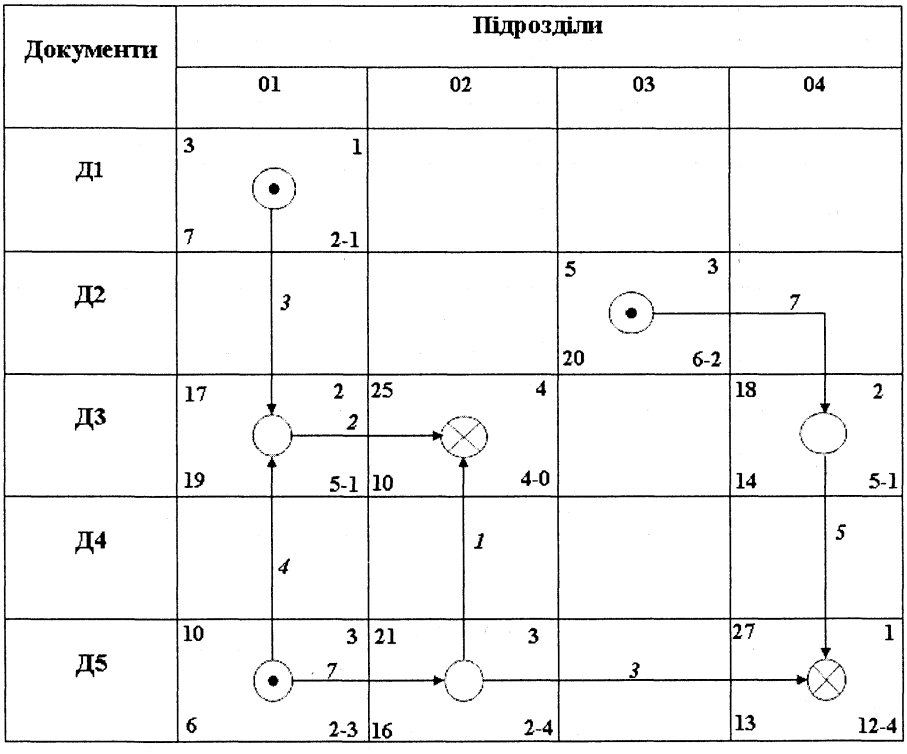
- багаторівневої матричної моделі руху даних (14.8);
- розширення функцій формування СД шляхом сумісного кодування технологічних даних (x(t)) та ТЕД (14.9) при заданих квазістаціонарних станах ОУ (S_i :), а також реалізація апаратно-програмних засобів синтезованого вводу алфавітно-цифрових даних;
- формування мінімально надлишкових та захищених від помилок фреймів структуризованих даних, які формуються, передаються, обробляються, зберігаються та передаються;
- диференціація собівартісних характеристик руху даних в активних вузлах МРД $Д(P-V)=\sum_{i=1}^{m} P_i - \sum_{j=1}^{n} V_j$, де m – число диференційованих компонентів прибутків, n – число диференційованих компонентів витрат в активному вузлі МРД;
- розширення класу МРД до рівня багаторівневих МРД (БМРД);
- врахування диференціації форм документів (ДД) та даних ММ по відповідних активних вузлах МРД, що відповідають відповідним об'єктам МРД;
- розширення сукупності похідних моделей руху даних шляхом включення в їх склад важливого класу граф-алгоритмічних моделей;
- диференціації циклів руху даних з врахуванням диференціації собівартісних характеристик руху даних в активних вузлах БРДММРД (ДЦРД) та відповідна диференціація епюр руху даних (ДЕРД).

Контрольні запитання і завдання.

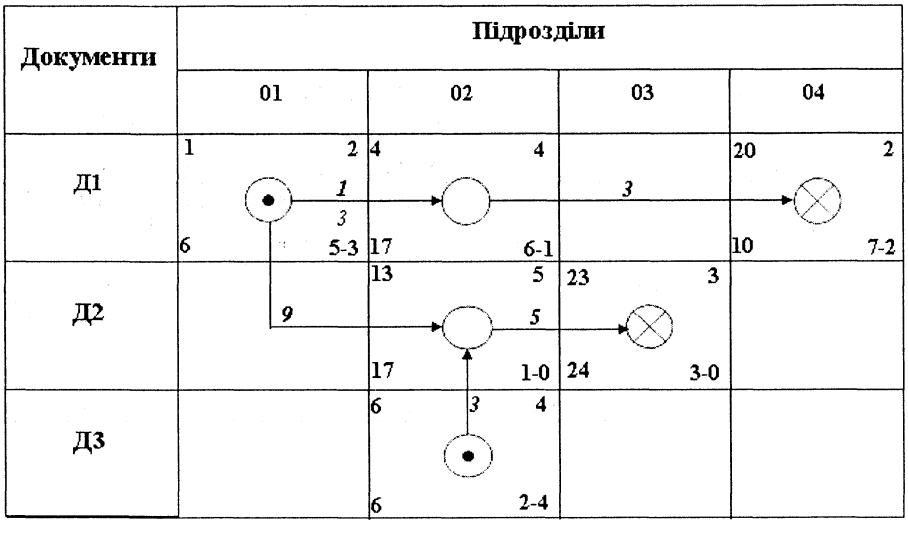
1. Які моделі входять в склад характеристичного функціоналу об'єкта управління СКС?
2. В чому різниця між описом функціоналів об'єктів управління однорівневих та багаторівневих СКС?
3. Що входить до складу ТЕД та СД функціоналів багаторівневих СКС?

УМОВИ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОРІВНЕВИХ СКС НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ РУХУ ДАНИХ

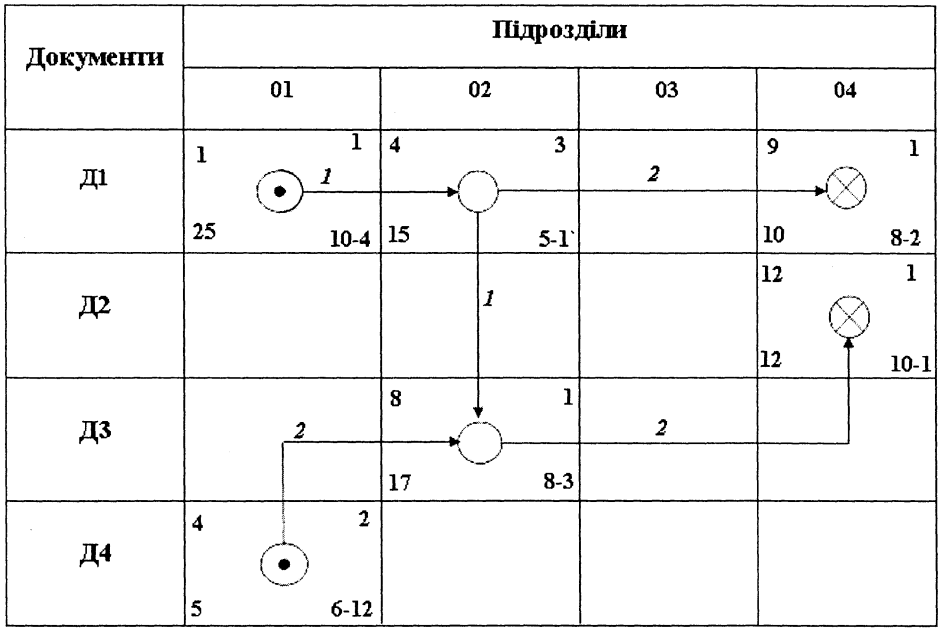
Варіант 1



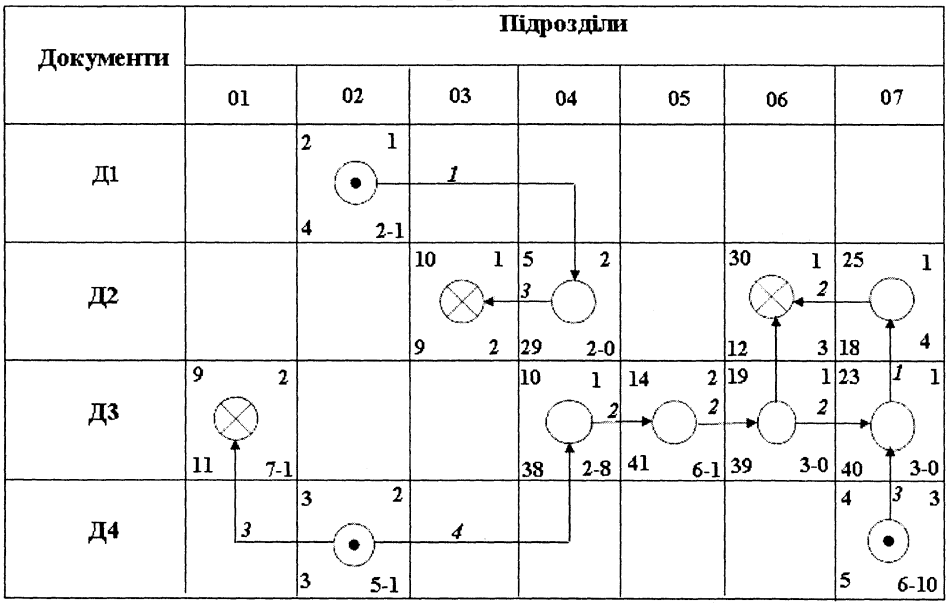
Варіант 2



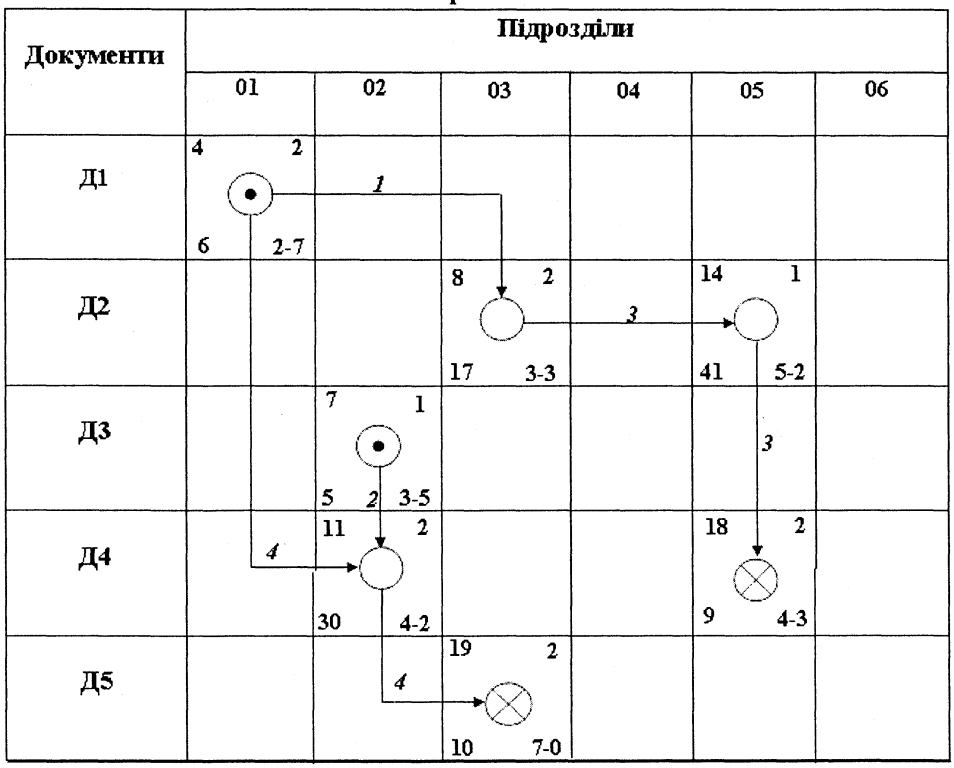
Варіант 3



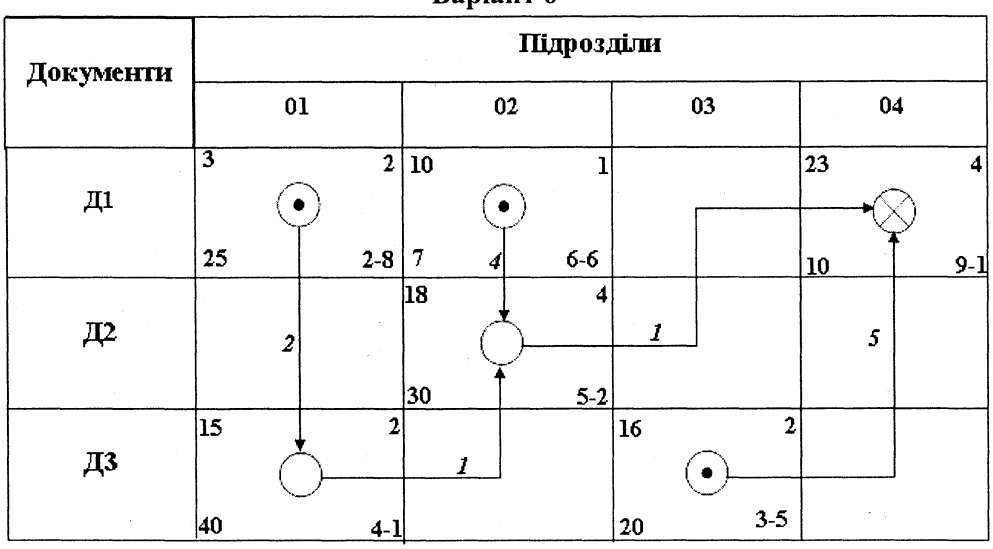
Варіант 4



Варіант 5



Варіант 6



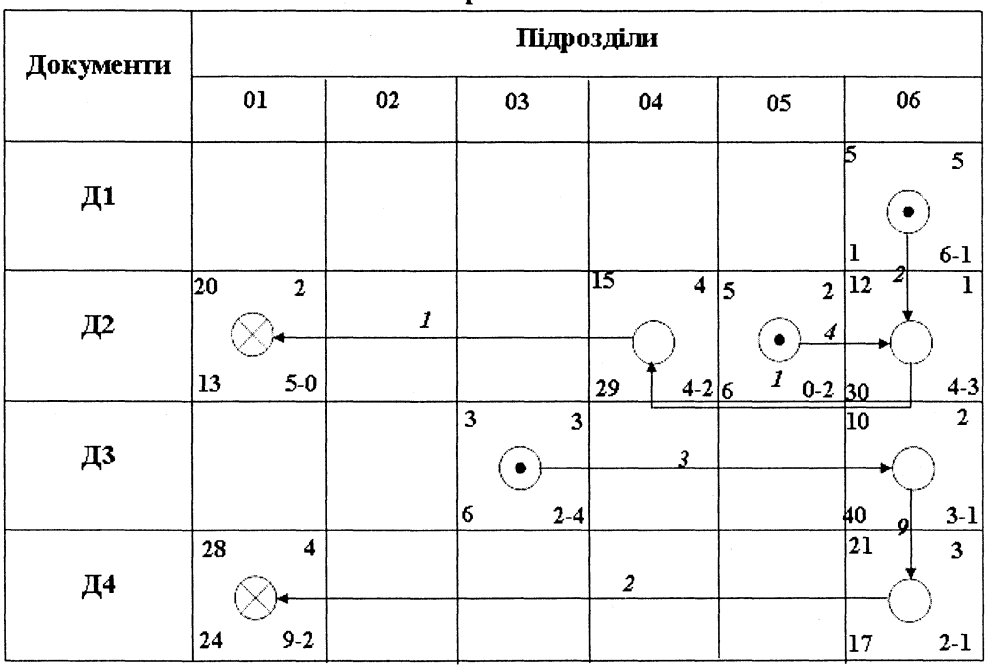
Варіант 7

Документи	Підрозділи				
	01	02	03	04	05
Д1	5 1 *1* 6 5-1	8 2 18 6-4	*5*	16 1 *2* 15 3-19	19 1 9 8-1
Д2	*3*	11 2 17 5-3		*1*	
Д3	16 1 9 8-3	4 *2* 4 5 5-5		2 5 4 4-4	
Д4	*4*		10 2 10 6-0		
Д5			7 *2* 1 39 3-1	*2*	3 2 5 1-4

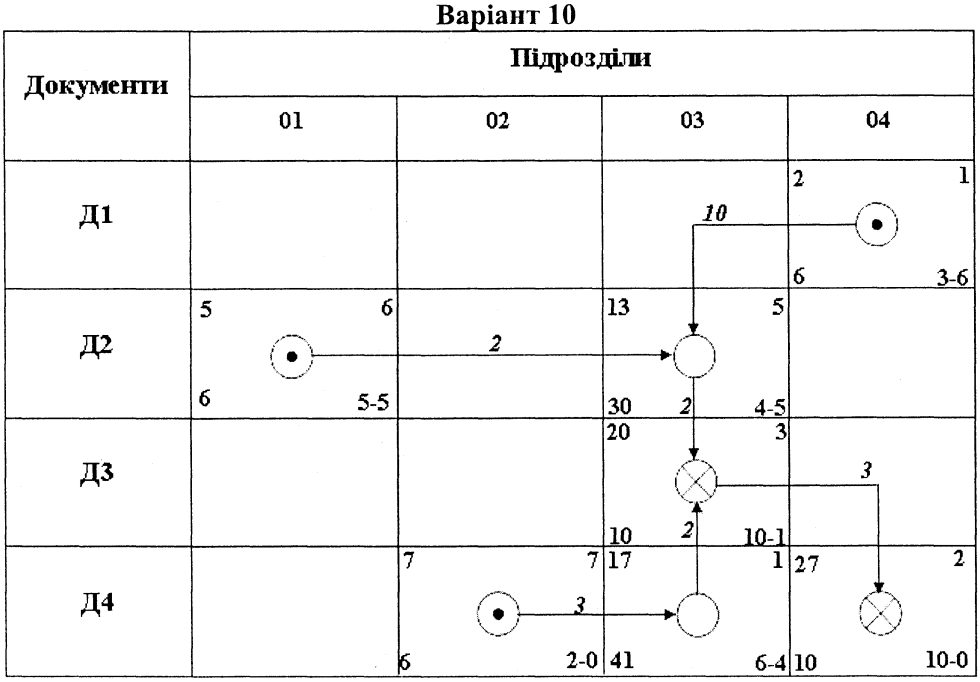
Варіант 8

Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1		3 2 *3* 25 8 3-9	8 1 *4* 18 5-1	15 10 10 20
Д2		13 4 41 2-0	*1*	20 9 10 6-0
Д3	7 1 20 4-6	*5*	12 3 7 2-3	*5*

Варіант 9



Варіант 10



Варіант 11

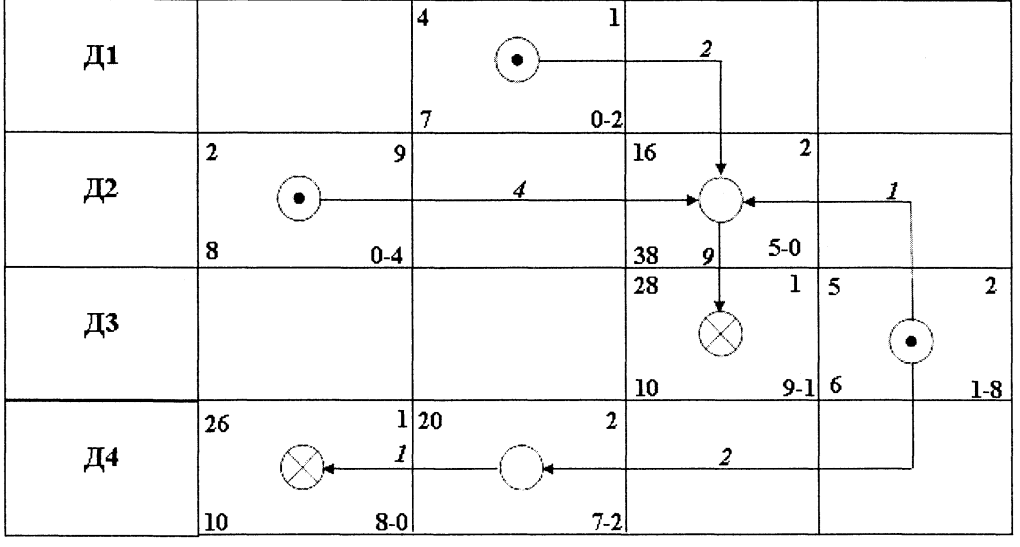
Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1	2 3 — 2 — 7 2 — 2 — 15 1 — 6 5-1 — 17 5-0 — 13 4-1			
Д2		4 1 — 6 2-4		4
Д3	4 2 — 6 2 3-4	2		
Д4	9 1 — 8 — 17 2-0	18 4 — 15 5-0	5	27 2 — 4 8-1

Варіант 12

Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1	1 1 — 3 — 25 4-9	5 2 — 2 — 30 5-4	10 2 — 13 6-3	3
Д2		2 3 2 — 20 2-1	5 1 1 — 41 3-3	18 2 — 10 6-2
Д3			2 5 2 — 11 3-5	3
Д4	2 1 — 8 — 6 1-4	13 3 — 29 4-2	2	24 2 — 10 6-0

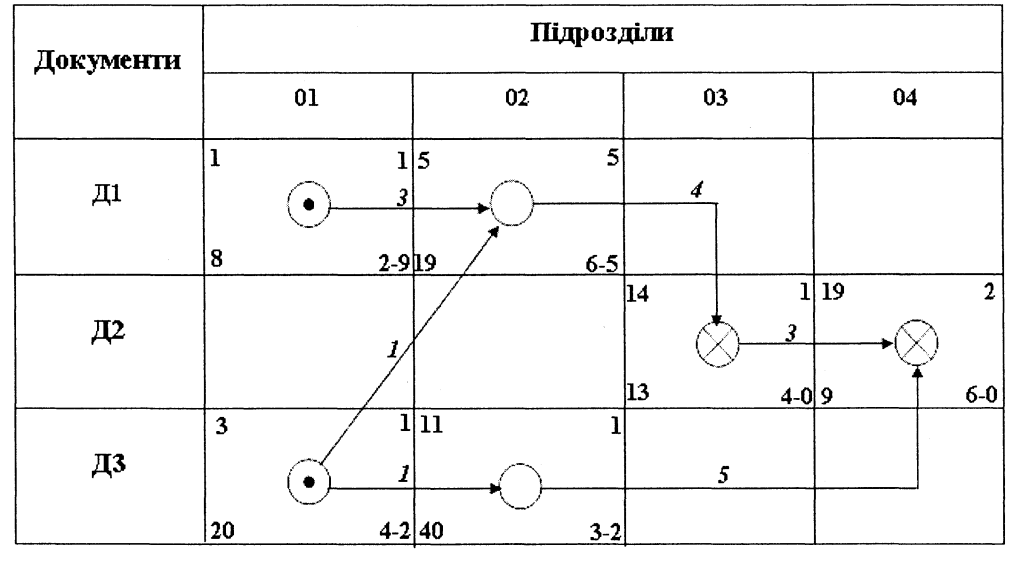
Варіант 13

Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1		4 1 / 7 0-2	2	
Д2	2 9 / 8 0-4	4	16 2 / 38 9 5-0	1
Д3			28 1 / 10 9-1	5 2 / 6 1-8
Д4	26 1 / 10 8-0	20 2 / 7-2	2	



Варіант 14

Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1	1 1 / 8 2-9	3 5 5 / 19 6-5	4	
Д2		1	14 1 / 13 4-0	3 19 2 / 9 6-0
Д3	3 1 / 20 4-2	1 11 1 / 40 3-2	5	



Варіант 15

Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1		2 1 8 1-6	1	
Д2	1 2 7 2 1-4		11 2 13 6-1	
Д3	6 3 25 2-6		5	21 4 9 5-0
Д4				

Варіант 16

Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1	1 1 4 1-3	1	3 7 41 4 4-4	14 22 11 5-0
Д2		1	5 9 19 9-4	2
Д3	3 1 5 6 2-8	10 15 18 8-5	12	2 1 6 2-3
Д4		2	28 2 12 10-0	

Варіант 17

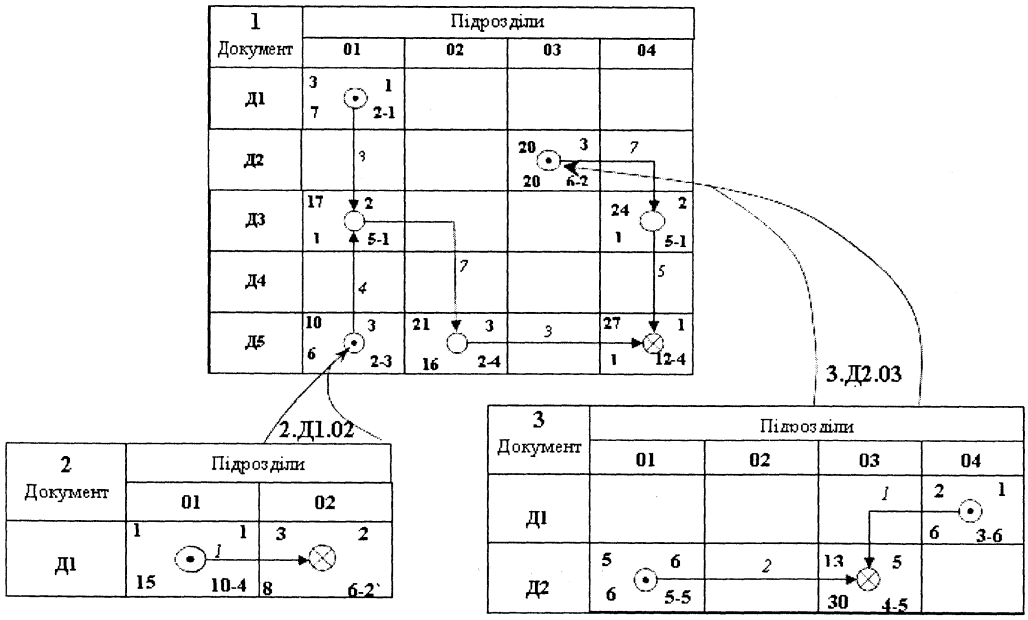
Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1	5 1 6 3-2	3		
Д2		9 3 19 2-1	1	
Д3		18 3 10 5-1	13 4 1 3 17 5-5	21 6 10 4-0
Д4	2 2 6 0-5	7		

Варіант 18

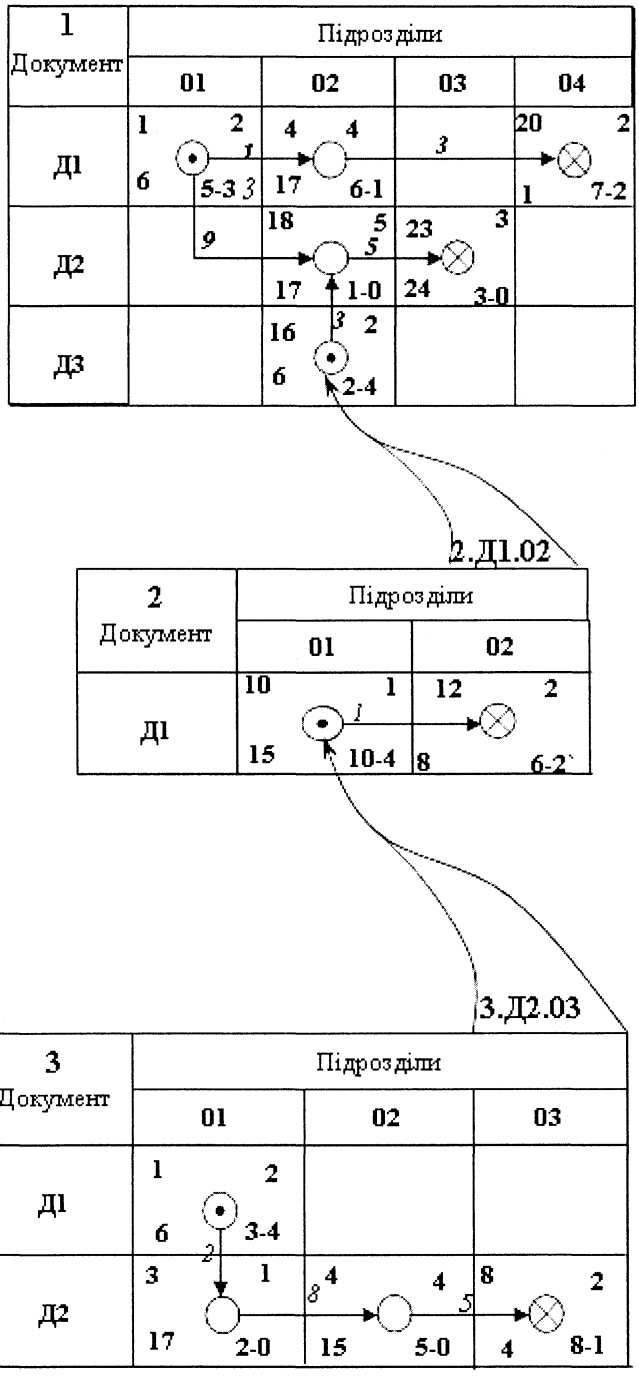
Документи	Підрозділи			
	01	02	03	04
Д1				20 1 10 8-0
Д2	1 7 2-8	4	16 2 9 6-2	
Д3	2	10 2 1 29 3-4	13 2 1 17 5-1	2
Д4	5 2 6 1-5	6		

УМОВИ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОРІВНЕВИХ СКС НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ РУХУ ДАНИХ

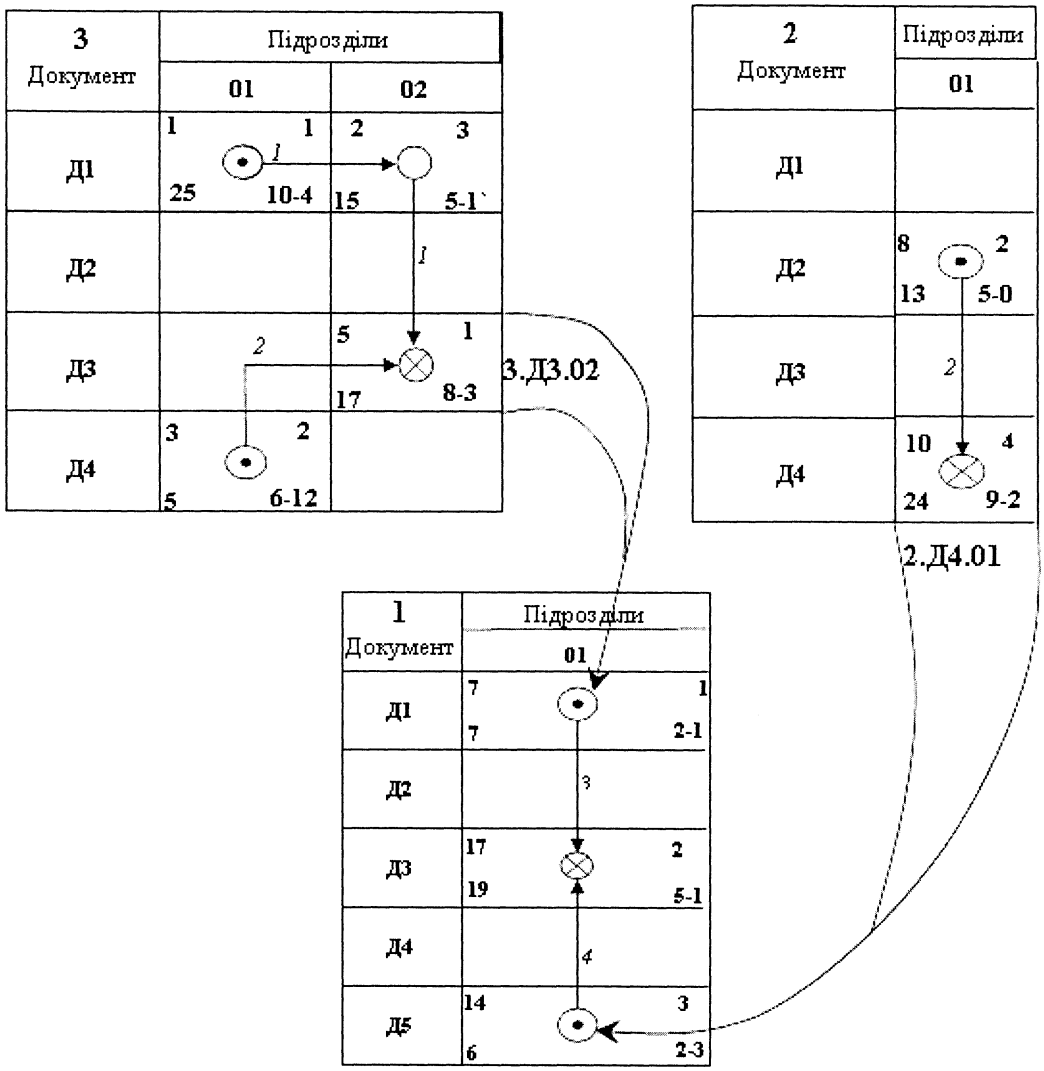
Варіант 1



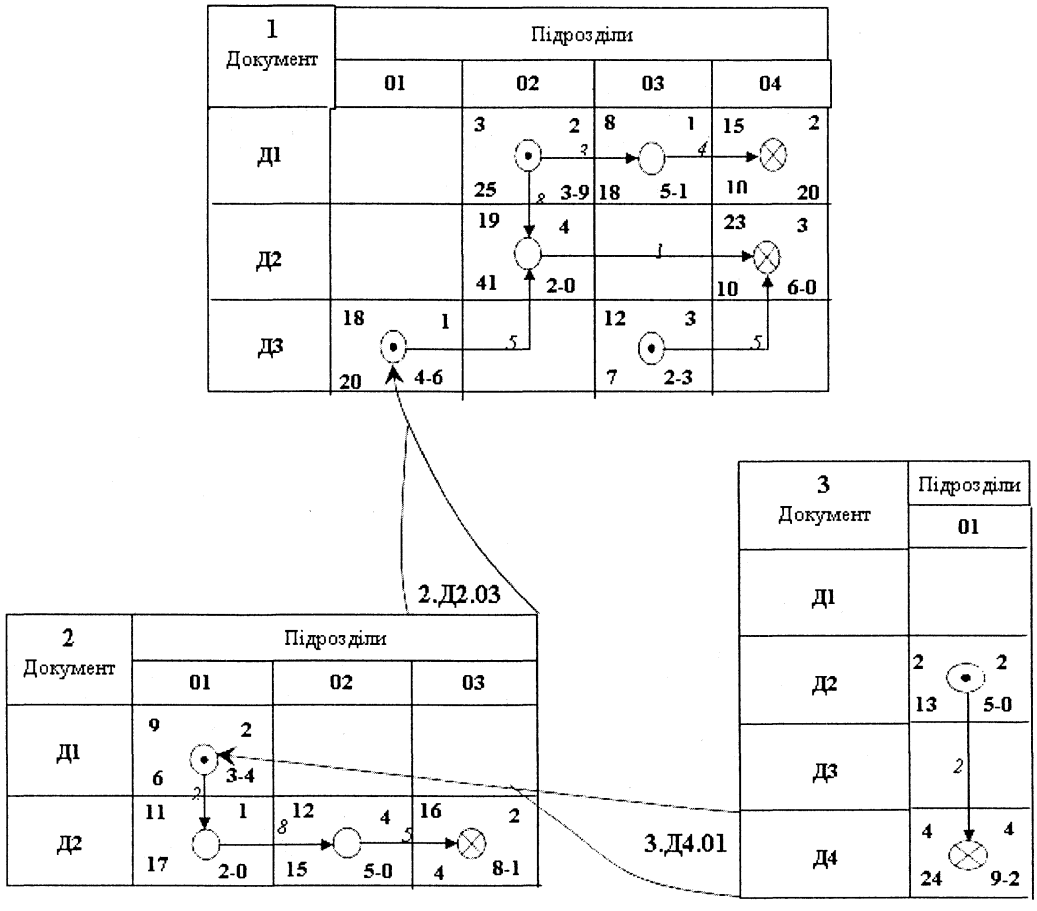
Варіант 2


1
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
Д1
Д2
Д3
1
2
6
5-3
3
4
4
17
6-1
1
20
2
1
7-2
9
18
5
17
1-0
23
3
24
3-0
16
2
6
2-4
2.Д1.02
2
Документ
Підрозділи
01
02
Д1
10
1
15
10-4
12
2
8
6-2
3.Д2.03
3
Документ
Підрозділи
01
02
03
Д1
Д2
1
2
6
3-4
2
3
1
17
2-0
8
4
4
15
5-0
5
8
2
4
8-1

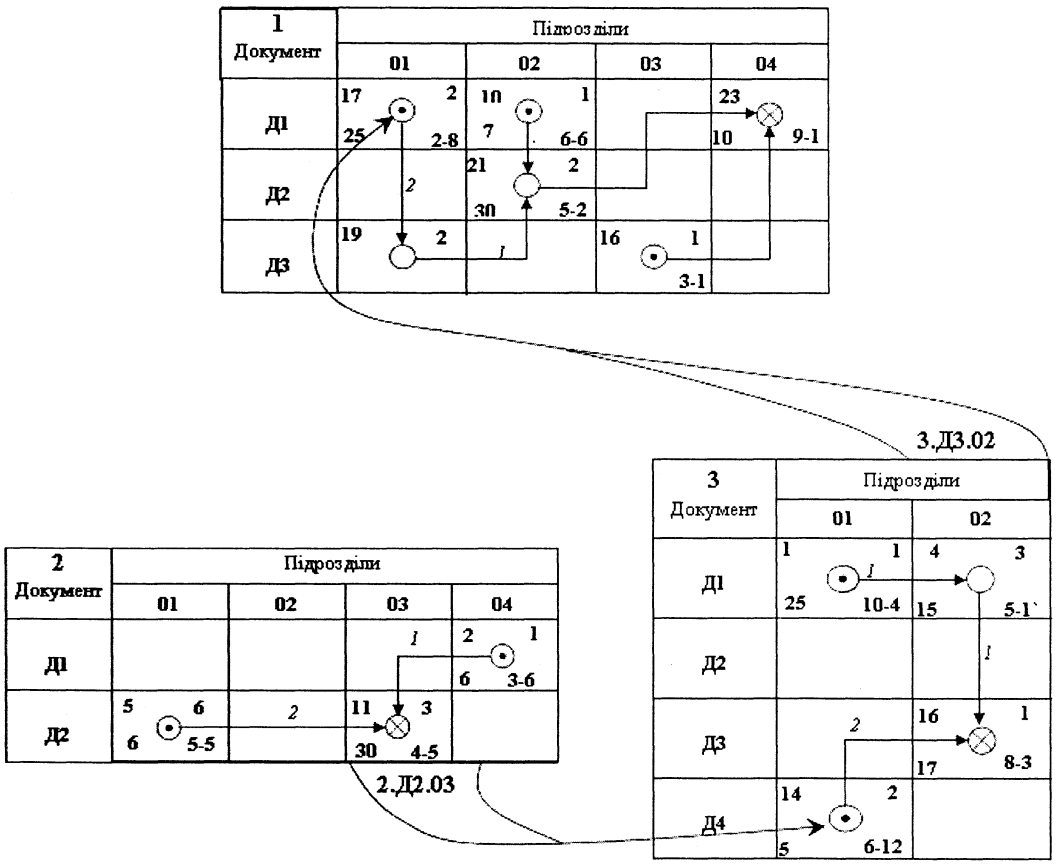
Варіант 3


3
Документ
Підрозділи
01
02
Д1
Д2
Д3
Д4
1
1
25
10-4
2
3
15
5-1
1
5
1
17
8-3
3
2
5
6-12
3.Д3.02
2
Документ
Підрозділи
01
Д1
Д2
8
2
13
5-0
Д3
Д4
10
4
24
9-2
2.Д4.01
1
Документ
Підрозділи
01
Д1
7
1
7
2-1
Д2
Д3
17
2
19
5-1
Д4
Д5
14
3
6
2-3

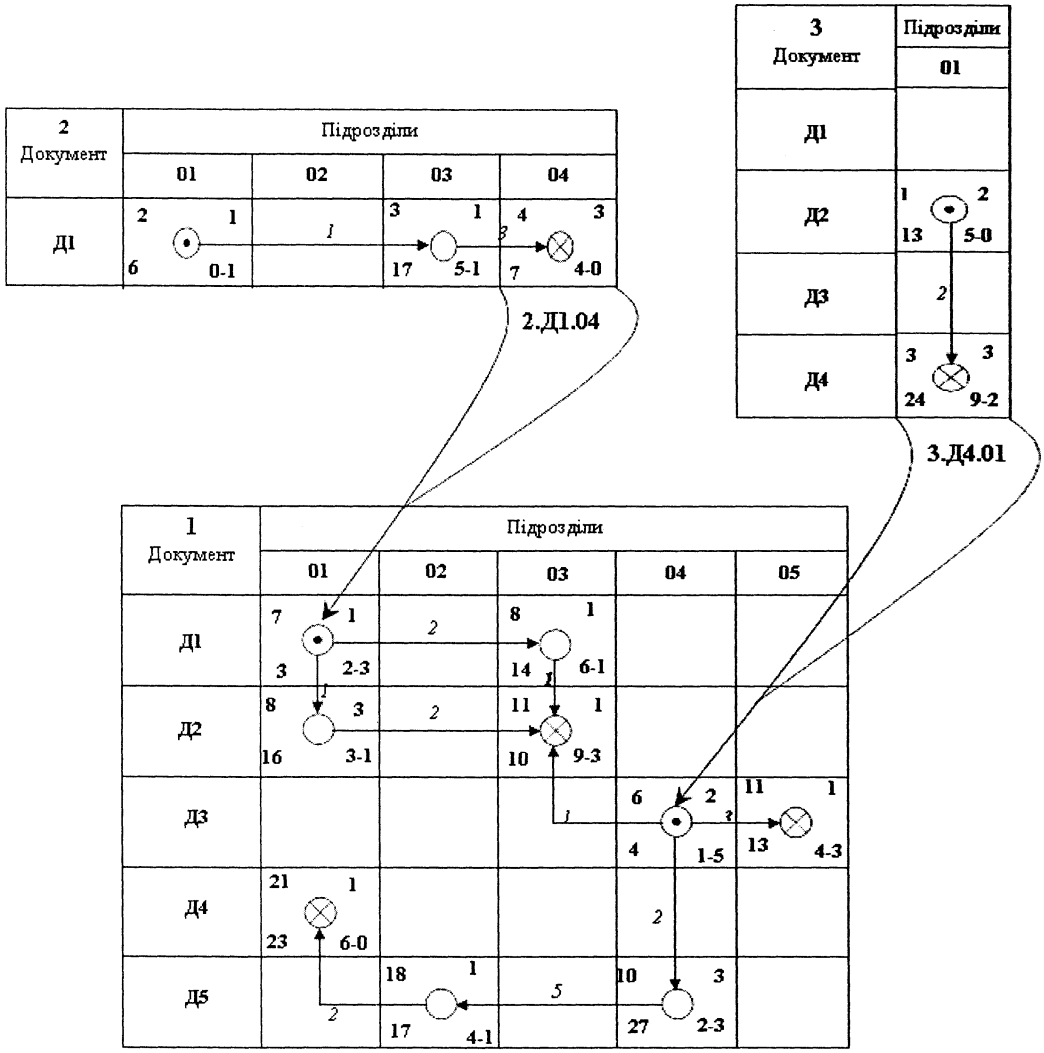
Варіант 4


1
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
Д1
Д2
Д3
3
2
3
8
1
4
15
2
25
8
3-9
18
5-1
10
20
19
4
1
23
3
41
2-0
10
6-0
18
1
5
12
3
5
20
4-6
7
2-3
2.Д2.03
2
Документ
Підрозділи
01
02
03
Д1
Д2
9
2
6
3-4
2
11
1
12
4
16
2
8
5
17
2-0
15
5-0
4
8-1
3
Документ
Підрозділи
01
Д1
Д2
Д3
Д4
2
2
1
13
5-0
2
4
4
24
9-2
3.Д4.01

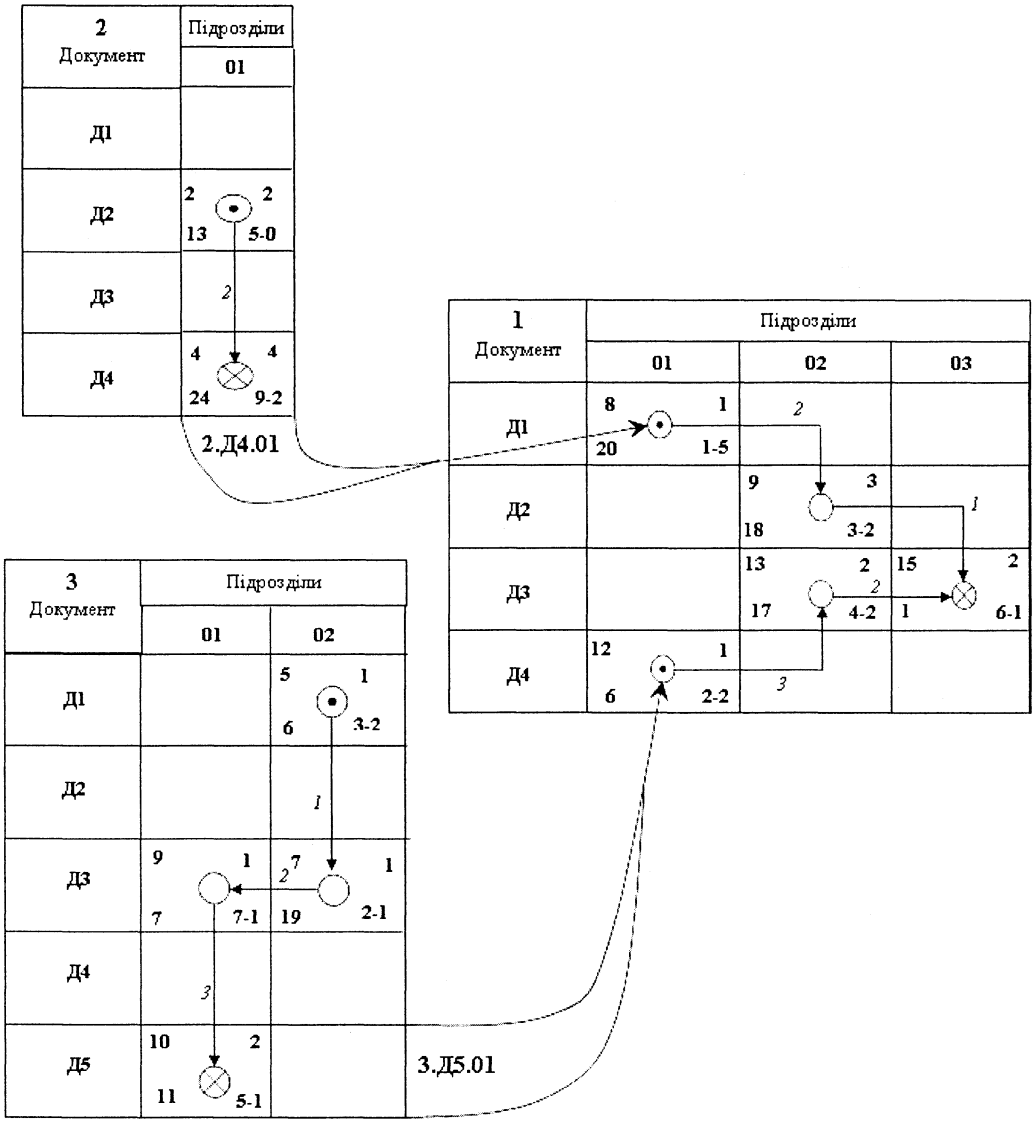
Варіант 5


1
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
Д1
Д2
Д3
17
2
25
2-8
10
1
7
6-6
23
10
9-1
21
2
30
5-2
19
2
16
1
3-1
3.Д3.02
3
Документ
Підрозділи
01
02
Д1
Д2
Д3
Д4
1
1
25
10-4
4
3
15
5-1
16
1
17
8-3
14
2
5
6-12
2
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
Д1
Д2
2
1
6
3-6
5
6
6
5-5
11
3
30
4-5
2.Д2.03

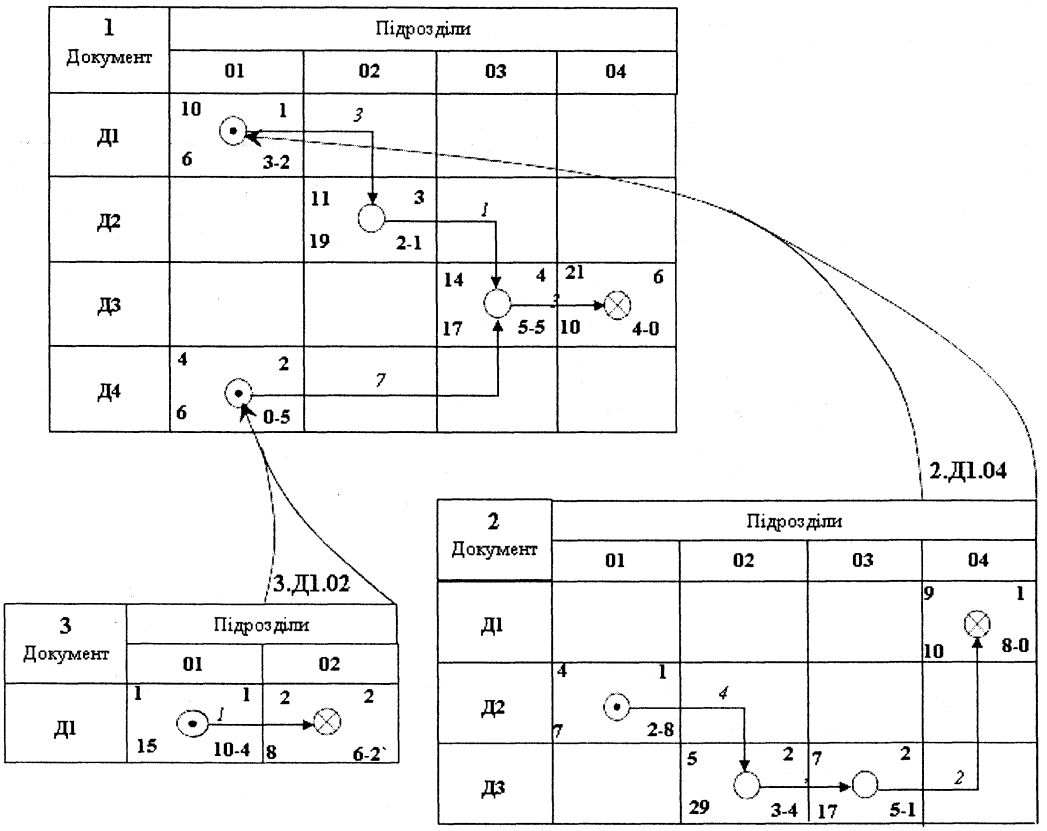
Варіант 6


2
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
Д1
2
1
6
0-1
1
3
1
17
5-1
3
4
3
7
4-0
2.Д1.04
3
Документ
Підрозділи
01
Д1
Д2
1
2
13
5-0
Д3
2
Д4
3
3
24
9-2
3.Д4.01
1
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
05
Д1
7
1
3
2-3
2
8
1
14
6-1
1
Д2
8
3
16
3-1
2
11
1
10
9-3
Д3
1
6
2
4
1-5
2
11
1
13
4-3
Д4
21
1
23
6-0
2
Д5
2
18
1
17
4-1
5
10
3
27
2-3

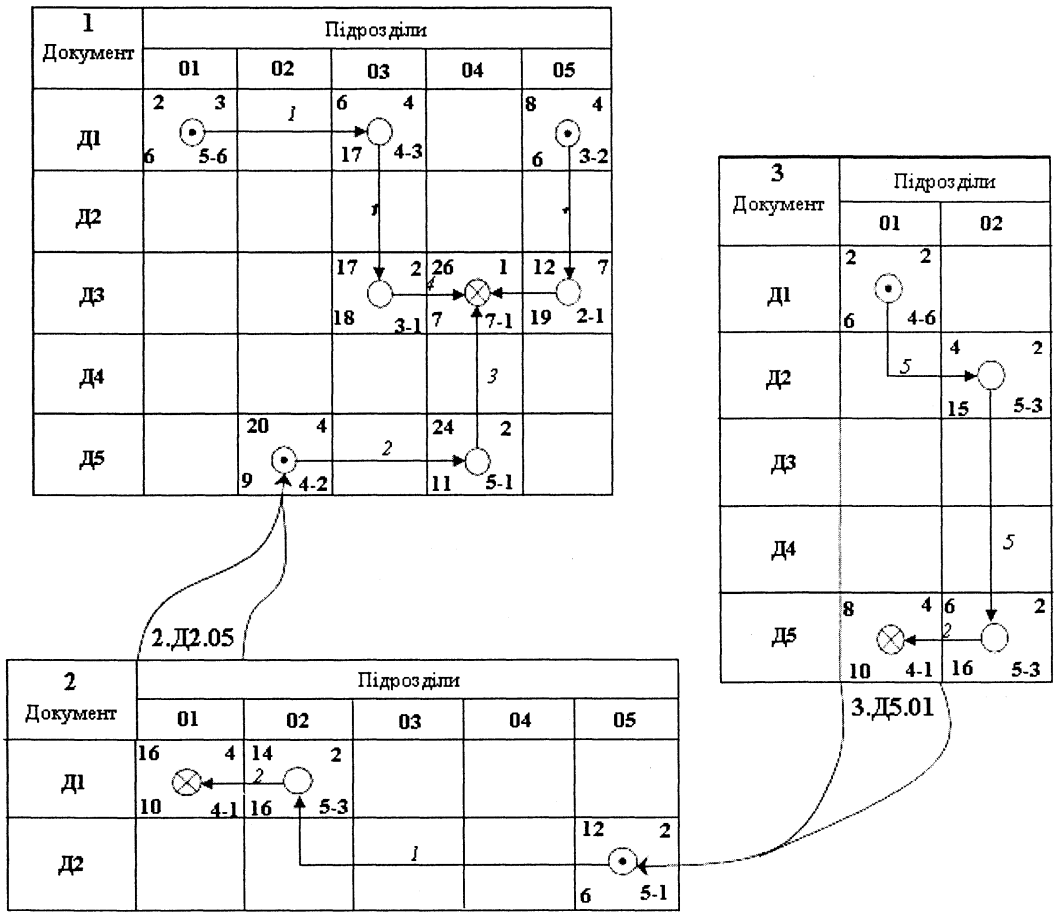
Варіант 7


2
Документ
Підрозділи
01
Д1
Д2
2
2
13
5-0
Д3
2
Д4
4
4
24
9-2
2.Д4.01
1
Документ
Підрозділи
01
02
03
Д1
8
1
20
1-5
2
Д2
9
3
18
3-2
1
Д3
13
2
17
4-2
2
15
2
1
6-1
Д4
12
1
6
2-2
3
3
Документ
Підрозділи
01
02
Д1
5
1
6
3-2
Д2
1
Д3
9
1
7
7-1
2
7
1
19
2-1
Д4
3
Д5
10
2
11
5-1
3.Д5.01

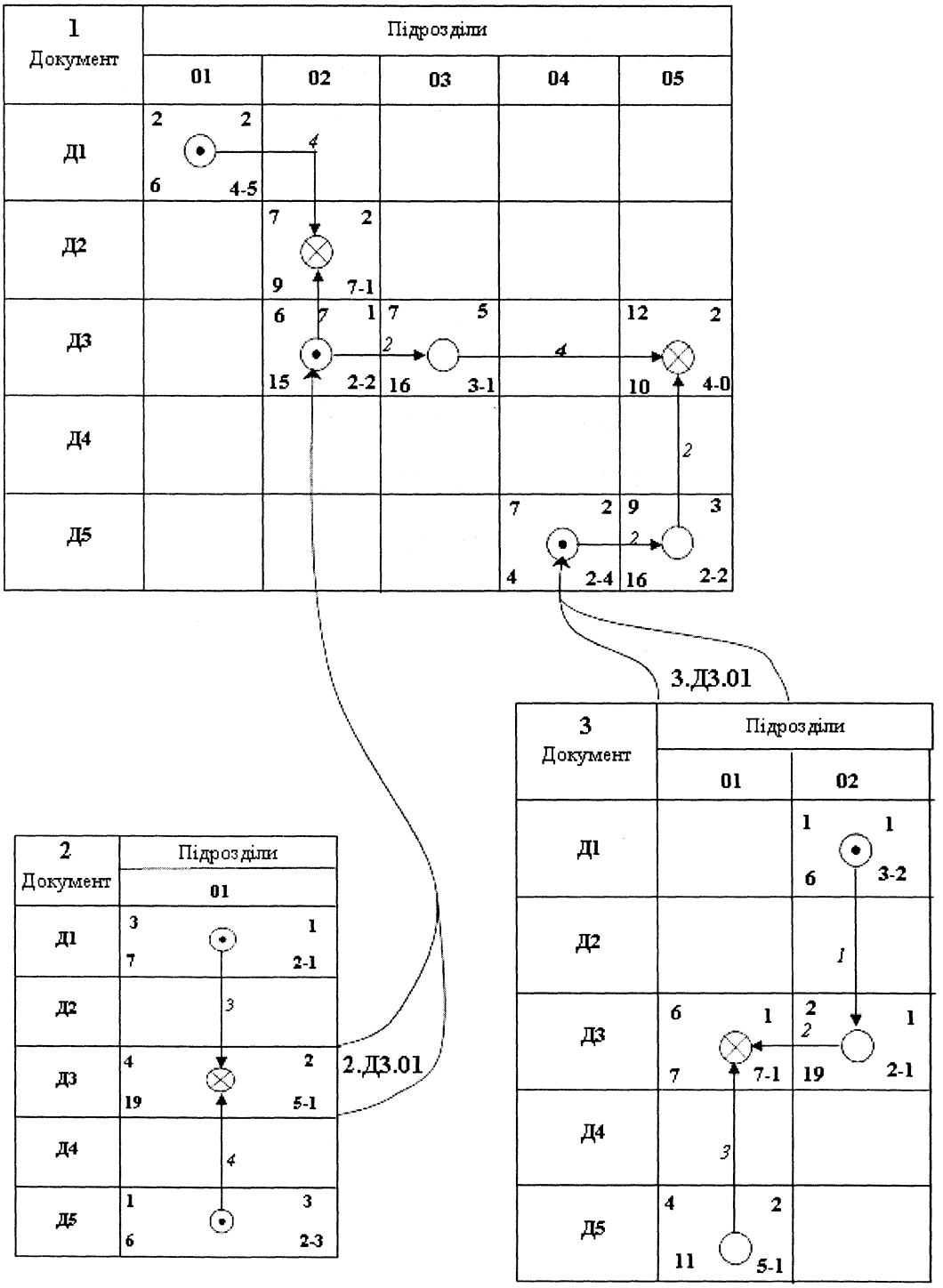
Варіант 8


1
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
Д1
Д2
Д3
Д4
10
1
6
3-2
3
11
3
19
2-1
1
14
4
17
5-5
21
6
10
4-0
3
4
2
6
0-5
7
2.Д1.04
3.Д1.02
2
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
Д1
Д2
Д3
9
1
10
8-0
4
1
7
2-8
4
5
2
29
3-4
7
2
17
5-1
2
3
Документ
Підрозділи
01
02
Д1
1
1
15
10-4
1
2
2
8
6-2`

Варіант 9


1
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
05
Д1
Д2
Д3
Д4
Д5
2 3
6 5-6
1
6 4
17 4-3
8 4
6 3-2
1
1
17 2
18 3-1
26 1
4
7 7-1
12 7
19 2-1
3
20 4
9 4-2
2
24 2
11 5-1
2.Д2.05
3
Документ
Підрозділи
01
02
Д1
Д2
Д3
Д4
Д5
2 2
6 4-6
5
4 2
15 5-3
5
8 4
10 4-1
2
6 2
16 5-3
3.Д5.01
2
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
05
Д1
Д2
16 4
10 4-1
2
14 2
16 5-3
1
12 2
6 5-1

Варіант 10


1
Документ
Підрозділи
01
02
03
04
05
Д1
Д2
Д3
Д4
Д5
3.Д3.01
2.Д3.01
2
Документ
3
Документ

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник

Комп'ютерна верстка *Возна М. Я.*

Редактор *Николайчук Я. М.*

Підписано до друку 29.12.2010 р. Формат 70x1001/16 Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman. Ум.друк.арк. 31,85. Обл.-вид.арк 37,9 Наклад 300 прим. Замовне. Зам. №1370

Видавець і виготовлювач ТзОВ "Терно-граф", свідоцтво суб'єкта видавничої справи ТР № 24 від 28.12.2004 р.
46020, м. Тернопіль, вул. Текстильна 18, тел. 52-28-97, 52-28-79

ISBN 978-966-457-108-8